Международный союз машиностроителей
Абхазский государственный университет
Донецкий национальный технический университет
Луганский государственный университет им. В. Даля
Севастопольский государственный университет
Брянский государственный технический университет
Московский государственный индустриальный университет
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Таганрогский технологический институт Южного федерального университета
Ухтинский государственный технический университет
Национальный политехнический университет Армении
Научно-исследовательский центр по проблемам отраслевого машиноведения при
Ташкентском государственном техническом университете им. А.Р. Беруни
СПТК им. маршала инженерных войск А.В. Геловани
Научно-технический союз машиностроения Болгарии
Научный центр проблем механики машин НАН Беларуси
Издательство «Машиностроение», ОАО НИИ «Изотерм», ЧП «Технополис»
ЧП «Депла», Снежнянский машиностроительный завод

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Сборник трудов

XXIV
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

11 - 17 сентября 2017 г. в городе Севастополе

Донецк-2017

ББК К5я54
УДК 621.01(06)

Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-17 сентября 2017 г. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – 399 с.

ISSN 2079-2670

В сборник включены материалы XXIV международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», отражающие научные и практические результаты в области обработки изделий прогрессивными методами, создания нетрадиционных технологий и оборудования. Представлены современные достижения и перспективные направления развития технологических систем, металлорежущего инструмента и оснастки. Освещены современные проблемы материаловедения в машиностроении. Рассмотрены вопросы механизации и автоматизации производственных процессов, управления качеством и диагностики технических систем. Приведены сведения об особенностях моделирования, экономических проблемах производства, вопросах инженерного образования и других актуальных проблемах техносферы.

Предназначен для научно-технических работников, ИТР и специалистов в области машиностроения и техносферы.

Сборник издается при содействии Международного союза машиностроителей.
Конференция проводится в рамках Международного форума «ТЕХНОСФЕРА - 2017»

Адрес международного организационного комитета:
ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема 58, ДонНТУ.
Тел.: +38 (062) 305-01-04, факс: +38 (062) 305-01-04
E-mail: *mntk21@mail.ru*
http://iumb.donntu.org

© Авторы статей, 2017 г.
© ДонНТУ, 2017 г.

ISSN 2079-2670

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Сопредседатели: ректор ДонНТУ, д.т.н., профессор **Маренич К.Н.;** ректор ЛГУ им. В. Даля, д.т.н., профессор **Свиридова Н.Д.;** ректор БГТУ, д.т.н., проф. **Федонин О.Н.**

Члены: зав. кафедрой КазНТУ, к.т.н., проф. **Альпеисов А.Т.;** зам. директора НГМК **Ан В.Ф.;** профессор ДГТУ, д.т.н. **Бабичев А.П.;** нач. отдела ИМАШ РАН, д.т.н., проф. **Базров Б.М.;** профессор ГИУА, д.т.н. **Баласанян Б.С.;** профессор ИМ и СС АН РУ, д.т.н. **Бахадиров Г.А.;** директор ММИ УрФУ, д.т.н., проф. **Блинков О.Г.;** профессор СевГУ, д.т.н. **Бохонский А.И.;** зав. кафедрой СевГУ, д.т.н., проф. **Братан С.М.;** профессор ИТА ЮФУ, д.т.н. **Бутенко В.И.;** профессор Силезского технического университета, д.т.н. **Бухач А.;** профессор ТГУ, д.т.н. **Вайнер Л.Г.;** зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н., проф. **Васильев А.С.;** проректор ЛГУ им. В. Даля, д.т.н., проф. **Витренко В.А.;** профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н. **Волчкевич И.Л.;** проректор БГТУ, д.т.н., проф. **Горленко О.А.;** зав. кафедрой ДонНТУ, д.т.н., профессор **Гусев В.В.;** профессор ОИФТПС ЯНЦ СО РАН, д.т.н. **Гусев Е.Л.;** секретарь Научно-технического союза машиностроения Болгарии **Дамянов Д.;** профессор КазАТУ, д.т.н **Данияров Н.А.**; проректор АГУ, д.т.н., проф. **Делба В.В.;** зав. кафедрой ЯТУ, д.т.н., проф. **Додун О.;** гл. н. сотр. Центрального института авиационного моторостроения, д.т.н., проф. **Дорофеев В.Л.;** зав. кафедрой ДонГУЭиТ, д.т.н., проф. **Заплетников И.Н.;** ректор ДонГТУ, к.э.н, доц. **Зинченко А.М.;** вед. научн. сотр. ИМиМ им. А.А. Байкова, д.ф-м.н. **Ермишкин В.А.;** профессор ТУ, д.т.н. **Избер Дж.**; профессор БВТА, д.т.н. **Керекеш Т.;** профессор СевГУ, д.т.н. **Копп В.Я.;** проф.Волгодонского филиала НИЯУ «МИФИ», д.т.н., проф. **Кравченко П.Д.;** гл. научн. сотр. ОАО «НПО ЦКТИ», д.т.н. **Кругликов П.А.;** профессор Туркменского политехнического института, д.т.н. **Курбанов Х.К.;** зав. кафедрой УГГУ, д.т.н., проф. **Лагунова Ю.А.;** профессор ДГТУ, д.т.н. **Лебедев В.А.;** профессор ЛТУ, д.т.н. **Ленник К.;** профессор Юнеско, д.т.н.h.c. **Либерман Я.Л.;** профессор БНТУ, д.т.н. **Маляренко А.Д.;** профессор ТУМ, д.т.н. **Марин А.З.**; директор СПТК, к.п.н. **Медведь В.В.;** ректор ДГТУ, д.т.н., проф. **Месхи Б.Ч.;** председатель Международного союза машиностроителей, зав. кафедрой ДонНТУ д.т.н., проф. **Михайлов А.Н.;** профессор кафедры ТМ ЯТУ, д.т.н. **Муску Г.;** поректор ДонНТУ, профессор **Навка И.П.;** директор Снежнянского машзавода **Недашковский А.П.;** профессор ЯТУ, д.т.н. **Неделку Д.;** профессор кафедры ТМ СевНТУ, д.т.н. **Новоселов Ю.К.;** зам. директора ММИ УрФУ, д.т.н., проф. **Овчинникова В.А.;** профессор Портсмутского университета **Оливер Т.**; профессор Ясского технического университета, д.т.н. **Параскив Д.**; зав. кафедрой БГТУ, д.т.н., проф. **Петрешин Д.И.;** директор ФУГТУ в г. Усинске, к.п.н., доц. **Пичко Н.С.;** проректор ППИ, д.т.н., профессор **Плохов И.В.;** профессор КазНТУ, д.т.н. **Поветкин В.В.;** директор ПИ СевГУ, д.т.н., проф. **Покинтелица Н.И.;** председатель НТО машиностроителей Болгарии, д.т.н., проф. **Попов Г.;** зав. кафедрой ТГУ, д.т.н., проф. **Прейс В.В.;** зав. кафедрой БГТУ, д.т.н., проф. **Прокофьев А.Н..;** профессор ЯТУ, д.т.н. **Прутяну О.В.;** зав. кафедрой СПбПУ, д.т.н., профессор **Радкевич М.М.;** директор ИТИС Политехники Любельской, д.т.н., проф. **Свиць А.**; профессор ВГУ, д.т.н. **Скворцов А.И.;** зав. кафедрой ЯТУ, д.т.н., профессор **Слэтиняну Л.;** профессор БелГТУ, д.т.н. **Стрельников В.Н.;** профессор МГИУ, д.т.н., проф. **Суслов А.Г.;** зав. кафедрой ДГТУ д.т.н., проф. **Тамаркин М.А.;** зам. директора Департамента металлургии и тяжелого машиностроения Минпромторга России **Тарасов А.Н.;** декан ТУМ, д.т.н., проф. **Тока А.**; профессор ГТУ, д.т.н. **Турманидзе Р.С.;** профессор Сызранского филиала СГТУ, д.т.н. **Усов В.П.;** зав. кафедрой БГТУ, д.т.н., проф. **Хандожко А.В.;** профес-

сор Новополоцкого технического университета, д.т.н. **Хейфец М.Л.;** профессор Азербайджанского ТУ **Шарифов З.З.;** зав. кафедрой Силезского технического университета, д.т.н., проф. **Швидер Ю.;** зав. кафедрой ТГУ, д.т.н., проф. **Ямников А.С**.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ (редакционная коллегия)

Председатель – Председатель МСМ, зам. директора по научной работе ИМС, зав. кафедрой ТМ ДонНТУ, д.т.н., проф. **Михайлов А.Н.**

Заместители председателя: директор РУУ, докторант кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Грубка Р.М.;** ст. преподаватель кафедры ТМ ДонНТУ **Голубов Н.В;** профессор кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Горобец И.А.**

Ученый секретарь – ст. преподаватель кафедры ТМ ДонНТУ **Голубов Н.В.**

Технический секретарь - доцент кафедры ТМ ДонНТУ **Лахин А.М.**

Члены: аспирант кафедры ТМ ДонНТУ **Аль-Судани Т.Т.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Байков А.В.;** доцент кафедры ЮЗГУ, к.т.н. **Борзов Д.Б.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Буленков Е.А.;** научн. сотрудник кафедры ТМ ДонНТУ **Головятинская В.В.**; инженер кафедры ТМ ДонНТУ **Голубова Л.И.;** аспирант кафедры ТМ ДонНТУ **Голубов А.Н.;** начальник ОВС ДонНТУ, к.т.н., доц. **Джура С.Г.;** зам. директора ОАО НИИ «Изотерм», к.т.н. **Добровольский Г.И.;** зав. кафедрой ИТА ЮФУ, к.т.н. **Дуров Д.С.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Ивченко Т.Г.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Ищенко А.Л.;** доцент кафедры БГТУ, к.т.н. **Карпушкин В.А.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Коваленко В.И;** зав. кафедры КамчатГТУ, к.т.н., доц. **Костенко А.В.;** профессор СПбПУ, д.т.н. **Кудрявцев В.Н.;** доцент кафедры ДААТ, к.т.н. **Лукичев А.В.;** доцент ХНАУ, к.т.н. **Луцкий С.В.;** зав. кафедрой ТУМ, к.т.н. **Мазуру С.;** инженер кафедры ТМ ДонНТУ **Макеева О.А.;** доцент кафедры ГЗТиЛ ДонНТУ, к.т.н. **Матвиенко С.А.;** аспирант кафедры ТМ ДонНТУ **Михайлов В.А.;** доцент кафедры ГЗТиЛ ДонНТУ, к.т.н. **Михайлова Е.А.;** исп. директор ЧП «Технополис» **Михайлова Т.Е.;** инженер кафедры ТМ ДонНТУ **Мищук П.А.;** профессор ДонНТУ, к.т.н. **Мороз О.К.;** аспирант кафедры ТМ ДонНТУ **Петров М.Г.;** ассистент кафедры ТМ ДонНТУ **Петряева И.А.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ **Польченко В.В.;** доцент кафедры ТУМ **Рушика И.Д.;** доцент СевГУ, к.т.н. **Сазонов С.Е.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Сидорова Е.В.;** доцент СевГУ, к.т.н. **Сидоров Д.Е.;** ст. преподаватель кафедры ТМ ДонНТУ **Феник Л.Н.;** доцент кафедры ТМ, к.т.н. ДонНТУ **Чернышев Е.А.;** доцент кафедры механики ТТИ ЮФУ, к.т.н. **Шаповалов Р.Г.;** доцент СевГУ, к.т.н. **Шрон Л.Б.**

Уважаемые дамы и господа, дорогие друзья и коллеги!

Особенности научно-технического прогресса в условиях кризиса и глобализации мировых отношений постоянно изменяют сложившийся мир техники и технологий. При этом происходящие изменения в техносфере настолько глубоки и значительны, что постоянно требуют всестороннего изучения и осмысления происходящих процессов, комплексного анализа всех особенностей и явлений. Поэтому проведение этой встречи обусловлено необходимостью получения ее участниками современной информации о последних достижениях науки и техники, а также потребностью ознакомления с основными изменениями, происходящими в техносфере.

В связи с этим, на этой встрече предусматривается особое внимание уделить вопросам создания и применения прогрессивных, специальных и нетрадиционных технологий. Нам необходимо рассмотреть насущные проблемы техники, связанные с механизацией и автоматизацией производственных процессов, а также с созданием прогрессивного оборудования. Здесь будут затронуты вопросы проектирования и применения прогрессивных инструментов, управления качеством промышленной продукцией, сертификации, метрологии, диагностики и эксплуатации технологических систем, создания информационных и наукоемких технологий. Приоритетными направлениями на нашей конференции будут также вопросы, нацеленные на развитие процесса инженерного образования и интеграции в Европейскую систему университетского образования. А также множество других важнейших вопросов науки и техники нам предстоит обсудить, а именно связанных с развитием машиноведения, инженерии материалов, нанесения нетрадиционных покрытий, моделирования, расчетов сложных технических систем, специальной техники и технологий техносферы, экологии и экономики. Этих основных и других вопросов техносферы планируется коснуться участниками конференции здесь на нашей встрече.

Можно отметить, что опыт проведения предыдущих конференций убедительно показывает на важность и большую потребность личных контактов ученых, ведущих специалистов и представителей предприятий. Они позволяют плодотворно развивать живое творческое сотрудничество между учеными и специалистами предприятий и организаций. А это в перспективе будет способствовать повышению научного потенциала ученых и производства.

На этой встрече планируется активизировать процесс обмена и получения современной информации научно-технического характера, развития сотрудничества и личных творческих связей. Поэтому проведение этой конференции, на наш взгляд, позволит наметить основные ориентиры и определить вектор прогрессивного развития машиностроения и техносферы, а также подвести итого развития новой техники и технологий для выработки общих рекомендаций по их ориентированному и целенаправленному развитию в условиях мирового кризиса.

Особенно необходимо подчеркнуть то, что одновременно с работой этой конференции состоится очередной уже XVIII съезд членов Международного союза машиностроителей. Основной и важнейшей задачей работы этой международной общественной организации является консолидация ученых, специалистов и руководителей промышленных предприятий для содействия процессу развития машиностроения и техносферы в условиях глобализации мировых отношений. Совместное проведение этих мероприятий будет способствовать активизации процессов развития техносферы и международного сотрудничества.

Организационный комитет конференции убежден, что эти встречи традиционно пройдут творчески и плодотворно, будут способствовать консолидации ученых и специалистов различных стран, широкому обмену информации научно-технической характера, а также дадут необходимый творческий импульс для дальнейшего развития машиностроения и техносферы.

С наилучшими пожеланиями

Председатель Международного организационного
комитета конференции **Михайлов А.Н.**

ПРАВЯЩИЕ КАРАНДАШИ ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Аверченков В. И., Надуваев В. В., Фролов Е. Н.
(Брянский государственный технический университет, БГТУ, Россия)

Abstract: *Considering the efficient use poly-crystalline SV-diamonds for dressing of abrasive wheels, used for various types of grinding.*
Keywords: *Polycrystals, abrasives, ruling pencils, grinding.*

В современных условиях постоянно возрастают требования к качеству и эксплутационным характеристикам деталей машин. Повышение этих показателей достигается, главным образом, применением более прочных и стойких новых видов конструкционных материалов, а также прогрессивных высокопроизводительных методов обработки деталей из этих материалов.

Абразивные круги, как правило, в большей степени расходуются не в процессе шлифования, а в процессе их правки. Следовательно, износ шлифовальных кругов и правящих инструментов, влияющий на показатели процесса шлифования, в значительной мере зависит от вида правящего инструмента и технологических условий правки. Причем затраты времени на правку могут достигать 40-50% штучного времени обработки. Увеличение производительности процесса шлифования в значительной степени определяется правильным выбором правящих инструментов и совершенствованием самих методов правки. Существенное влияние на работоспособность правящего инструмента и показатели процесса шлифования оказывает правильный выбор вида алмазного сырья.

Для изготовления правящих карандашей используются различные виды алмазов. Проблема замены природных алмазов синтетическими в настоящее время решается не только за счет использования монокристаллических синтетических алмазов, но и путем применения поликристаллических синтетических алмазов.

В связи с этим особое значение приобретают вопросы, связанные с созданием новых видов правящих инструментов при использовании для их изготовления прогрессивных высокопроизводительных инструментальных материалов и более эффективных связок.

Наиболее перспективным видом правящих инструментов являются алмазные карандаши, используемые для правки кругов на операциях круглого и плоского шлифования, а также на резьбо- и зубошлифовальных операциях. В настоящее время в правящих карандашах широко используются наряду с инструментальными материалами из природных алмазов различные виды синтетических алмазов и ПСТМ, в том числе и поликристаллические алмазы типа СВ.

Алмазы типа СВ имеют достаточно высокую прочность 8…10 ГПа и термостойкость до 1470К, к тому же, обладают изотропией свойств. Данное обстоятельство, а также относительно низкая стоимость данных алмазов позволяют их широко использовать в правящем инструменте, в том числе вместо дорогостоящих природных и некоторых видов синтетических алмазов.

В Брянском государственном техническом университете были разработаны и исследованы ряд конструкций алмазных правящих карандашей, рабочими элементами которых являются зерна алмазов типа СВ, отработана технология их изготовления и проведены исследования их эксплутационных показателей.

В результате предварительно проведенного анализа конструкций правящих инструментов был обоснован целесообразный выбор типоразмеров правящих алмазных карандашей, которые изготавливались типов 01,02,04 исполнения А и С в соответствие

ГОСТ 607-80. При изготовлении правящих карандашей использовался метод электроконтактного спекания с последующей горячей допрессовкой на специально созданной установке для спекания (см. рис.).

При проведении исследований процесса правки абразивных кругов было установлено, что основными эксплуатационными характеристиками правящих карандашей являются их производительность и износостойкость, поскольку от них в значительной мере зависит качество обработки и себестоимость операций шлифования.

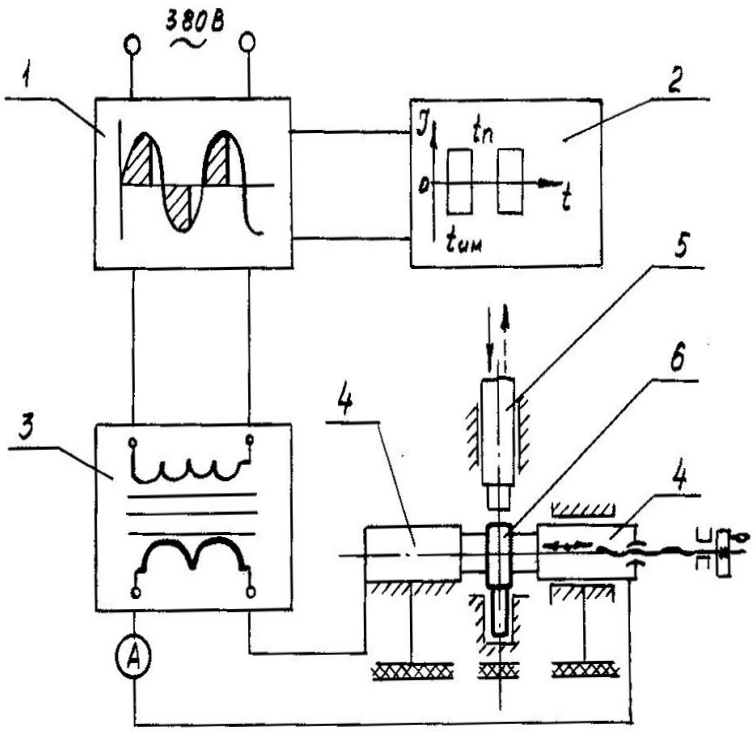


Рис. 1 Принципиальная схема установки для электроконтактного спекания алмазных карандашей: 1 – прерыватель линейный (ПСЛ); 2 – система управления; 3 – трансформатор сварочный; 4 – медно-графитовые электроды; 5 – шток пресса(пуансон); 6 – заготовка алмазного карандаша

Наибольшее влияние на износостойкость правящих карандашей оказывают статическая прочность алмазов, их термостойкость, зернистость и концентрация, а также твердость, износостойкость и прочность алмазоудерживающей связки. Это объясняется достаточно низкой адгезионной активностью большинства металлических связок по отношению к химически инертному алмазу.

Прежде всего это относится к связкам на основе композиции Cu+Sn, наиболее широко применяемым при изготовлении правящих карандашей из поликристаллических сверхтвердых материалов. Повышение прочности алмазоудержания связок достигалось путем введения в их состав незначительных количеств так называемых переходных металлов Cr, Ti, V, Ni.

На основании полученных экспериментальных исследований были выявлены оптимальные характеристики для определенного вида правящего инструмента и конкретных условий правки абразивных кругов, которые следует рекомендовать для широкого использования в машиностроительной отрасли. Рекомендуемые области применения алмазных карандашей для правки абразивных кругов приведены в таблице [1].

Однако, при этом следует отметить, что себестоимость правящих карандашей, изготовленных из алмазов типа СВ в 8…10 раз ниже себестоимости карандашей из природных алмазов[2].

Всесторонний анализ закономерностей процессов правки абразивных кругов и исследования, представленные выше, а также расчеты экономической эффективности процессов шлифования в целом показали, что карандаши из поликристаллических алмазов типа СВ достаточно эффективны при правке абразивных кругов различной твердости, а это позволяет рекомендовать их для широкого использования в при модернизации современного машиностроительного производства [3].

Таблица 1 – Рекомендуемые области применения алмазных карандашей

Вид шлифования	Параметры шлифовального круга				Характеристика правящего карандаша		
	Марка абразива	Размеры Dxh, мм	Зернистость	Твердость	Марка алмаза	Материал связки	Обозначение
Круглое наружное	24А, 25А 64С	600х63 400х40	16-40	СМ-С СТ1-СТ2	алмаз СВ прир. алм.А	М2-01 М6-02 М8-01	3908-0086 3908-0088 3908-0091 3908-0093
Бесцентровое	24А, 25А	400х63	16-40	СТ1-СТ2 СТ1-СТ2	алмаз СВ прир. алм.А	М2-01 М6-02 М8-01	3908-0085 3908-0088 3908-0091 3908-0093
Внутреннее	24А, 25А	150х40	8-40	М-СМ-С	алмаз СВ	М2-01	3908-0055 3908-0085
Плоское	64С	500х63	16-40	СТ1-СТ2	прир. алм.А	М6-02 М8-01	3908-0085 3908-0088
Резьбошлифование	Эльбор 24А, 25А	400х8 300х32	63/50 16-40	Т1-Т2 Ст1-СТ2	алмаз СВ прир. алм.А прир. алм.А	М2-01 М6-02 М6-02	3908-0061 3908-0062 3908-0069

Список литературы: 1. Надуваев, В. В. Перспективы использования инструментальных материалов СВ-алмазов в промышленности/ В. В. Надуваев, Е. Н. Фролов – М.: Машиностроение «Справочник. Инженерный журнал», 2009, вып. 10, с. 49-53. **2.** Аверченков В. И., Технология производства поликристаллических алмазов, используемых в различных отраслях промышленности/ Аверченков В. И., Надуваев В. В., Фролов Е. И. //Металлообработка – 2015 : тез. докл. меж. конф. – Минск 2015 – С. 9-11. **3.** Аверченков, В. И., Формообразование поверхностей с использованием инструмен-тальных материалов СВ-алмазов/ Аверченков, В. И., Надуваев, В. В., Фролов, Е. Н.//Известия Тульского государственного университета, выпукс 8, часть 1, Тула, 2016 – С. 306–314.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Аглямов Р. Р., Бахарева В. И., Шестаков В. С. *(ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия)*
Тел./Факс: 343-2573347, e-mail aglyamru@mail.ru

***Аннотация**: В статье рассмотрены причины выхода из строя погружных центробежных насосов для добычи нефти из скважины. Приведена таблица отказов. В результате исследований доказано, что материал вала соответствует характеристикам, указанным заводом изготовителем. Причиной разрушения вала является засорение проточной части колес.*
***Ключевые слова**: насос, вал, колесо, проточная часть, разрушение.*

ANALYSIS OF CAUSES OF EXIT FROM INSTALLATION ELECTROCENTROPIC PUMP

Aglyamov R. R., Bakhareva V. I., Shestakov V. S.

***Abstract:** The article considers the reasons for the failure of submersible centrifugal pumps for oil production from a well. The table of failures is given. As a result of the research it was proved that the shaft material corresponds to the characteristics specified by the manufacturer. The cause of the destruction of the shaft is the clogging of the flowing part of the wheels.*
***Keywords**: pump, shaft, wheel, flowing part, destruction.*

Электрические центробежные насосы (ЭЦН) являются одними из самых распространенных агрегатов добычи нефти из скважины (рис. 1). На них приходится большая доля эксплуатационных затрат. Затраты связаны с достаточно частыми выходами насосов из строя. В табл. 1 приведены причины выхода из строя насосов.

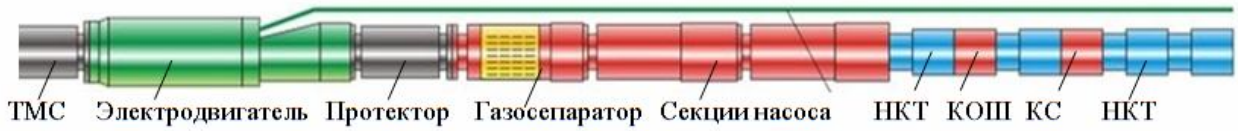


Рис. 1. Погружной электроцентробежный насос

Эксплуатационная надежность ЭЦН во многом определяется свойствами используемых материалов для изготовления основных элементов установки. Исследования показывают, что более 40% выходов из строя ЭЦН связано с поломками вала узла гидрозащиты. При выборе материал для их изготовления отдают предпочтение металлическим сплавам с более высоким пределом выносливости и удельной прочностью по справочным данным. К ним относятся современные высокопрочные сплавы на основе никеля, титана, железа. На вал насоса устанавливают подшипники качения, насосные колеса и муфты. При изготовлении вала внедряют усовершенствованные технологии для повышения их надежности. Но даже в случае соблюдения технологий их изготовления и правил эксплуатации, указанных в инструкции, неисправности центробежных насосов неизбежно возникают по самым разным причинам.

Анализ работоспособности УЭЦН показывает, что при эксплуатации выход из строя происходит по причинам предельного износа, либо засорения проточной части насосного агрегата и иных модулей (приемный модуль, клапанная секция). Обобщаю-

щим фактором для данных причин является интенсивный вынос горных пород с потоком добываемой жидкости. Рассмотрим распределение значения наработки на отказ УЭЦН по месяцам в период с 2012 – 2013 гг. в процентном отношении к общему числу отказов (см. табл. 1).

Таблица 1 – Классификация отказов УЭЦН по Нефтеюганской группе месторождений

№ п/п	Причины	2012		2013	
		Кол-во, шт.	%	Кол-во, шт.	%
1	Снижение изоляции питающего кабеля	5	4	3	2
2	Засорение проточной части	23	17	23	19
3	Негерметичность НКТ	34	25	24	19
4	Отказ ПЭД (потеря звезды)	23	17	18	15
5	Отказ гидрозащиты	4	3	8	6
6	Отказ ЭЦН	22	16	25	20
7	Абразивный (корозионный) износ	15	11	9	7
8	Газовый фактор	6	4	8	6
9	По неустановленным причинам	3	2	6	5
	Итого	135	100	124	100

За анализируемый период с 2012 по 2013 г.г. зафиксировано 259 отказа, из них доля отказов по причине снижения (отсутствие) подачи 42 %, по причине заклинивания вала (перегруз электродвигателя) 23 %, не герметичность лифта (недогруз электродвигателя) 27 %, снижение изоляции и прочие причины 8 %.

В качестве наиболее значимых причин, приводящих к выходу из строя насоса, выделяются: засорение проточной части установки, абразивный (коррозионный) износ оборудования (лифта НКТ) и усталостное разрушение вала ЭЦН.

Вид насосного колеса при засорении проточной части показан на рис. 2.

.Рис. 2. Вид насосного колеса при засорении проточной части

Проведены исследования причин выхода из строя вала насоса, вид разрушенного вала показан на рис. 3.

Рис. 3. Вид разрушенного вала

Для определения причины образования трещины был сделан долом вала и исследована поверхность излома. Установлено, что трещина зародилась в углу шлицевого паза и развивалась при работе в обе стороны. Она ориентирована перпендикулярно оси и не имеет основных признаков усталостного разрушения. Излом однородный матовый. Следов не когерентных включений, которые могут служить концентраторами зарождения трещин, не обнаружено. Для выявления микроструктуры проведен химический анализ сплава (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты химического анализа материала вала

Образец	Массовая доля элементов, %											
	Cu	Zn	Pb	Sn	Mn	Fe	Ni	Si	Al	Ag	Co	As
Разрушенный вал	71,3	0,95	5,08	0,35	0,60	0,79	14,3	3,65	1,02	0,54	1,04	0,11

По соотношению компонентов сплава он относится к группе под названием «монель-металлы», сочетающей в себе повышенную твердость, прочность, жаропрочность и коррозионную устойчивость, то есть в полном объеме удовлетворяющей условиям работы исследуемого вала.

При анализе микроструктуры установлено отсутствие в объеме основного металла неметаллических включений, типа оксидов, силикатов, сульфидов и пр. Микроструктура сплава состоит из зерен однофазного γ-твердого раствора легирующих элементов в кристаллической решетке меди со средней величиной зерна 20–30 мкм с включениями интерметаллидов неправильной формы и различного размера (3–10 мкм), расположенных преимущественно по границам зерен твердого раствора. Их наличие и характер распределение свидетельствует о проведении стандартной упрочняющей обработки, состоящей из закалки и старения.

Термическая обработка способствует формированию структурной однородности интерметаллидных сплавов и релаксации напряжений, возникающих на различных этапах технологического процесса изготовления вала, при сохранении его прочностных свойств. Результаты механических испытаний показали, что исследуемый медно-никелевый сплав имеет повышенные значения твердости (52–53 HRC), условного предела текучести ($\sigma_{0,2}$ = 867 МПа) и прочности (σ_B = 1164 МПа) при относительном удлинении ε = 17%, по сравнению со сплавами на основе железа. Проведенные исследования показали, что исследуемый сплав является современным цветным, дисперснотвердеющим сплавом, требующим специальных технологий получения и обработки. По микроструктуре сплав мелкозернистый с частицами интерметаллидной фазы, что характерно после упрочняющей термообработки. Разрушение вала произошло в результате превышения эксплуатационных нагрузок предела прочности. Для точного определения причин появления перегрузок недостаточно статистических данных, хотя поломки вала гидрозащиты являются характерными для данного оборудования.

Таким образом, материал исследуемого вала соответствует характеристикам указанным заводом-изготовителем, поэтому причина выхода из строя не объясняется некачественным материалом.

Причины поломок вала:

- нарушения условий эксплуатации,
- отсутствие своевременного технического контроля основных элементов ЭЦН,
- при расчете параметров использованы методики, не учитывающие разнообразие условий эксплуатации и параметры перекачиваемой жидкости.

Рекомендации по увеличению срока службы вала: обеспечить очистку перекачиваемой жидкости для исключения отложений в проточной части колес.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ МОДУЛЕЙ МИКРОМАНИПУЛЯТОРОВ С УПРУГИМИ ШАРНИРАМИ

Акопян Н. Х. *(НПУА, Ереван, Армения)*
Tel.: +374 10 520-348; E-mail: nershakobyan@gmail.com

Abstract: *Modules of micromanipulators of parallel structure with elastic joints and piezoelectric actuators are presented, providing coordinate movements and spatial translator motion of the output link. Numerical modeling of three variants of modules of micromanipulators was carried out, displacement ranges were determined, which were respectively: 21.01 ?m, 37.024 ?m and 88.59 ?m and a comparative analysis of their accuracy characteristics was carried out. When working out each coordinate, there are undesirable parasitic displacements along two other coordinates, which are less than the basic coordinate by more than an order of magnitude. Parasitic displacements for the three proposed variants of modules of micromanipulators were 5%, 2.4% and 1.9%, respectively.*
Keywords: *precision module of micromanipulator, coordinate displacement, elastic joint, piezoelectric actuator.*

Введение. Объектом исследования являются модули параллельных микроманипуляторов прецизионных перемещений, выполненных на базе упругих шарниров и пьезоэлектрических актуаторов. Устройства такого типа имеют широкий спектр отраслей использования, таких как точные оптико-механические системы, исследование биологических микроструктур, выполнение микрохирургических операций.

Модуль микроманипулятора координатных перемещений. Модуль микроманипулятора прецизионных координатных перемещений (рис.1) содержит стойку с установленными на ней тремя пьезоэлектрическими актуаторами, выходное звено и три взаимно-перпендикулярных звена, представляющих собой в классическом структурном смысле кинематические цепи из трех звеньев: двух концевых и одного промежуточного, соединенных между собой двухподвижными универсальными упругими шарнирами. Одним концевым звеном каждая цепь соединена с одним из пьезоэлектрических актуаторов, а другим – с выходным звеном микроманипулятора.

При активации каждый актуатор обеспечивает координатное перемещение выходного звена в направлении своей продольной оси. Актуаторы представляют собой многослойные столбики, собранные из пьезокерамических пластин.

Данные, а также результаты компьютерного моделирования для модуля микроманипулятора координатных перемещений (см. рис.1) и его деформации при отработке координаты представлены ниже: межосевое расстояние между шарнирами – 30 мм, масса концевых звеньев – 0,73·10-3 кг, масса промежуточного звена – 4.2·10-3 кг, момент инерции промежуточного звена – 3,78·10-7 кг·м^2, моменты инерции концевых звеньев – 1.82·10-9 кг·м^2: для каждой кинематической подцепи, масса выходного звена - 4·10-3 кг, момент инерции выходного звена – 3,5·10-7 кг·м^2.

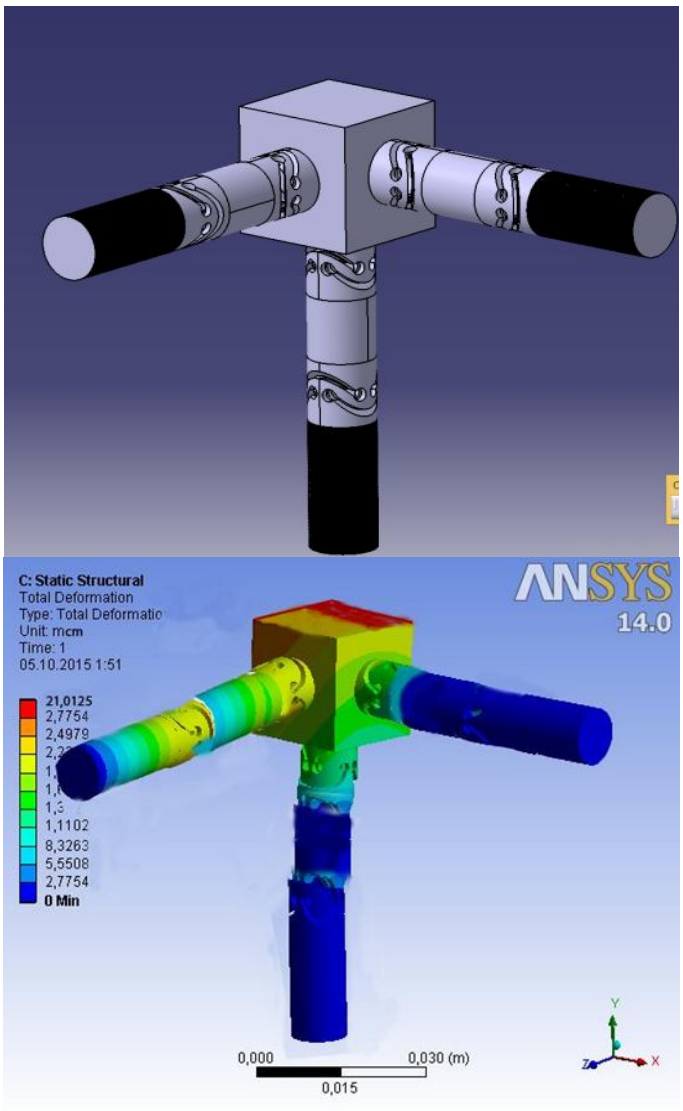


Рис. 1. Модуль микроманипулятора координатных перемещений и его деформации при отработке координаты

Моделирование реализовано в компьютерной среде ***ANSYS***. Получено перемещение выходного звена по одной координате, которое для модуля микроманипулятора координатных перемещений, изображенного на рис.2 составляет 21,01 мкм, а отклонение от координатного перемещения – 5%.

Модуль микроманипулятора прецизионных координатных перемещений с множительными рычагами.

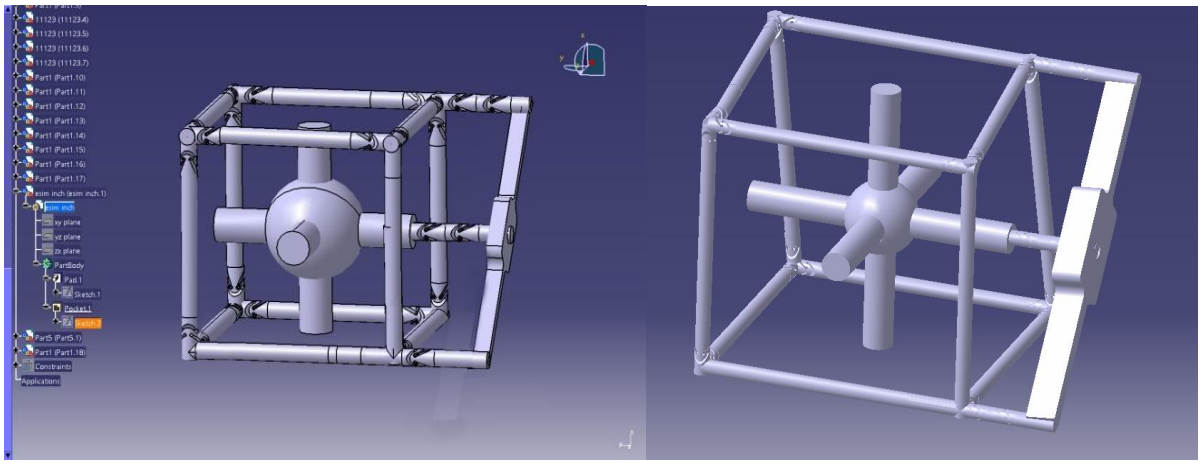


Рис. 2. Модуль микроманипулятора координатных перемещений с множительными рычагами и его деформации при отработке координаты

Модуль микроманипулятора прецизионных координатных перемещений с множительными рычагами (рис.2), аналогичный модулю микроманипулятора координатных перемещений по рис.1, отличается тем, что он содержит также множительные рычаги, увеличивающие диапазон перемещений выходного звена прототипа, который в рассматриваемом решении составил 37,024 мкм, а отклонение от координатного перемещения – 2,4%. Данные компьютерного моделирования для модуля микроманипулятора и его деформации при отработке координаты представлены ниже: межосевое расстояние между шарнирами – 80 мм, масса промежуточного звена – 1.12·10-2 кг, момент инерции промежуточного звена – 2,69·10-6 кг·м^2, масса концевых звеньев – 2.3·10-3 кг, моменты инерции концевых звеньев - 2.1·10-9 кг·м^2: для каждой кинематической подцепи, масса выходного звена – 2.7·10-3 кг, момент инерции выходного звена – 3.8·10-7 кг·м^2.

Реконфигурируемый модуль микроманипулятора поступательных перемещений с гибкими пьезоактуаторами. Реконфигурируемый модуль микроманипулятора (рис.3) имеет три степени подвижности и состоит из неподвижного звена и выходной платформы, трех кинематических цепей, соединенных с этими звеньями. Каждая цепь имеет по три упругих одноподвижных шарнира с взаимно-параллельными осями вращения и соединена одним концом посредством упругого шарнира и пьезоактуатора к неподвижному звену, а другим концом через гибкий пьезоактуатор, служащий линейной направляющей, к выходному звену. При этом каждая гибкая направляющая параллельна осям вращения упругих шарниров своей кинематической цепи, а последние перпендикулярны осям вращения шарниров двух соседних цепей.

Данные, а также результаты компьютерного моделирования для модуля микроманипулятора и его деформации при отработке координаты представлены ниже: межосевое расстояние между шарнирами – 10 мм, масса концевых звеньев – 2,6·10-3 кг, моменты инерции концевых звеньев – 1,9·10-9 кг·м^2, массы промежуточных звеньев – 4,2·10-3 кг, моменты инерции промежуточного звена – 3,78·10-7 кг·м^2: для каждой кинематической подцепи, масса выходного звена – 3,8·10-3 кг, момент инерции выходного звена – 4,9·10-7 кг·м^2. Благодаря введению гибких пьезоэлектрических управляемых направляющих существенно повышается диапазон перемещений выходного звена, который составляет 88,59 мкм, а отклонение его от координатного перемещения – 1,9 %.

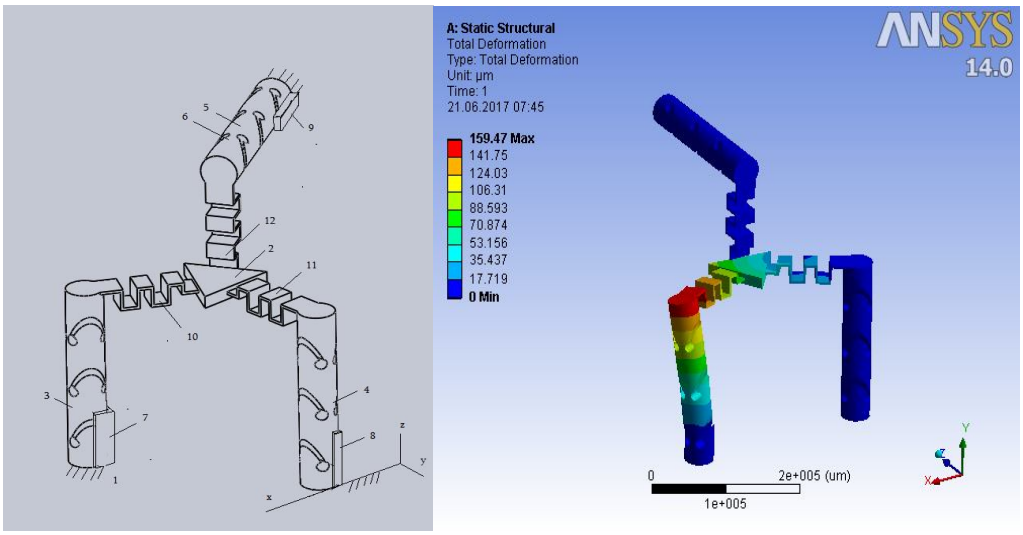


Рис. 3. Реконфигурируемый модуль микроманипулятора поступательных перемещений и его деформации при отработке координаты

Заключение. Представлены модули микроманипуляторов параллельной структуры с упругими шарнирами и пьезоэлектрическими актуаторами, обеспечивающие координатные перемещения и поступательное пространственное движение выходного звена. Выполнено численное моделирование трех вариантов модулей микроманипуляторов, определены диапазоны перемещений выходного звена, которые в порядке изложения составили соответственно: 21,01 мкм, 37,024 мкм и 88,59 мкм и проведен сравнительный анализ их точностных характеристик. При отработке каждой координаты имеют место нежелательные паразитные смещения по двум другим координатам, которые меньше основной более чем на порядок. Отклонения от координатного перемещения выходного звена для трех предложенных вариантов модулей микроманипуляторов составили соответственно: 5%, 2,4% и 1,9 %. Для достижения более высокой точности позиционирования необходима их компенсация, путем управления актуаторами.

Представленные модули микроманипуляторов наделены расширенными функциональными возможностями и улучшенными техническими характеристиками с точки зрения их переналаживаемости и увеличения зоны обслуживания и могут служить базой для разработки новых модулей прецизионных манипуляторов и манипуляционных систем.

Работа выполнена в рамках проекта 15T-2D044, финансируемого Государственным комитетом по науке при Министерстве образования и науки Республики Армения.

Список литературы: 1. Арутюнян М. Г., Кочикян А. В., Погосян М. З. Исследование плоского механизма координатных перемещений с упругими шарнирами Вибротехника, Вильнюс.: Мокслас – 1987, № 58 (1), С. 127-136. **2.** Кочикян А. В., Арутюнян М. Г., Парикян Т. Ф., Акопян А. Л. и Рагульскис К. М. Механизм координатных перемщений. Авторское свидетельство СССР № 1401994, кл. F 16 H 21/46, 1987. **3.** Мкртчян М. Г., Степанян К. Г., Арутюнян М. Г., Саркисян Ю. Л. К динамическому моделированию параллельного микроманипулятора с упругими шарнирами. Сб. трудов XX Межд. научно-техн. конф. “Машиностр. и техносфера XXI века”. – Донецк-Севастополь, 2013. – Том 2. С. 181-184. **4.** Jensen K. A., Lusk C. P. and Howell L. L. An XYZ micromanipulator with three translational degrees of freedom.Robotica - Vol. 24, No. 3, pp. 305-314, 2006. **5.** Кочикян А. В., Арутюнян М. Г., Погосян М. З., Акопян А. Л. и Рагульскис К. М. Механизм координатных перемщений. Авторское свидетельство СССР № 1236236, кл. F 16 H 21/10, 1985.

ДВИЖЕНИЕ ПОРЦИИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ПО ЦИЛИНДРИЧЕСКОМУ ЛОТКУ, СОВЕРШАЮЩЕМУ КРУТИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

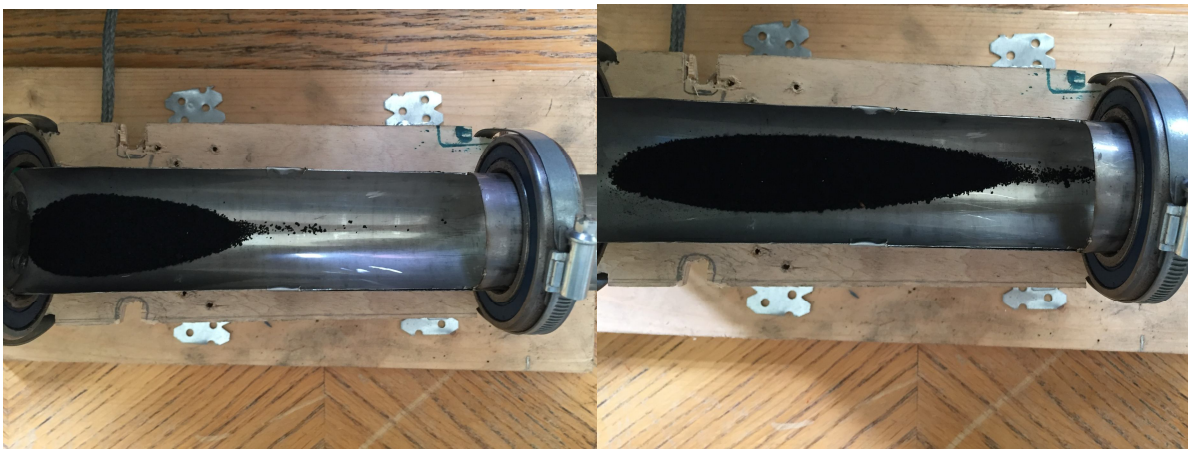
Алсайяд Т. Х. К., Першин В. Ф.
(*ТГТУ, Тамбов, Россия, pershin.home@mail.ru)*

Abstract: *The mathematical apparatus of random Markov processes discrete in space and time was used. The transition from one state to another is carried out abruptly. To simulate the change in shape, the matrix of transition probabilities is used, and to simulate the movement along the tray, the displacement matrix. The use of two matrices allows one to make a change in form and movement independent of each other, which more adequately describes the process as a whole. The results of the work are expected to be used in modeling the process of two-stage continuous continuous weighing of bulk materials.*
Keywords: *Bulk material, continuous dosing, state vector, transition matrix, displacement matrix, transition probability*

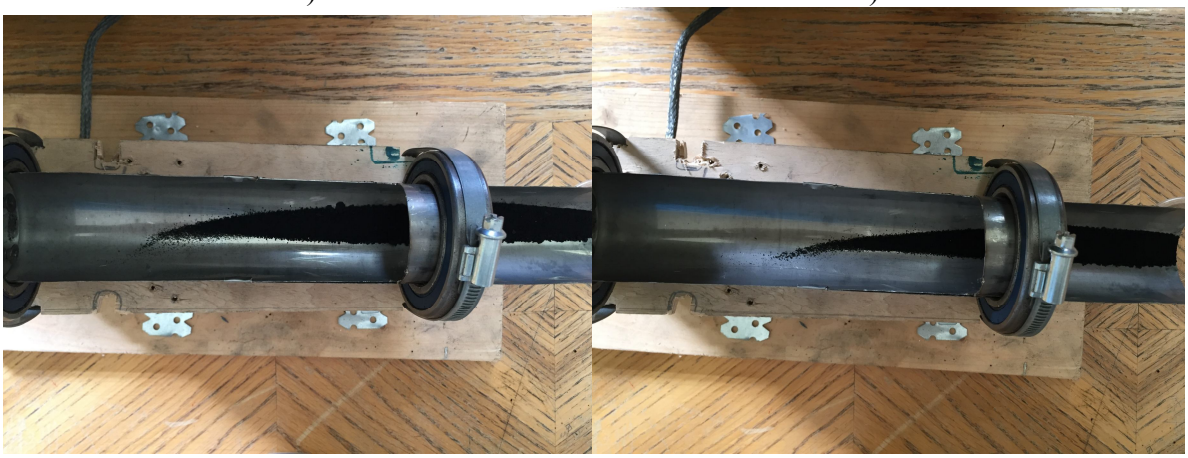
Весовое непрерывное дозирование широко используется в промышленности. Основная проблема совершенствования этого процесса – повышение точности дозирования. Особенно сложно этот вопрос решается при микродозировании, т.е. при производительностях менее килограмма в час. Успешное решение данной задачи невозможно без разработки математических моделей процесса дозирования, которые позволяют учитывать даже очень малые количества дозируемых материалов (сотые и тысячные доли грамма). На наш взгляд, для микродозирования наиболее перспективной является двухстадийная технология непрерывного весового дозирования [1]. Суть данной технологии заключается в том, что на первой стадии формируются отдельные порции сыпучего материала определенного веса, а на второй – эти порции преобразуются в непрерывный поток. Разработан ряд устройств для преобразования отдельных порций в непрерывный поток [2,3], основным элементом которых является вибрирующий лоток, ось которого наклонена к горизонту под небольшим углом (обычно до 5^{O}). Экспериментальные исследования показали, что для некоторых материалов, например углеродные нанотрубки, при вибрации сильно изменяется насыпная плотность [4]. При микродозировании данных материалов целесообразно использовать цилиндрический лоток, совершающий крутильные колебания [4]. При крутильных колебаниях, в отличие от вертикальных, меньше изменяется насыпная плотность дозируемого материала и его движение по лотку более стабильно. На рис. 1 показано разложение по кадрам видеоизображения процесса движения порции материала по наклонному вибрирующему лотку.

Как видно из фотоснимков, одновременно происходит изменение формы порции и ее перемещение вдоль лотка.

При моделировании процесса движения порции сыпучего материала успешно используется математический аппарат случайных марковских процессов, дискретных в пространстве и времени [5]. В соответствии с этими моделями, лоток по длине разбивался на N участков и распределение материала вдоль лотка определяется вектором состояния. Элементы вектора состояния численно равны долям материала, находящегося на конкретном участке, от общего веса порции.



а) б)



в) г)

Рис.1 Движение порции сыпучего материала на наклонном вибрирующем лотке

Математически процесс изменения формы порции и ее перемещение можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} S(1) &= S(0)P \\ S(2) &= S(1)P \\ S(i) &= S(i-1)P \\ S(k) &= S(k-1)P \end{aligned} \qquad (1)$$

где $S(i)$ – вектор состояния системы после перехода i, P – матрица переходных вероятностей.

В данном случае $k = T/\Delta T$, где k – номер перехода, на котором заканчивается процесс, T – время, за которое заканчивается процесс, ΔT – время, за которое осуществляется один переход.

Часто используют матрицу переходных вероятностей у которой только вероятности $p_{i,i}$ и $p_{i,i+1}$ отличны от нуля.

В качестве примера рассмотрим лоток, состоящий из 9 участков. Пусть вектор начального состояния равен $S(0) = \{0.2,0.6,0.2,0,0,0,0,0,0\}$, а матрица переходных вероятностей имеет вид:

$$P=\begin{vmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 05 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Десятый элемент в векторе состояния моделирует аппарат. в который поступает материал после дозатора. Совершенно очевидно, что независимо от числа переходов, даже на первом участке всегда есть материал. При моделировании процесса смешивания это соответствует реальному процессу, а при движении порции по лотку нет, как это видно на рис.1. Чтобы устранить этот недостаток можно использовать матрицу, у которой элементы на главной диагонали равны нулю:

$$P=\begin{vmatrix} 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

В данном случае происходит не только изменение формы порции, но и на каждом переходе перемещение всего материала на один участок вперед, т.е. к ссыпающему краю лотка. Численные значения переходных вероятностей определяются по результатам экспериментов при идентификации параметром математической модели. Проверка адекватности предлагаемой модели осуществлялась с использованием экспериментальных данных полученных на лабораторной установке с лотком длинной 400мм и диаметром 35мм. Угловая амплитуда колебаний лотка изменялась от 5 до 30^{O}, а частота от 20 до 50Г. В качестве дозируемых материалов использовали углеродные материалы «Таунит», «Таунит-М», «Таунит-МД». Производительность изменялась от 0,01 до $0,5гс^{-1}$. Вес отдельной порции изменялся от 0,2 до 3,0 г.

Анализ результатов показал, что при использовании предлагаемой модели, расхождения между расчетными значениями точности дозирования и экспериментальными не превышает 10–20%. Учитывая, что отклонения реальной производительности от заданной составляет 0,2% (при отборе проб за 360 с), такие отклонения вполне допус-

тимы. Установлено, чем меньше производительность, тем существеннее преимущества предлагаемой модели с используемой ранее [5].

Возможен также вариант использования матрицы переходных вероятностей (2) и матрицы перемещений, которая может иметь вид:

$$P_m = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (4)$$

В этом случае изменится процесс (1), поскольку после перемножения предыдущего вектора состояния системы, полученный результат необходимо перемножить на матрицу перемещений (4) т.е.:

$$S(i) = S(i-1)P \text{ и далее } S(i) = S(i)P_m$$

В матрице (4) можно организовать перемещение материала на две или три участка вперед (единицы сместятся на одну или две позиции вправо). По нашему мнению использование матрицы перемещений удобнее, чем матрицы вероятностей (3), поскольку в данном случае процессы изменения формы и перемещение материала вдоль лотка полностью разделены.

Таким образом, разработана математическая модель движения сыпучего материала по цилиндрическому лотку, совершающему крутильные колебания, более адекватно описывающая реальный процесс.

Список литературы: **1.** Мищенко С. В., Ткачев А. Г. Углеродные Наноматериалы. Производство, Свойства, Применение, М.: Машиностроение, 2008. – 320 стр. **2.** Пат. 2138783 Российская федерация, С1, МКИ О 01 Б 11/00. Способ непрерывного дозирования сыпучих материалов [Текст]/ В. Ф. Першин, С. В. Барышникова; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. Техн. ун-т.– № 98110906/28; заявл. 02.06.98; опубл. 27.09.99, Бюл. № 27. **3.** Пат. 2251083 Российская федерация, С2, МКИ О 01 Б 11/00 Способ непрерывного дозирования сыпучих материалов устройство для его осуществления [Текст]/ В. Ф.Першин, С. В.Барышникова, Д. К. Каляпин, А. А.Осипов; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. Техн. ун-т.-№ 2003109774/28; заявл. 07.04.03; опубл. 27.04.05, Бюл. № 12. **4.** Патент 113353 Российская Федерация, МКИ G01 F11/00 Устройство для непрерывного двухстадийного дозирования углеродных материалов [Текст] / Першина С. В., Ди Джиннаро А. И., Однолько В. Г., Осипов А. А. Першин В. Ф., Явник П. М.; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. Техн. ун-т.-№2011126102/28; заявл. 24.06.11, опубл. 10.02.12, Бюл. № 4. **5.** Першина С. В. Весовое дозирование зернистых материалов: монография / С. В. Першина, А. В. Каталымов, В. Г. Однолько, В. Ф. Першин. – М.: Машиностроение, 2009. – 260с.

ДВИЖЕНИЕ МЕЛЯЩИХ ШАРОВ В ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Аль-Саади Д. А. Ю., Першин В. Ф.*(ТГТУ, Тамбов, Россия,*
E-mail:pershin.home@mail.ru)

Abstract: *The forces acting on the grinding balls located in the grinding drum of a planetary mill are considered. The conditions under which the balls slide over the inner surface of the drum are determined. A mathematical dependence is obtained that allows us to calculate the regime and geometric parameters under which shear forces act on graphite particles and the formation of graphene nanostructures occurs as intensively as possible.*

В настоящее время используют два основных способа получения наночастиц: «снизу вверх» (“bottom-up”) – это синтез; «сверху вниз» (“top-down”) – это процессы измельчения или истирания. Механические устройства, в которых энергия передается конечному зернистому материалу для уменьшения размера частиц, обычно называют «мельницами». Для тонкого измельчения в различных отраслях промышленности широко используются планетарные мельницы. В последние годы шаровые мельницы используют для получения наноразмерных частиц различных материалов [1, 2], в том числе и графеновые наноструктуры [3]. По нашему мнению, наиболее интенсивно графеновые наноструктуры образуются, когда на частицы графита или оксида графита действуют сдвиговые усилия. Мы разработали планетарную мельницу в которой шары скользят по внутренней поверхности помольного барабана. В этой мельнице, шары размещены в сепараторе, причем с одной стороны расположено несколько шаров, например три, а диаметрально противоположной стороне только один шар. Режим движения шаров зависит от соотношения угловых скоростей помольных барабанов относительно центральной оси (переносное движение) и относительно собственной оси этих барабанов (относительное движение). В докладе представлены результаты анализа сил, которые действуют на шары и определения критической скорости вращения помольного барабана относительно собственной оси, при которой шары прекращают скользить по внутренней поверхности барабана и начинают вращаться вместе с ней.

На рис. 1 показана схема действия сил на шары, которые находятся в помольном барабане (сепаратор, который связывает шары между собой, не показан). В общем случае на каждый шар действуют следующие силы:

F_{CS} – центробежные силы, которые возникают, как результат движения помольного барабана относительно центральной оси (вместе с солнечным диском); F_{CJ} – центробежные силы, которые возникают как результат вращения помольного барабана относительно собственной оси; F_G – гравитационные силы; F_c силы Кореолиса; F_F – силы трения, которые возникают как результат проскальзывания шаров относительно внутренней поверхности помольного барабана. Если шары не проскальзывают относительно внутренней поверхности барабана, то $F_F = 0$, а если проскальзывают и не вращаются относительно собственной оси помольного барабана, $F_C = 0$ и $F_{CJ} = 0$. Силой F_G можно пренебречь, поскольку мы рассматриваем случай когда F_{CS} на два порядка больше чем сила веса**.**

Численные значения сил рассмотрим на примере шара III, когда он проскальзывает относительно внутренней поверхности помольного барабана. Схема для расчета указанных сил показана на рис. 2.

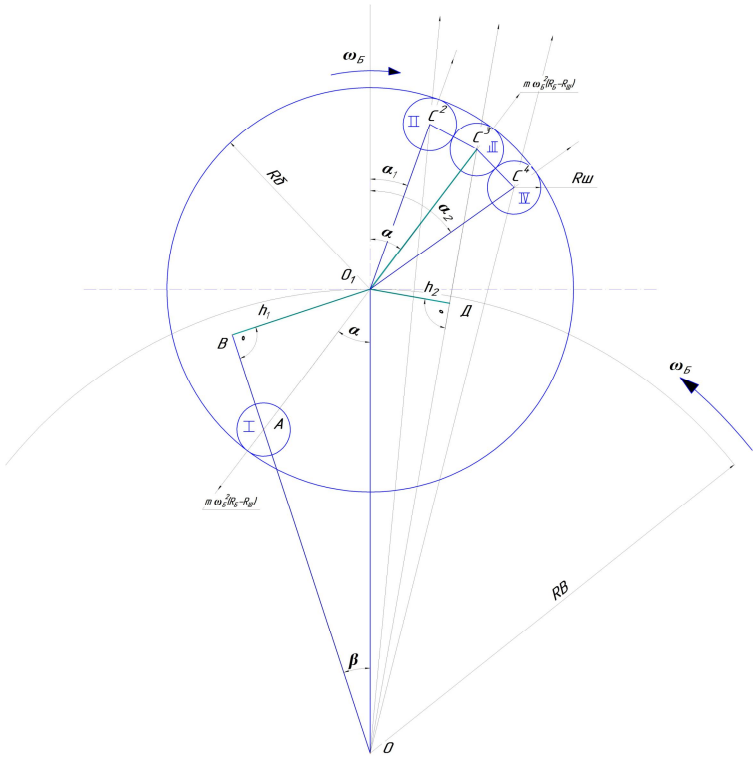


Рис.1. Схема действия сил на шары в помольном барабане планетарной мельницы (сепаратор не показан)

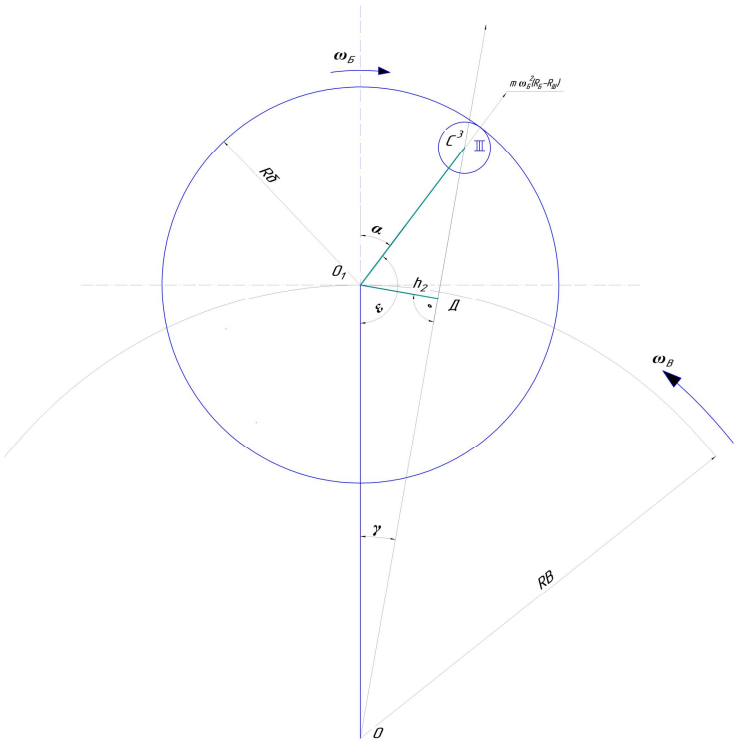


Рис.2. Схема действия сил на шар III

Если шар скользит по внутренней поверхности помольного барабана, но вращается относительно центральной оси, то на него действует центробежная сила F^{III}_{CS}:

$$F_{CS}^{III} = m\omega_B^2 OC^{III}, \quad (1)$$

где m – масса шара, ω_B – угловая скорость вращения относительно центральной оси.
Численное значение OC^{III} и угла γ найдем из треугольника OO_1C^{III} используя теорему косинусов:

$$OC^{III} = \sqrt{(O_1O)^2 + \left(O_1C^{III}\right)^2} - 2(O_1O)\left(O_1C^{III}\right)\cdot \mathrm{Cos}\varepsilon, \quad (2)$$

$$Cos\gamma = \frac{\left(OC^{III}\right)^2 + (OO_1)^2 - \left(O_1C^{III}\right)^2}{2\left(OC^{III}\right)\cdot(OO_1)}. \quad (3)$$

Из треугольника OO_1D определим $h_3 = O_1D$;

$$h_3 = Sin\gamma OO_1. \quad (4)$$

Далее определим крутящий момент M^{III}, который создает шар III относительно точки O_1

$$M^{III} = m\omega_B^2 OC^{III} h_3 \quad (5)$$

Кроме этого действует крутящий момент M_F^{III}, который возникает от действия силы трения F_F^{III}:

$$M_F^{III} = F_F^{III} R_J \quad (6)$$

$$F_F^{III} = f_F N^{III}, \quad (7)$$

где f_F – коэффициент трения скольжения, N^{III} – нормальная сила, которая возникает от действия F_{CS}^{III}:

$$N^{III} = F_{CS}^{III} \cos(180 - \varepsilon^{III} - \gamma^{III}). \quad (8)$$

По формулам аналогичным (1–8) можно рассчитать силы, которые действуют на на шары I, II и IV.
Рассматрим предельное состояние системы, т.е. когда моменты, действующие по часой стрелке, будут равны моментам, действующим в противоположную сторону:

$$M^{II} + M^{III} + M^{IV} + M_F^I = M^I + M_F^{II} + M_F^{III} + M_F^{IV}. \quad (9)$$

Если в выражение (9) подставить (1–8), то можно решить следующие задачи:

– при известных $\omega_Б$, ω_B, $R_Б$, R_B, f_F, $R_Ш$ можно найти угол α, т.е. положение шаров в котором они будут скользить по внутренней поверхности помольного барабана;

– при известных ω_B, R_B, $R_Б$, f_F, $R_Ш$, α можно найти $\omega_Б$;

– при известных $\omega_Б$, R_B, $R_Б$, f_F, $R_Ш$, α можно найти ω_B;

– при известных R_B, R_J, f_F, $R_{Ш}$, α можно найти $\omega_B / \omega_Б$.

Возможно также, при меньшем числе заданных параметров, найти возможные сочетания остальных параметров, при которых шары будут скользить относительно внутренней поверхности помольного барабана.

Аналогично решается задача о движении нескольких шаров, которые не связаны между собой сепаратором, но в этом случае необходимо не только удалить шар I на рис.1, но и добавить силы, которые действуют между шарами. На рис.3 показано движение шаров при $R_S = 75$ мм, $R_J = 55$ мм, $\omega_S = 31{,}4 s^{-1}$, $\omega_J = 6 s^{-1}$, $R_B = 6$ мм, $f_f = 0{,}11$. В этом случае шары скользят по внутренней поверхности барабана.

Рис.3 Движение шаров в помольном барабане планетарной мельницы

Таким образом, получена зависимость (9), которая позволяет рассчитать режимные и геометрические параметры планетарной мельницы, при которых устойчиво существует режим скольжения мелящих шаров по внутренней поверхности барабана, необходимый при производстве графена.

Список литературы: 1. Khakan, B., Shahroozi, A., Hosseini, S. R. Investigation of stearic acid additive effects on the mechanochemical synthesis of silver nanoparticles. – Powder Diffraction, 2017, pp.1–4. **2.** Dutkova et al. Synthesis and characterization of $CuInS_2$ nanocrystalline semiconductor prepared by high-energy milling. Journal of Materials Science, V.51, №4, 2016, pp. 1978–1984. **3.** Deng, S.et.al. A facile way to large-scale production of few-layered graphene via planetary ball mill.– Chinese Journal of Polymer Science, V. 34, №10, 2016, pp.1270-1280.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛ В ВАЛКОВЫХ МЕХАНИЗМАХ МАШИН ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОЖ

Бахадиров Г. А., Абдукаримов А., Хусанов К., Набиев А. М.
(ИМСС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан)
Тел./Факс: (+998971) 262-71-55; E-mail: instmech@rambler.ru

Abstract: *In this paper the correlation of forces in the process of feeding a semi-finished leather product to the working area by the transport device is studied. It shows the ratio between the pulling force and the radius of the driving shaft, the coefficient of friction and the angle of the girth of the semi-finished leather and driving shaft.*
Keywords: *transporting mechanism, pulling force, semi-finished leather, angle of girth, mechanical processing.*

Тяговое усилие, создаваемое транспортирующим механизмом, должно превышать с необходимым запасом максимально возможное сопротивление перемещению. При встречной подаче полезное соротивление-это окружная сила, приложенная со сторононы рабочего вала к полуфабрикату. Если машина работает на попутной подаче (строгальная, шлифовальная и др.), то окружная здает сопротивление, а на оборот, полуфабрикат перемещается силами резания. Транспортирующий механизм является здесь по существу тормозным и обеспечивает лищь заданную скорость подачи.

Тяговое усилие в валковых механизмах создается силами трения двух видов:

1. Вследствие прижатия валов, подчиняющихся в первом приближении закону трения Кулона-Амонтона: $T = \mu N$, где μ – коэффициент трения, N – сила прижатия валов;

2. Вследствие огибания вала полуфабрикатом, описываемым формулой Эйлера: $T = T_1\left(e^{\mu\alpha} - 1\right)$, где T_1 – натяжение; α – угол обхвата вала полуфабрикатом [1].

Рассмотрим силовую взаимосвязь между валом транспортирующего устройства и кожевенным полуфабрикатом. Транспортирующее устройство состоит из ведущего 1 и ведомого 2 валов и между ними расположен расправочный стол 3. Ведущий вал 1 вращается принудительно, а ведомый вал 2 вращается за счет трения между кожевенным полуфабрикатом 4 и ведомым валом 2, (рис. 1) [2].

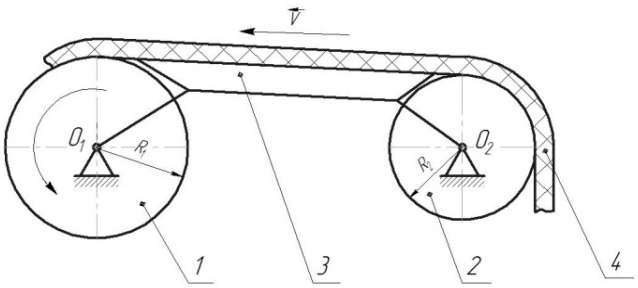


Рис. 1. Схема транспортирующего устройства

Ведущий вал 1 втягивает и подает кожевенный полуфабрикат 4 в зону механической обработки. Для втягивания кожевенного полуфабриката ведущим валом необходимо выполнение следующего условия $T_2 \geq T_1$ (рис.2.).

На рис. 2 имеем выражение для втягивающей силы:

$$T_2 = \mu N_1 \cos(90 - \alpha) = \mu N_1 \sin\alpha. \quad (1)$$

Условно разделим кожевенный полуфабрикат на четыре участка.

Здесь N_1– нормальная реакция ведущего вала на элемент кожевенного полуфабриката, μ– коэффициент трения между кожевенным полуфабрикатом и ведущим валом. Если учитывать что, $\alpha = \frac{\pi}{2}$, тогда

$$T_2 = \mu N_1. \quad (2)$$

Средняя плотность кожевенного полуфабриката $\rho_{ср} = \frac{m_1}{V_1}$, откуда,

$$m_1 = \rho_{ср} V_1, \quad (3)$$

где m_1 – масса участка на переднем конце кожевенного полуфабриката, V_1 – объем данного участка.

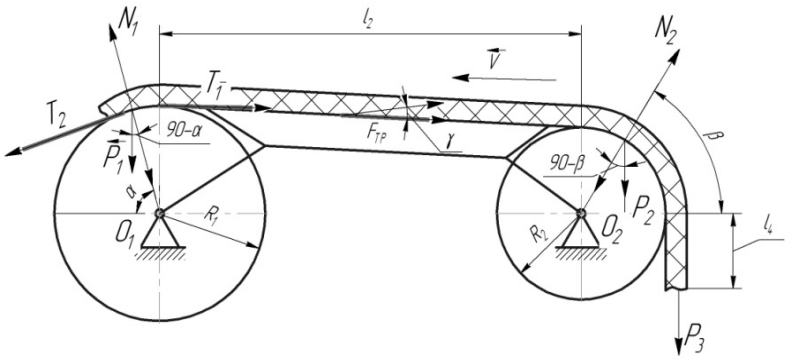


Рис. 2. Схема сил действующих на транспортирующее устройство

V_1 определятся следующим образом,

$$V_1 = l_1 \delta_{ср} l_ш, \quad (4)$$

где $\delta_{ср}$ – средняя толщина кожевенного полуфабриката, $l_ш$ – проходная ширина кожевенного полуфабриката, l_1 – длина дуги, которая определяется из,

$$l_1 = R_1 \alpha \ . \quad (5)$$

где R_1 – радиус ведущего вала и α – центральный угол обхвата, в пределах которого кожевенный полуфабрикат огибает вала.

Подставляя выражения (4), (3) и (5) в (2) получим,

$$T_2 = \mu m_1 g = \mu \rho_{ср} V_1 \ g = \mu \rho_{ср} l_1 \delta_{ср} l_ш g = \mu \rho_{ср} R_1 \alpha \delta_{ср} l_ш g \ . \quad (6)$$

С другой сторон сила T_1 состоит из трех составляющих, т.е., эти силы создают торможение движению кожевенного полуфабриката,

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3, \tag{7}$$

где, F_1– сила трения, возникающая (при коэффициенте трения μ_1) между поверхностью расправочного стола и кожевенного полуфабриката,

$$F_1 = F_{TP} \sin\gamma \ .$$

Аналогично, при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ получим,

$$F_1 = F_{TP} \sin\gamma = \mu_1 N_1. \tag{8}$$

Объем этого участка V_2 определяется из,

$$\rho_{cp} = \frac{m_2}{V_2} \ \Rightarrow m_2 = \rho_{cp} \ V_2 \,, \tag{9}$$

где m_3 – масса участка на переднем конце кожевенного полуфабриката на расстоянии между ведущим и ведомым валами.

$$V_2 = l_2 \ \delta_{cp} \ l_ш, \tag{10}$$

где δ_{cp} – средняя толщина кожевенного полуфабриката, l_2– расстояние между ведущим и ведомым валами.

Подставляя выражения (10) и (9) в (8) получим,

$$F_1 = \mu_1 N_1 \sin\gamma = \mu_1 m_2 g = \mu_1 \ \rho_{cp} \ l_2 \ \ \delta_{cp} \ l_ш \ g. \tag{11}$$

На втором участке кожевенного полуфабриката ведомый вал работает по схеме тормозного колеса. На него действует момент торможения M_m,

$$M_m = P_2 \ F_2, \quad F_2 = \frac{M_m}{R_2}, \tag{12}$$

где F_2 – сила трения; N_2 – сила нормального давления кожевенного полуфабриката; P_2 – реакция опор.

Из равенства работ валов за один оборот запишем,

$$2\pi R_2 F_2 = 2\pi r_ц \ f_ц N_2 \cos(90 - \beta) = 2\pi r_ц \ f_ц N_2 \sin\beta, \tag{13}$$

где $f_ц$ – коэффициент трения в цапфах опор ведомого вала; $r_ц$ – радиус цапфы [3]. При $\alpha = \frac{\pi}{2}$ из формулы (13) следует

$$F_2 = f_ц \frac{N_2 r_ц}{R_2}. \tag{14}$$

После некоторых преобразований получим,

$$F_2 = f_ц \frac{m_3 g r_ц}{R_2} = f_ц \rho_{ср} l_3 \delta_{ср} l_щ \frac{g r_ц}{R_2}. \tag{15}$$

На третьем участке кожевенного полуфабриката имеет место:

$$F_3 = P = m_4 g. \tag{16}$$

Определим m_4,

$$\rho_{ср} = \frac{m_4}{V_4} \Rightarrow m_4 = \rho_{ср} V_4, \tag{17}$$

где m_4 – масса свободного конца кожевенного полуфабриката, $V_4 = l_4 \delta_{ср} l_ш$. – объем этого участка, $\delta_{ср}$ – средняя толщина кожевенного полуфабриката, l_4 – длина свободного конца.

Подставляя выражение (17) в (16) получим,

$$F_3 = P = m_4 g = \rho_{ср} l_4 \delta_{ср} l_ш g. \tag{18}$$

Для выполнения условия $T_2 \geq T_1$, с учетом (11), (15), (18) и (7) должно иметь место,

$$\mu \rho_{ср} R_1 \alpha \delta_{ср} l_ш g \geq \mu_1 \rho_{ср} l_2 \delta_{ср} l_ш g + f_ц \rho_{ср} l_3 \delta_{ср} l_щ \frac{g r_ц}{R_2} + \rho_{ср} l_4 \delta_{ср} l_ш g.$$

Допустим, что во всех участках кожевенного полуфабриката его параметры, т.е. средняя толщина $\delta_{ср}$, ширина $l_ш$ и средняя плотность $\rho_{ср}$ одинаковая. Тогда получим следующее выражение,

$$\mu R_1 \alpha \geq \mu_1 l_2 + f_ц l_3 \frac{r_ц}{R_2} + l_4. \tag{19}$$

Для обеспечения максимальной набегающей силы μ_1 – должен иметь максимальное значение, т.е.:

$$f_ц \frac{N_2 r_ц}{R_2} > \mu_2 N_2,$$

где μ_2 – коэффициент трения между кожевенным полуфабрикатом и ведомым валом.

Отсюда получаем условие,

$$f_ц \frac{r_ц}{R_2} > \mu_2, \qquad (20)$$

Теперь построим графики (рис. 3, 4), при следующих значениях параметров: $\mu_1 = 0{,}1,\ l_2 = 800\,mm,\ l_3 = 100\ mm,\ l_4 = 200\,mm,\ f_ц = 0{,}9,\quad r = 10\ mm,\ R_2 = 100\ mm$.

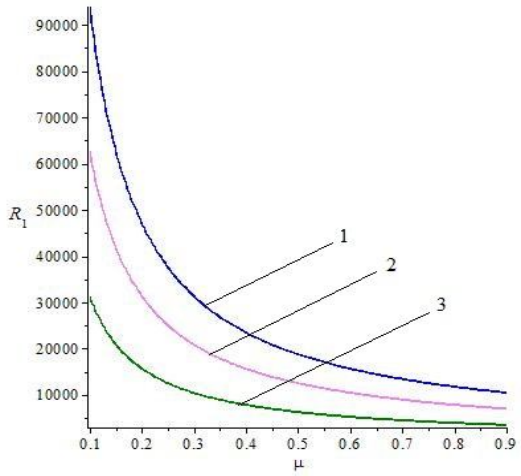


Рис. 3.Отношения между R_1 и μ:
при 1) $\alpha_1 = \frac{\pi}{6}$;. 2) $\alpha_2 = \frac{\pi}{4}$; 3) $\alpha_3 = \frac{\pi}{2}$

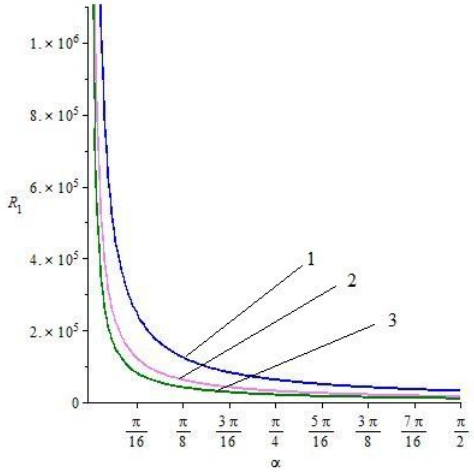


Рис. 4. График зависимости между R_1 и α:
при 1) $\mu_1 = 0{,}1$; 2) $\mu_1 = 0{,}2$; 3) $\mu_3 = 0{,}3$

Из графиков и выражения (21) видно, что для выполнения технологического требования, т.е. для создания большой сбегающей силы в теоретическом плане, необходимо иметь большой угол обхвата и большой коэффициент трения. Из-за экономических и эргономических соображений не всегда можно достичь этого. Поэтому, рекомендуется изменить конструкцию транспортировочного устройства. Рекомендуеися устанавливать сверху ведущего вала прижимной вал, с целью увеличения втягивающей силы.

Список литературы: 1. Бурмистров А. Г. Машины и аппараты производство кожи и меха. – М.: КолосС, 2006. – С. 381. **2.** Бахадиров Г. А. Современное состояние и тенденции развития оборудования для механической обработки листовых материалов. Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров // Сборник трудов IX Международной научно-методической конференции в городе Сухум с 01 по 09 октября 2016 г. – Донецк: МСМ, 2016. – 289 с. С. 18–21. **3.** Патент на полезную модель РУз, № FAP 00675. Машина для механической обработки кож. Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности РУз №12 (128). Ташкент, С. 58. Бахадиров Г. А., Ризаев А. А., Баракаев Н. Р., Бахадиров К. Г., Умаров А. А., Атажанова Н.Б. 2010 г. **4.** Бахадиров Г. А. Механика отжимной валковый пары. Ташкент : Фан, 2010. С. 155.

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ МОБИЛЬНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ

Бахадиров Г. А. *(ИМСС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан)*
Тел./Факс: (+998971) 262-71-55; E-mail: instmech@rambler.ru
Баракаев Н. Р. *(ГулГУ г. Гулистан, Узбекистан)*
Тел./Факс: (+998367) 225-17-32; e-mail: bnr-1967@mail.ru
Бахадиров К. Г. *(ТГТУ, г. Ташкент, Узбекистан)*
Тел./Факс: (+998971) 294-89-18; e-mail: bahadirov@mail.ru

Abstract: *In the article the questions necessity for post-harvest grain processing creation of the machines' constructions are considered.*
Keywords: *grain, grain cleaning, separation, fractionation, mobile machine.*

Производство зерновых культур включает в себя ряд последовательных операций, в состав которых входят: уборка, послеуборочная обработка и переработка. Нарушение технологии одной из выполняемых операций приводит к необратимым последствиям. Увеличение производства зерна в последние годы вызывает определённую сложность в его производстве. Особое внимание в производстве зерновых уделяется послеуборочной обработке зерна. Задачей послеуборочной обработки является доведение качества зерна до требуемых кондиций, установленных государственным стандартом. Так, как одним из основных признаков качества зерна является засоренность его разными примесями.

В Узбекистане на протяжении последних нескольких лет ускоренными темпами наращивается производство зерна и других продовольственных культур. С момента обретения республикой независимости в целях обеспечения потребности населения в зерне сегодня по сравнению с 1991 годом выращивается в 10 раз больше зерна (в 2015 году более 8 млн. тонн), в 5 раз больше бобовых (фасоль, маш, зеленый горошек, местный горох, соя и др.).

Создание компактных, выполняющих несколько технологических процессов мобильных машин, необходимых для послеуборочной обработки зерна, т.е., очистки от различных органических, минеральных и крупных примесей является одним их важных проблем отрасли.

Научные исследования, направленные на разработку и совершенствование технологии и машин для послеуборочной обработки зерна, выполняются в различных ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира. В результате проведенных исследований в области технологии и машин для очистки от примесей и фракционирования получены ряд существенных научных результатов, в том числе: созданы машины для очистки зерна путем поэтапного просеивания зерна через сита различных размеров; применены в производстве колеблющиеся сепараторы с возвратно-поступательным движением; созданы пневмосепараторы; разработаны гравитационные, центробежные и инерционные сепараторы); в технологическом процессе применена очистка зерна с помощью воздушного потока путем двухразового пропуска сначала и после через сито-системные сепараторы.

В данное время, из хозяйств, стала поступать зерновая смесь с повышенным содержанием сорной примеси. Производительность зерноочистительных машин и агрегатов в значительной степени зависит от фактических значений влажности и засоренности. Так, в соответствии с ГОСТ 588S-63, каждый процент увеличения сорных примесей в зерне основной культуры сверх 10% снижает производительность ветро-решетных машин при очистке на 2%, а каждый процент увеличения влажности зерна свыше 16 % - на 5 %.

Для предварительной очистки в большинстве машин использован принцип

разделения зерновой смеси в воздушном канале. Основу зерноочистительных агрегатов, комплексов и семяочистительных линий составляют решетные машины предварительной, первичной и вторичной очистки, обладающие сравнительно низкой энергоемкостью по сравнению с другими способами очистки зерновых смесей.

Большое количество разновидностей зерновых смесей и несовершенство технологических процессов серийных очистительных машин вызывает необходимость фракционирования обрабатываемого материала и насыщения технологических линий для послеуборочной обработки специальными машинами для доочистки. Это приводит к увеличению себестоимости семенного материала, усложняет настройку очистительных линий, часто снижает производительность и не всегда обеспечивает получение высококондиционной продукции.

Большинство компонентов мелкосеменных смесей существенно отличаются по размерам, но сочетание размеров таково, что эти смеси плохо разделяются при безотрывном режиме их движения по решетам. Для повышения эффективности процесса сепарации мелкосеменных смесей необходимо обеспечить движение обрабатываемого материала с отрывом от решета.

Одним из путей его реализации является применение вибрационного привода решет, который позволяет значительно улучшить кинематические параметры этих машин: увеличить ускорение решет (в 10 раз) и частоту колебаний (в 5 ... 10 раз), уменьшить амплитуду колебаний (в 5 ... 10 раз) по сравнению с обычными зерноочистительными машинами. Но недостаточная изученность процесса вибрационного сепарирования мелкосеменных смесей затрудняет внедрение вибрационных решет в сельскохозяйственное производство.

Работа зерноочистительных агрегатов осуществляется при больших затратах электроэнергии. Кроме того, специалисты отмечают высокий уровень травмирования семян зерноочистительными агрегатами. Это вызвано наличием большого количества транспортирующих устройств.

Анализ работы существующих зерноочистительных машин в хозяйствах показал, что за один пропуск через технологическую линию невозможно получать семена первого класса. Производство зерна на современном этапе неразрывно связано с созданием новых сортов, имеющих не только высокую продуктивность, но и высокое качество, которое зависит от физико-химических и механических свойств зерна. Исследование местных сортов зерна представляет собой не только научный интерес, но также имеет большое значение для получения качественной муки.

По данным исследований производительности зерноочистительных машин и агрегатов при проведении различных операций (предварительной, первичной и окончательной очистки) заметно снижается и отличается от паспортных данных. В результате этого зерно хранится на открытых площадках, что ухудшает его товарные качества и увеличивает потери. При создавшейся ситуации многие хозяйства вынуждены отказаться от предварительной и первичной обработки зерна, что приводит к утрате значительной части уже вложенных средств из-за снижения качества и увеличения потерь производимого зерна и семян.

Анализируя приведенные выше факты, можно отметить, что существующая технология послеуборочной обработки зерна имеет ряд существенных недостатков. Основной недостаток существующих очистительных машин послеуборочной обработки зерна - низкая производительность и качество очистки от примесей зернового материала, которые вызваны почти полным износом основных технических средств в агропромышленных предприятиях. Практически на каждом этапе существующей технологии требуется очистка от засорителей и примесей: в хозяйствах АПК - на элеваторах - на мукомольных и комбикормовых заводах.

Разработка мобильных очистителей зерна актуальна во всем мире. В мире осуществляется ряд исследований по созданию технологии и машин для сепарирования и фракционирования зерна, по ряду приоритетных направлений проводятся исследования, в том числе создание новой серии высокопроизводительных, энерго и металлосберегающих машин для сепарирования и фракционирования для комбинированных технологических процессов; полная механизация и автоматизация технологического процесса; увеличение производства муки высших сортов с применением высокопроизводительных приборов и передовых технологий, развитие мучно-крупяной и комбикормовой промышленности; рекомендация показателей и режимов работы приборов, применяемых в технологическом процессе с учетом химических, физико-механических свойств зерновых культур.

Предприятия, перерабатывающие зерно в продовольственные и кормовые продукты, предъявляют серьезные требования при его приемке. Так, например, содержание сорной примеси в пшенице, принимаемой мельницами для переработки в сортовую муку, не должно превышать 2%, в том числе вредной примеси не более 0,2%.

Содержание зерновой примеси не должно превышать 5%, в том числе проросших зерен не должно быть более 3%. Но для получения муки высокого качества необходимо до помола удалить и эти примеси. Зерно, поступающее из очистительного отделения мельницы в размольное, не должно содержать более 0,3% органических примесей.

Анализируя приведенные выше факты, можно отметить, что существующая технология послеуборочной обработки зерна в сельскохозяйственных предприятиях имеет ряд существенных недостатков. Основной недостаток существующей технологии послеуборочной обработки зерна - низкие производительность и качество очистки от примесей зернового материала. Следовательно, для разработки новой конструкции мобильного сепаратора зерна необходимо:

- изучить особенности основных узлов и элементов мобильных оборудований для послеуборочной обработки зерна;
- определить взаимосвязь между основными рабочими органами мобильного сепаратора зерна;
- разработать методики расчета и проектирования основных рабочих органов конструкции мобильного сепаратора зерна.

Список литературы: 1. Оробинский В. И. Фракционирование зерна. Совершенствование послеуборочной обработки семян: Saarbrucken: Lap Lambert academic publishing Gmbh 8. Co.KG. – 2012. – 381 с. **2.** Тарасенко А. П., Оробинский В. И., Мерчалова М. Э., Сорокин Н. Н. Совершенствование технологии получения качественных семян и продовольственного зерна // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4. – № 1 (13). – С. 36–40. **3.** Зерноочистительные машины. Интернет ресурс: http://www.agrovigs.com. **4.** Бахадиров Г. А., Абдукаримов А., Баракаев Н. Р., Шернаев А. Н. Вопросы автоматизации процессов очистки и разделения зерна на фракции. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: материалы междунар. науч. – техн. конф. Севастополь, 7–11 сентября 2015 г. / Севастопольский государственный университет; науч. ред. В. Я. Копп – Севастополь, СевГУ, 2015. – 132 с. С. 31–32. **5.** Анискин В. И. К созданию перспективного оборудования для производства зерна // Техника в сельском хозяйстве. – 1994. – № 5. – С. 13-15. **6.** Артемьев, В. Г. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – Ульяновск. – 2003. – 320 с. **7.** Сыроватка В. И. Совершенствование технологических процессов производства комбикормов в хозяйствах // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. – №1 (13) – С. 4–12.

КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ОПОРНЫХ ПЛИТ ВАЛКОВОЙ МАШИНЫ

Бахадиров Г. А., Набиев А. М. *(ИМСС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан)*
Тел./Факс: (+998971) 262-71-55; E-mail: instmech@rambler.ru

Abstract: *The paper gives a brief classification of the supporting plates of a roller machine. Various designs of supporting plates of roller machines are considered. The analysis and the conclusion on existing designs of basic plates, and their possible variants are resulted.*
Key words: *classification, supporting plates, roller machine, designs.*

На производстве кож используются валковые машины различной конструкции. Их можно разделить на два типа, отличающихся друг от друга способом подачи обрабатываемого материала в зону обработки по горизонтальной или вертикальной плоскости. В свою очередь, горизонтальные валковые машины, подразделяются на проходные и не проходные.

В отличие от горизонтальных валковых машин, о валковых машинах вертикального типа известно очень мало и они практически не распространены на производстве. В настоящее время, известны только проходные валковые машины вертикального типа.

На валковой машине вертикального типа в процессе отжима мокрый кожевенный полуфабрикат на опорную плиту укладывается вперегиб поперек хребтовой линии и втягивается бесконечными тяговыми цепями между рабочими валами под давлением. Рассмотрим все существующие и возможные варианты конфигураций опорной плиты.

В производстве кож используются многостольные разводные машины, где кожевенный полуфабрикат обрабатывается на столах с упругой покрышкой. Столы перемещаются двойным цепным конвейером относительно рабочих органов машины – ножевых валов и разводных плит с ножами, расположенными в виде клина по ходу движения столов [2]. Столы перемещаются в горизонтальном и вертикальном положении. Недостаток этих столов состоит в том, что полоса материала находящаяся на торце остается частично не обработанной. Недостаток устраняется тем, что покрышки устанавливаются подвижными. После обработки первой парой ножевых валов покрышка смещается относительно стола вместе с лежащим на нем материалом, так что необработанная полоса перемещается на боковую сторону стола и обрабатывается второй парой ножевых валов. Недостатки таких столов также выявляются в потере рабочего времени и излишней затрате ручного труда обслуживающего персонала.

На немецкой машине фирмы «MOENUS TURNER» для разводки и отжима кож используются одна или несколько жестких металлических опорных плит с гладкими поверхностями для захвата обрабатываемых кож от устройства ввода машины и перемещения их зоны обработки [3]. Опорные плиты имеют закругленный нос и прямоугольный хвост. Недостатком используемых опорных плит является повышенная металлоемкость, что приводит к преждевременному растяжению цепей и выходу из строя других деталей.

Опорная плита плоская с заостренной формой носовой части имеет малый угол закругления, а хвост прямоугольный [4]. В процессе отжима, под давлением рабочих валов на мокром кожевенном полуфабрикате образуется полоса по всей длине торца в виде вмятины, что приводит к ухудшению качества технологического процесса. Вследствие неправильно подобранной геометрической формы торца опорной плиты на перегибе с внутренней стороны кожевенного полуфабриката остается необратимый след, что является нежелательным.

На французской валковой машине для тяжки кож [5] применяются плиты с закругленными концами. Плита снабжена по бокам звездочкой и на рабочей поверхности покрыта бесконечной лентой, которая несет кожу, а звездочки связаны с приводными средствами, чтобы повернуть бесконечную ленту на уровне вертикального участка машины с помощью звездочек, зубчатых реек, цепным приводом. Недостатком примененных плит является сложность конструкции и повышенная металлоемкость.

Опорная плита плоская с округленными концами применяется в линии для транспортирования и механической обработки штучных кожевенных полуфабрикатов и отличается более равномерным отжимом жидкости по всем топографическим участкам из мокрых кожевенных полуфабрикатов [6].

Опорные плиты могут иметь концы закругленной и острой формы.

Опорная плита составная [7]. Опорная плита состоит из двух идентичных половинок, которые между собой связаны посередине шарнирно и имеют возможность раздвигаться друг от друга. Под давлением рабочих валов две половинки раздвигаются и растягивают мокрый кожевенный полуфабрикат, обеспечивая дополнительный отжим в зоне перегиба. Единственным недостатком данной геометрической формы опорной плиты является сложность в изготовлении.

Опорная плита упругая. Опорная плита изготовлена полностью из упругого элемента, например резины. Для изготовления опорной плиты предварительно подбираются тип, марка, жесткость, и прочность резины. При использовании упругой опорной плиты уменьшаются шум и удары при захвате опорной плиты валковой парой, повышается долговечность деталей и исполнительных механизмов.

Опорная плита перфорированная имеет закругленные концы. По всей своей ширине опорная плита содержит внутренние сквозные полости. Полости находятся под определенным углом и направлены от середины к бокам. От внешних рабочих поверхностей к каждой полости проходят отверстия, и они тоже могут быть наклонными по отношению к внутренним полостям или под прямым углом. Удаляемая жидкость через отверстия сливается в наклонные полости, откуда стекает по бокам опорной плиты.

Опорная плита пористая выполняется из пористого металлокерамического материала и имеет внутренние полости для слива отжимаемой жидкости, а размеры пор в плите выполняются с уменьшенными диаметрами пор от её внешней поверхности к стенкам внутренних полостей выполненных по высоте опорной плиты. Скапливаемая из пор жидкость сливается в полости и под действием силы тяжести стекает из нижних отверстий на последующий, ещё не обработанный кожевенный полуфабрикат, завешанный на опорную плиту, что не удовлетворяет технологические требования процесса отжима [8] .

Опорная плита со скользящей поверхностью, покрытая беспрерывной фетровой лентой. Опорная плита служит для качественного отжима кожевенного полуфабриката. Следует отметить, что полоса кожевенного полуфабриката находящейся на торце опорной плиты частично не обрабатывается. Для устранения этого недостатка начальное положение фетровой ленты легко смещается относительно опорной плиты вместе с лежащим на ней кожевенным полуфабрикатом с помощью крючков закрепленных по торцам фетровой ленты.

Опорная плита с переменной высотой (телескопического типа) имеет возможность изменения высоты и предназначается для обработки кожевенного полуфабриката КРС (крупного рогатого скота) и МРС (мелкого рогатого скота). Опорная плита состоит из двух отдельных половинок носовой и конечной частей, которые при необходимости изменяют начальную высоту исходя от параметров обрабатываемого материала.

При необходимости опорная плита может быть изготовлена гибкой, например, она может состоять из нескольких валиков, оси которых закреплены к осям тяговых цепей, при этом каждый валик имеет возможность вращения вокруг своей собственной оси. В результате применения данной конструкции опорная плита может совершать движение по траектории тяговых цепей. Гибкая опорная плита с кожевенным полуфабрикатом обрабатывается дополнительным рабочим валом повторно. Недостатком является сложность конструкции, а также неравномерный и неполный контакт кожевенного полуфабриката с рабочими валами в процессе обработки.

Опорная плита обрезиненная отличается высокой износостойкостью и гидрофобностью. Прочность, жесткость и тип резины подбирается со справочников и покрывается на опорную плиту способом вулканизации. Также, данная опорная плита имеет высокую способность гашения ударных явлений, что в итоге повышает долговечность деталей и исполнительных механизмов и эффективность процесса отжима кожевенных полуфабрикатов.

Штанга, покрытая влагоотводящим войлочным сукном. Штанга имеет плоскую форму и слегка закругленную носовую часть. На штангу вперегиб покрывается влагоотводящее войлочное сукно, а затем обе половины сукна прошиваются друг к другу. Данная конфигурация проста в исполнении и не имеет излишней массы и способствует экономии материальные и сырьевые ресурсы. Штанга, покрытая войлочным сукном, минимизирует усилие прижима рабочих валов и силу тяги бесконечных цепей, что служит к увеличению долговечности исполнительных механизмов валковой машины.

Для минимизации толщины опорных плит предлагается влаготводящее сукно с жестким закругленным наконечником. Оно также имеет преимущества. Следует отметить, что под жестким наконечником влагоотводящее сукно может закрепляться одинарным или двойным слоем.

Опорная плита облегченная. Пустотелая опорная плита имеет внутреннее усиление в виде фермы для обеспечения жесткости конструкции. Данная конструкция опорной плиты выполняется для облегчения ее массы. Таким образом, значительно сокращается расход материальных ресурсов.

Опорная плита волнообразная с горизонтальными волнами предназначается для увеличения полезной площади обрабатываемого мокрого кожевенного полуфабриката, за счет волнообразной конфигурации. Но, для обоснования работоспособности данной опорной плиты требуются дополнительные экспериментальные исследования [9] .

Опорная плита овальной формы. Опорная плита имеет малые радиусы закругления обоих концов. За счет этого можно достичь более высокой способности к плавному захвату и выходу из зоны отжима. Недостатком является, то, что конечности кожевенного полуфабриката свисают и образуют складки на конце опорной плиты.

Опорная плита с обтеканием каплевидной формы имеет преимущество с точки зрения более эффективного и качественного отжима жидкости. Удаляемая жидкость легко стекает с рабочих поверхностей опорной плиты благодаря геометрической форме.

Ромбовидная опорная плита с закругленными концами. Данная конструкция опорной плиты используется для обработки кожевенного полуфабриката между двух пар отжимных валов установленных симметрично друг над другом. Расстояние между нижней и верхней парами отжимных валов устанавливается с учетом высоты опорной плиты. Необходимо расположить пары отжимных валов так, чтобы, при установившемся режиме за счет наклонной рабочей поверхности от середины к хвосту отталкивающие силы от нижних отжимных валов должны способствовать плавному захвату опорной плиты верхней парой отжимных валов. Опорная плита ромбовидной

формы в сочетании с двумя парами отжимных валов служит для минимизации возможных ударных явлений, что способствует плавному захвату и выходу ее из зоны обработки.

Опорная плита с заостренными концами способствует плавному захвату мокрого кожевенного полуфабриката рабочими валами и выходу между ними. Следует отметить, что усилие прижима приобретает максимальное значение в боковых частях опорной плиты, чем при захвате и выходе из зоны обработки, что приводит к неравномерному отжиму жидкости по топографическим участкам обработанного кожевенного полуфабриката.

Съемная опорная плита. Ось сплошная опорной плиты может быть выполнена съемной в виде штанги. На цепях параллельно установлены крючки, на которые садятся выходные концы оси опорной плиты. Ось установлена в опорной плите с жесткой посадкой. Данное исполнение крепления оси опорной плиты способствует значительному облегчению загрузки кожевенного полуфабриката на опорную плиту и съему соответственно.

Результаты экспериментальных исследований и их анализ показывают, что для обеспечения плавного захвата опорной плиты валковой парой, сокращения материалоемкости опорных плит, уменьшения усилий рабочих валов и облегчения условий труда обслуживающего персонала, необходимо минимизировать толщину и массу опорной плиты, с учетом обеспечения наименьшего радиуса округления носовой части и хвоста.

Список литературы: **1.** Бахадиров Г. А., Набиев А. М., Таран Т. Е., Сайдахметова Н. Б. Моделирование втягивания и захвата кожевенного полуфабриката валковой парой по вертикальной плоскости в перегиб на опорной плите. Наука и образование: Материалы XI Международной научной конференции (28-29 марта 2012 г.): / Беловский институт (филиал) государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет». – Белово: ООО «Канцлер», 2012. – 288 с., С. 221–225. **2.** Бурмистров А. Г. Машины и аппараты производства кожи и меха – М.: КолосС, 2006. – 384 с.: ил. **3.** Maschine aur Ausrecken und Entwassen von Leder und ahnlichen Flachmaterialien sowie verfahren zu deren Betrieb Dortewitz Rainer, Maschinen fabrik Moenus – Turner. GmbH. Заявка 3422723. ФРГ. Заявл. 19.06.84 № 34227237. Опубл. 19.12.85. МКИ С14 В 1/34. **4.** А.с. 1485652 (СССР) Устройство для разводки и отжима кожполуфабриката. Аманов Т.Ю., Пан Б.С., Цой Г.Н., Бахадиров Г.А. 1989 г. **5.** Machine perfectionnee pour le delainage des peaux**.** DEMANDE DE CERTIFICAT D'ADDITION № 76 18746. Etablissements BERNAT-SAULIERE S.A. France**,** 1978. **6.** Патент на полезную модель РУз, № FAP 00686. Линия для транспортирования и механической обработки плоского материала. Бахадиров Г. А., Аманов Т. Ю., Набиев А. М., Абдукаримов А., Хусанов К. Б., Эргашев И. О. 2011 г. **7.** А.с. 1769536 (СССР). Устройство для разводки и отжима кожполуфабриката. Аманов Т. Ю., Бахадиров Г. А., Цой Г. Н., Абдукаримов А. 1992 г. **8.** Патент на полезную модель РУз, № FAP 00997. Устройство для отжима влаги из мокрой кожи. Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности РУз №3 (167). Ташкент, С. 51. Аманов Т. Ю., Шералиев Ш. Э., Бахадиров Г. А., Абдукаримов А., Цой Г. Н., Набиев А. М., Эргашев И. О., Игамбердиев Б. С., Примов Б. Х. 2015 г. **9.** Патент на полезную модель РУз, FAP № 00912. Устройство для отжима влаги из мокрой кожи. Аманов Т. Ю., Бахадиров Г. А., Абдукаримов А., Ибрагимов Р. И., Цой Г. Н., Набиев А. М., Хуррамов Ш. Р., Хусанов К., Эргашев И. О. 2014 г.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОГРАММ В ОДНОРОДНЫХ СЕТЕВЫХ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Болотский В. Н., Ильина А. А., Борзов Д. Б. *(ЮЗГУ, г. Курск, Курская область, Россия)*
Тел.:+7(4712) 51-50-23, +7(4712) 51-50-24; Факс:+7(4712) 50-48-00;
Email: swsu.ee@gmail.com

Abstract: *The object of the study is wireless homogeneous networks. The subject of the study is modern dynamic scheduling algorithms. The aim of this work is to develop an algorithm for dynamic scheduling of task allocation in homogeneous multiprocessor network systems.*
Keywords: *scheduling, dynamic systems, scheduling algorithm, dynamic system, homogeneous network, task allocation, multiprocessing.*

В настоящее время в связи со стремительным развитием информационных систем многопроцессорная техника находит всё большее применение. Если раньше она использовалась только в научной сфере, где требуются мощные вычислительные ресурсы, то сейчас её используют и в экономике, и в бизнесе, и во многих других сферах. Поэтому возрастает необходимость в создании многопроцессорной вычислительной системы, которая смогла бы обеспечивать параллельную обработку транзакций, управление базами данных, обслуживание телекоммуникаций. Он для организации подобной системы обычный сервер с любой известной стандартной архитектурой не подойдёт. При подготовке многопроцессорной системы к параллельной обработке важным является планирование размещения программ по группе обрабатывающих процессоров.

Ранее разработанные алгоритмы применимы для статических локальных сетей, основой которых являются провода. В данный момент проводные сети отходят на второй план и заменяются более перспективными – беспроводными. Они решают многие проблемы проводных сетей, такие как привязка к месту и сложность прокладки сети. Но при их использовании нужно учитывать размещение процессоров в пространстве и то, как они перемещаются.

Таким образом, есть задача учесть особенности беспроводных локальных сетей для их использования в качестве многопроцессорных вычислительных систем.

Ключевой особенностью беспроводной локальной сети с множеством процессоров является мобильность узлов, которые могут:

1. Перемещаться в пределах сети, участвуя в вычислениях;
2. Перемещаться относительно сети, подключаясь к ней и выходить из зоны её действия.

Ранее разработанный алгоритм [1] распределяет связанные задачи как можно ближе друг к другу по матрице обрабатывающих процессоров. При этом, перемещение узлов в пределах сети вызывает:

1. Отторжение отдельных связанных задач из групп связанных задач в частности (см. рисунок 1);
2. Перемешивание задач в целом (комплекс из отторжений п.1).

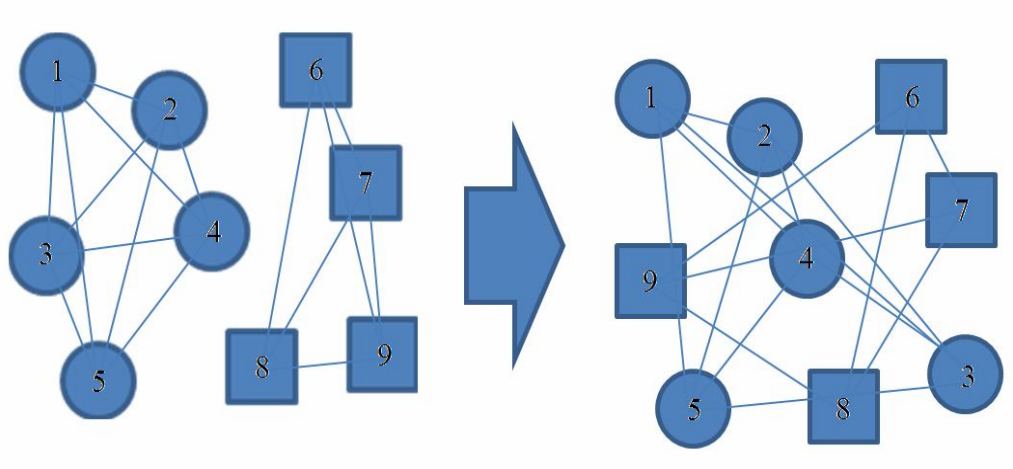


Рис. 1. Отторжение отдельных связанных задач из групп задач.

На рисунке 1 видно, как узел 3 переместился на место узла 9, а узел 9, на место узла 3.

При отторжении узлов значительно увеличиваются длины физических связей между устройствами, так затрудняется информационный обмен в пределах групп связанных задач.

Кроме того, при многократных перемещениях, происходит общее перемешивание узлов между собой. В итоге узлы, обрабатывающие разные группы задач могут мешать друг другу, перекрывая радиоканалы беспроводного обмена [2, 3].

Перемещение узлов относительно сети влечёт:

1. Подключение к сети новых узлов, которые ещё не участвуют в обработке;
2. Отключение от сети старых узлов, выполняющих вычисление.

Подключение к сети нового узла означает увеличение общей вычислительной мощности сети, но, т.к. узел не выполняет обработку, возможность использовать вычислительный ресурс упущена (см. рисунок 2).

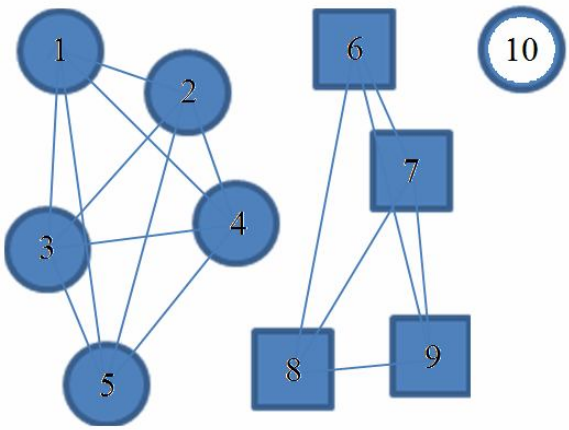


Рис. 2. Подключение к сети узла.

Отключение от сети узла, выполняющего обработку (см. рисунок 3), означает то, что он какое-то время сможет работать локально, и вероятно, выполнит своё задание без обмена информацией с другими узлами. Но по выполнению задания он не сможет отправить результат в сеть, так как отключен от неё.

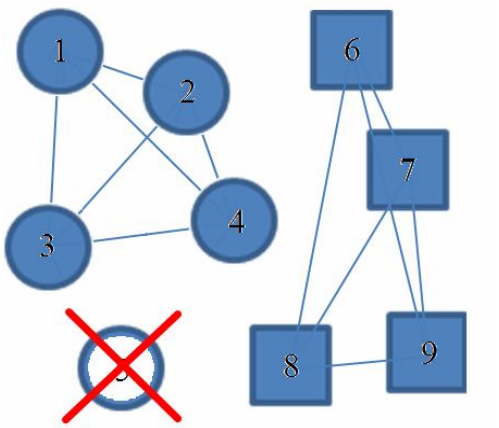


Рис. 3. Отключение от сети узла.

Для того чтобы уменьшить влияние перемещения узлов в пределах сети и относительно сети следует переразмещать задачи по группе процессоров во время выполнения параллельной обработки (см. рисунок 4).

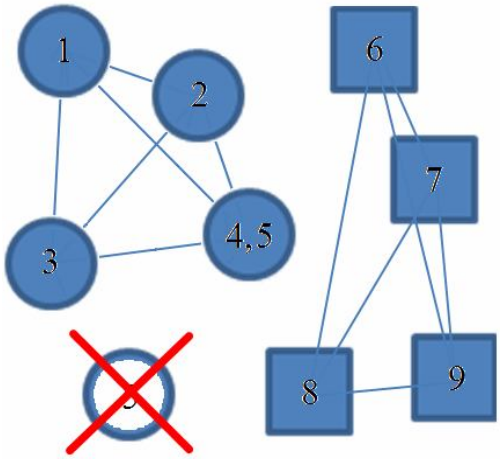


Рис. 4. Обработка отключения от сети узла

Так, при появлении в сети нового узла, переразмещение задач распределит нагрузку и на незанятый процессор. После перераспределения задач, он будет участвовать в параллельной обработке (см. рисунок 5).

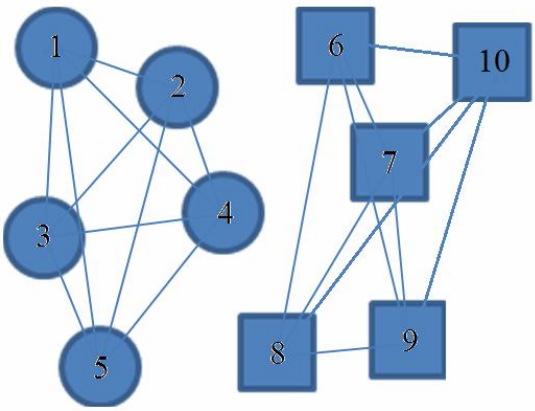


Рис. 5. Обработка подключения к сети узла

Кроме этого переразмещение позволит продолжить выполнение задачи, если узел отключился от сети. Ту задачу, которую выполнял отключившийся узел, будет выполнять заново, или, по возможности, продолжит, другой процессор.

При перемещении узлов в сети переразмещение будет сокращать длины физических связей между узлами, и уменьшать перекрывание каналов информационным обменом между группами разных смежных задач, как это показано на рисунке 6.

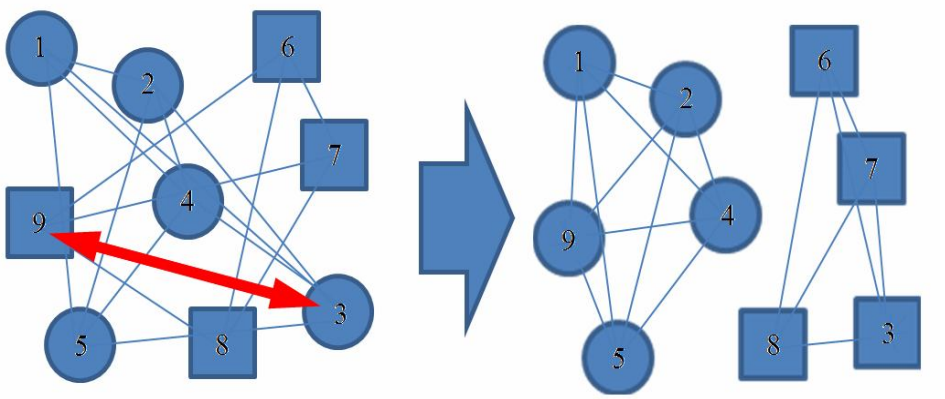


Рис. 6. Восстановление отторжений в сети.

Перемещение узлов внутри сети будет происходить часто, так как устройства мобильны. Но, если устройства, являющиеся узлами сети, переносятся людьми, значит, они не будут перемещаться с высокой скоростью.

Поэтому процедуру переразмещения по факту отторжения задач от групп задач придётся вызывать не часто, в зависимости от мобильности, а в некоторых сетях по таймеру.

Переразмещение стоит проводить каждый раз по факту подключения/отключения узла относительно сети. И, в зависимости от нагрузки на сеть, и в зависимости от её динамики, по таймеру.

В заключении хотелось бы отметить, что использование рассмотренного способа учёта особенностей беспроводных локальных сетей, заключающегося в переразмещении задач, позволит минимизировать влияние задач друг на друга.

Кроме этого будут учтены вновь поступившие в сеть узлы и узлы, отключившиеся от сети. Ко всему прочему, если устройства будут переноситься людьми, пауз в параллельной обработке будет немного, так как процедура переразмещения будет вызываться нечасто.

Список литературы: 1. Аль-Мараят Бакер Ибрахим. Акселератор планирования размещения задач в кластерных вычислительных системах высокой готовности. [Текст]: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Курск, 2008г. – 148 с. **2.** Сергей Пахомов. Анатомия беспроводных сетей//КомпьютерПресс. 2002.№7. С.167-17. **3.** Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 [Текст]: Пер с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 304с. : ил. – Парал. Тит. Англ.

РАЗРАБОТКА СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ТОЧЕНИЯ НЕРЖАВЕЮЩИХ СПЛАВОВ

Болотских С. В., Ковеленов Н. Ю., Глумин М. Ю., Михайлов С. В.

(*ООО «Вириал», КГУ, г. Санкт-Петербург, г. Кострома, Россия)*
E-mail: info@virial.ru

Abstract: *New designs of Replaceable polyhedral plates for turning stainless alloys have been developed and manufactured. The advantages of new plates and prospects for wide application in mecanical engeneering factories are shown*
Keywords: *cutting of stainless alloys, designing tools, breaking chips, turning plates of complex profile.*

Главными проблемами, с которыми приходится сталкиваться при проектировании режущих пластин для обработки нержавеющих сталей гр. М, являются формирование трудноуправляемой сливной стружки, высокие силы и температура резания, большая зависимость работоспособности инструмента от скорости резания; повышенное влияние геометрии инструмента на параметры качества поверхностного слоя, в том числе на глубину наклепанного слоя и остаточные напряжения [1]. При обработке таких материалов наблюдается повышенный износ задней поверхности пластины, интенсивное лункообразование на передней поверхности, выкрашивание нерабочих кромок сходящей с резца стружкой, возникновение проточин на главной режущей кромке (рис.1).

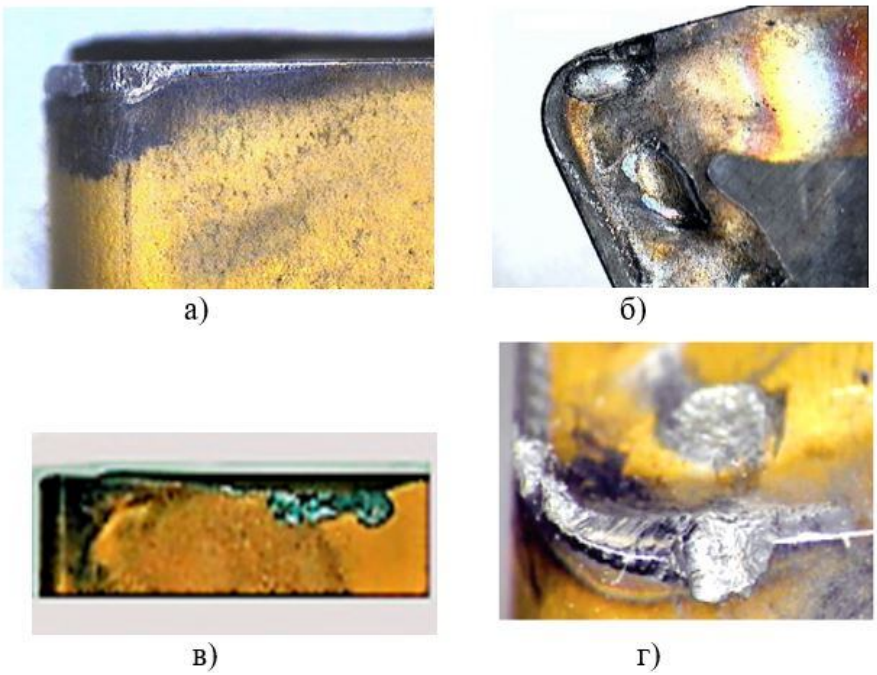


Рис. 1. Характерные виды износа твердосплавных пластин при обработке нержавеющих и жаропрочных сплавов: а) износ по задней поверхности, б) лунка на передней поверхности, в) выкрашивание нерабочей кромки, г) проточины на главной режущей кромке

Указанные факторы вызывают необходимость применения инструментов, изготовленных из твердых сплавов, обладающих более высокой теплостойкостью, хорошей сопротивляемостью абразивному и адгезионному износу, стабильностью режущих

свойств. Повышенные требования предъявляются и к геометрии инструмента, оказывающей существенное влияние на механику резания и его выходные характеристики. Анализ известных конструкций СМП и разработка новых пластин показывает, что уменьшение силы стружкообразования и более благоприятного распределения контактных давлений на лезвии инструмента успешно решается путем создания положительных углов схода стружки с укороченной передней поверхности режущей пластины. Наибольший эффект получается в результате совмещения укороченной передней поверхности с оптимально расположенным стружкозавивающим уступом. В этом случае повышается стабильность стружкообразования и виброустойчивость процесса резания.. Увеличение передних углов на укороченном участке контакта со стружкой благоприятно сказывается на качестве поверхностного слоя деталей, вызывая уменьшение глубины наклепа и остаточных напряжений в нем. Ограничительным фактором является прочность режущей пластины.

Неравномерный износ режущей пластины во многом связан с неравномерной температурой в зоне резания. В результате отсутствия стока теплоты в заготовку и близости расположения источника нагрева на передней поверхности, наблюдается всплеск температуры на границах активного участка режущей кромки. В этих же местах концентрируется и максимальный износ задних поверхностей пластины. С целью выравнивания износа вдоль режущей кромки необходимо перераспределить тепловые потоки и обеспечить снижение температуры на граничных участках контакта инструмента с заготовкой. Расчеты показывают, что перераспределение тепловых потоков вдоль кромки становится возможным за счет изменения угла заострения β режущего клина на различных участках путем подбора переднего угла γ и формы стружкозавивающей поверхности.

При управлении завиванием и дроблением стружки необходимо увязать требования получения удобной для транспортировки и переработки компактной формы стружки с обеспечением благоприятных условий резания с минимальными энергетическими затратами. К числу наиболее значимых геометрических параметров инструмента относятся форма и расположение стружкозавивающих элементов относительно режущей кромки инструмента, передний угол и градиент его изменения вдоль режущей кромки инструмента, угол наклона главной режущей кромки, главный угол в плане и радиус при вершине инструмента. Влияние каждого из этих факторов на траекторию движения стружки осуществляется через изменение направления схода стружки и интенсивности завивания в трех взаимно перпендикулярных плоскостях.

На основе управления пространственным завиванием стружки удается решить проблему выкрашивания нерабочих кромок режущей пластины. Для уменьшения вероятности контакта сходящей с резца стружки с кромками пластины необходимо отклонить ось витка стружки относительно плоскости резания. С этой целью создаются переменные условия схода стружки с резца, вызывающие ее вращение в плоскости поперечного сечения. Помимо улучшения условий взаимодействия стружки с естественными препятствиями дополнительный поворот поперечного сечения стружки приводит к повышению жесткости и эффективности дробления стружки.

Изложенные принципы проектирования были использованы при разработке новых пластин для получистового точения нержавеющих сплавов. В результате проектирования и анализа различных вариантов конструкций предложена новая геометрия СМП с расположенными вдоль режущих кромок стружкозавивающими поверхностями переменного профиля (рис. 2).

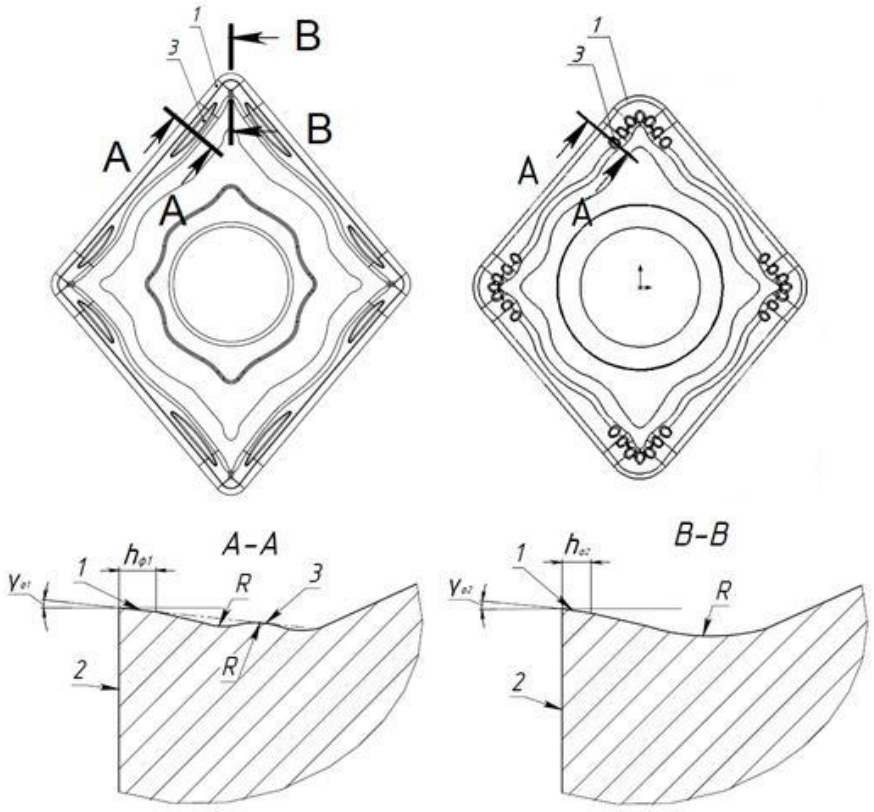


Рис.2. Геометрии передних поверхностей новых СМП: 1 – укороченная передняя поверхность, 2 – задняя поверхность, 3 – стружкозавивающая поверхность, $h_ф$ – ширина фаски, $\gamma_ф$ – передний угол фаски

Специфической особенностью пластин является сложнопрофильная передняя поверхность с изменяющимися вдоль режущих кромок геометрическими параметрами, интенсифицирующими пространственное завивание стружки в трех координатах. В углублении передней поверхности пластины расположены выступающие элементы, отстоящие от кромки на расстоянии 2…3-х длин контакта стружки с передней поверхностью. Высота элементов не превышает уровня плоскости фасок, примыкающих к режущим кромкам пластины. Конструкция позволяет снизить трение стружки с резцом и уменьшить тем самым тепловыделение в зоне резания. Уменьшается деформация сопротивления стружки и, следовательно, вибрации инструмента. Важным преимуществом конструкции является расширение диапазона стружкодробления.

Технология изготовления данных пластин разработана и реализована на инструментальном заводе ООО «Вириал» г. Санкт-Петербург. К настоящему времени отлажено производство пластин SNMG 120408, CNMG 120408 из новых сплавов VHS1012, VHS1113. Результаты испытаний показывают, что работоспособность пластин сопоставима с зарубежными аналогами. Разработанные пластины могут быть рекомендованы к широкому применению взамен дорогостоящего импортного инструмента.

Список литературы: 1. Михайлов С. В. Проектирование и производство сложнопрофильных токарных пластин для обработки жаропрочных сплавов /С. В. Михайлов, Н. Ю. Ковеленов, А. С. Михайлов, А. Д. Андриянов // Металлообработка, № 6(90), 2015. – С. 2–10.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПАКЕТА ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН СПРИМЕНЕНИЕМЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХТЕХНОЛОГИЙ

Бородавко В. И., Грецкий Н. Л., Пынькин А. М., Хейфец М. Л.
(ГНПО «Центр» НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)
Тел./Факс: +375 (017) 284 07 75; E-mail: mlk-z@mail.ru

Аннотация: *В статье рассмотрена технология изготовления пакета лопаток паровых турбин из жаропрочной высоколегированной трудно-свариваемой стали мартенситного класса. Описано преимущество применения электронно-лучевой сварки при производстве пакета лопаток вместо традиционного электродугового способа сварки в защитной среде. Рассмотрена специально спроектированная технологическая оснастка необходимая для автоматизации процесса сварки. Приведены результаты лазерного сканирования геометрии пакета лопаток с помощью координатно-измерительной руки NikonMetrology MCAx40+ с последующим компьютерным анализом полученных результатов в прикладной программе Focus, который показал, что термические деформации лежат в пределах допуска на данной операции и полностью исключают последующую механическую обработку. Применение в технологии изготовления пакета лопаток концентрированных потоков энергии позволяет повысить качество, снизить количество брака и себестоимость изготовления пакета лопаток.*

Ключевые слова: *электронно-лучевая сварка, пакеты лопаток паровых турбин, концентрированные потоки энергии, трудно-свариваемые стали мартенситного класса*

Введение. Паровая турбина – самая значимая и самая дорогая часть ТЭС. Во время работы она подвергается воздействию различных факторов таких как: высокие температуры, коррозия, эрозия, в результате детали паровой турбины испытывают статические, динамические и температурные напряжения [1-3].

Рабочие лопатки являются одними из наиболее ответственных и дорогих элементов турбины и являются наиболее напряженными деталями, определяющими во многих случаях надежность и срок службы всей паровой турбины. Они испытывают напряжения – от растяжения и от изгиба, вызываемых действием центробежных сил, а также сил, возникающих вследствие изменения направления движения газа в межлопаточных каналах. Лопатки испытывают также переменные напряжения от вибрации со знакопеременной амплитудой. Величина этих напряжений может достигать больших значений. Кроме того, лопатки находятся под действием высокой температуры, которая снижает механические свойства материала. От качества материала, выполнения и установки лопаточного аппарата в значительной степени зависит надежность и экономичность эксплуатации турбины. Тяжелые условия работы лопаточного аппарата определяют те высокие требования, которым они должны соответствовать [4-7].

Конструктивное исполнение. Лопатки первой ступени изготавливаются с цельно-фрезерованным профилем за одно целое с участком бандажа и хвостовой части и поступают на сборку в виде пакета из двух лопаток, сваренных между собой по бандажу и хвосту. При наборе лопаток на диск между бандажами каждой пары лопаток выдерживается зазор от 0,3 до 0,8 мм, замыкается каждый ряд лопаток замковыми пакетами (Рис. 1). После набора лопаток на диск производится механическая обработка бандажей и гребешков уплотнений [5-7].

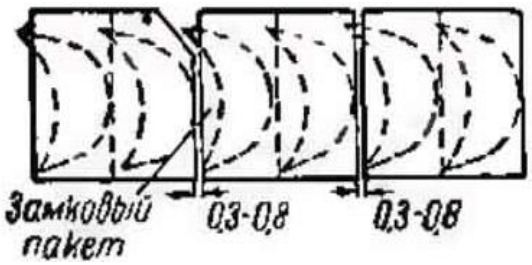


Рис. 1. Вид сверху на бандажи сварных пакетов рабочих лопаток с замковым пакетом

Применяемые материалы. Поскольку лопатки турбин работают в тяжелых условиях высоких температур и нагрузок, их изготавливают из жаропрочных сталей[4].ВГНПО «Центр» НАН Беларуси при изготовлении пакета лопаток использовалась жаропрочная высоколегированная сталь мартенситного класса 15Х11МФ, химический состав приведен в таблице 1. Рекомендуемая температура применения, 580°С.Температура начала интенсивного окалинообразования в воздушной среде, 750°С[8].

Данная сталь относится к трудно-свариваемым сталям при использовании традиционного электродугового способа сварки в защитной среде, поскольку сварка с большой погонной энергией, приводит к перегреву околошовного металла, росту зерна, сегрегациям примесей на границах зерен, способствующих охрупчиванию сварных соединений. Склонность к холодным трещинам и к разупрочнению металла в зоне термического влияния жаропрочных сталей при электродуговом способе сварки обуславливает необходимость предварительного подогрева изделия перед сваркой до 200-300 град.

Таблица 1 – Химический состав применяемой стали[8]

Обозначение	Массовая доля элементов, %								
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Молибден	Ванадий	Железо	Сера	Фосфор
								Не более	
15Х11МФ	0,12-0,19	Не более 0,50	Не более 0,70	10,00-11,50	0,60-0,80	0,25-0,40	Осн.	0,025	0,030

Описание разработанного технологического процесса. Для повышения качества и снижения количества брака вследствие описанных выше трудностей при сварке пакета лопаток паровых турбин специалистами предприятия ГНПО «Центр» НАН Беларуси было принято решение вместо традиционного электродугового способа сварки в защитной среде применить электронно-лучевую сварку (ЭЛС) на специально рассчитанных и экспериментально оптимизированных режимах (Рис. 2).

Высокая концентрация энергии в луче обуславливает высокую скорость сварки и позволяет получать швы не только с минимальной зоной расплавленного металла, но и соединения, в которых металл околошовной зоны не претерпевает значительных изменений вследствие ввода минимального количества теплоты. Малая погонная энергия при ЭЛС способствует снижению зоны термического влияния, исключает недостатки, вызванные изменением физико-механических свойств металла в околошовной зоне.

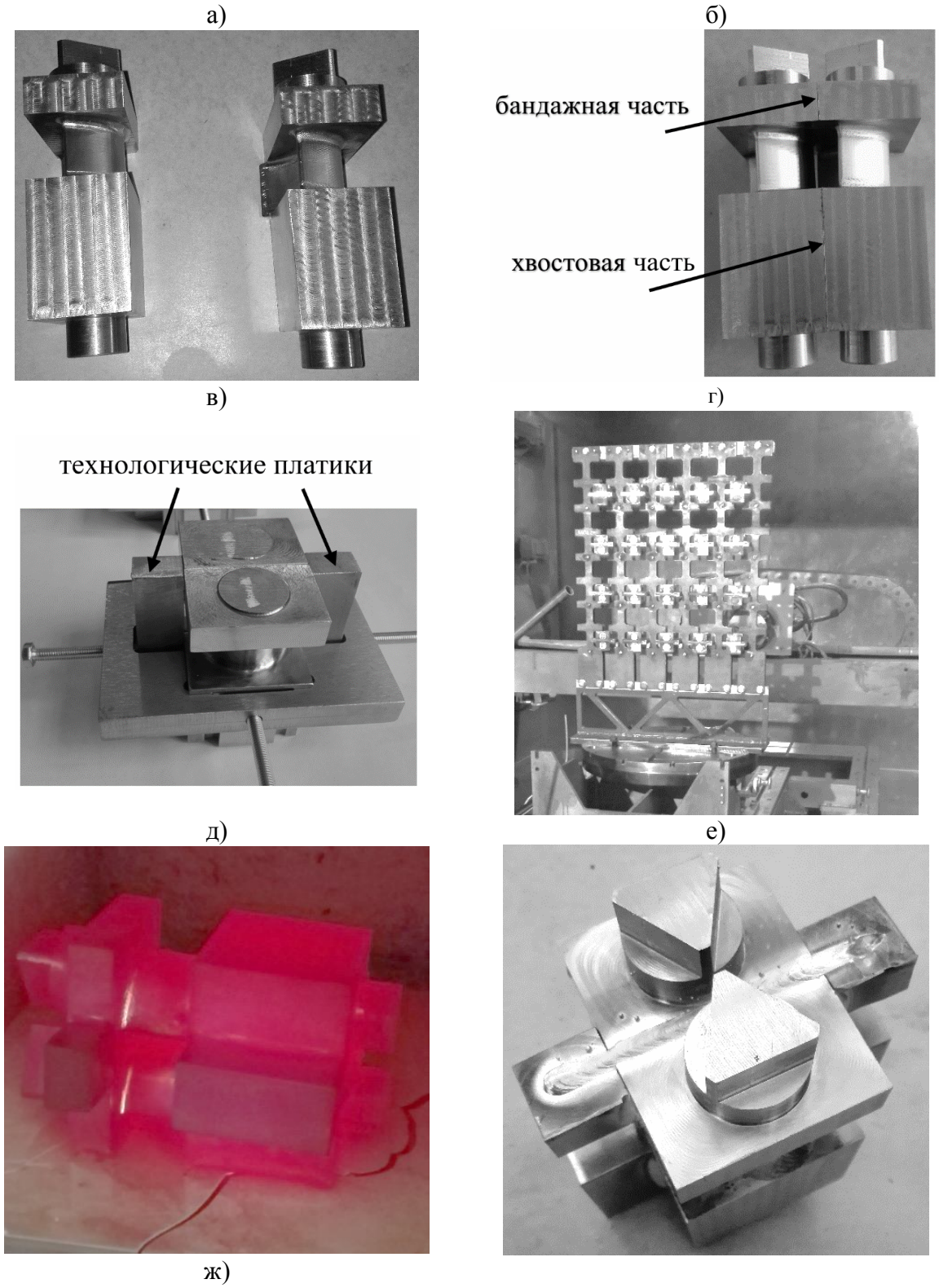


Рис. 2. Процесс и оснащение электронно-лучевой сварки пакета лопаток паровых турбин: а) лопатка; б) пакет лопаток; в) сборка в кассеты пакетов лопаток турбин с технологическими платиками; г) многоместная технологическая оснастка с кассетами в камере; д) термообработка пакета лопаток для снятия внутренних напряжений после сварки

Глубокое проплавление металла при ЭЛС позволяет исключить необходимость выполнения разделки кромок перед сваркой. Кроме того, ввод меньшего количества тепла дает возможность уменьшить деформации изделий по сравнению с дуговыми способами сварки. Высокий вакуум в камере ЭЛС способствует высокой чистоте сварочной ванны и дегазации сварочного шва.

Сборка лопаток (Рис. 2 а) в пакеты производится ЭЛС по стыку участков бандажной и хвостовой частей (Рис. 2 б) на всю глубину без разделки кромок. Для входа и выхода электронного луча предусмотрены технологические платики (Рис. 2 в), которые удаляются при последующей механической обработке. Пакет, состоящий из двух лопаток и технологических платиков, собирается и базируется в кассету (Рис. 2 в), которая устанавливается в многоместной технологической оснастке (Рис. 2 г). Разработанная многоместная технологическая оснастка позволяет автоматизировать процесс ЭЛС и производить до 40 пакетов лапоток за одну установку. Учитывая повышенную склонность к хрупкому разрушению жаропрочных сталей мартенситного класса после сварки, пакеты лопаток после ЭЛС незамедлительно подвергаются термической обработке (отпуску) для снятия внутренних напряжений и формирования требуемых механических свойств (Рис. 2 д) Далее пакет лопаток (Рис. 2 е) поступает на окончательную механическую обработку, где удаляются платики и окончательно формируются посадочные и присоединительные места, выдерживая требуемые размеры и допуски(Рис. 3).

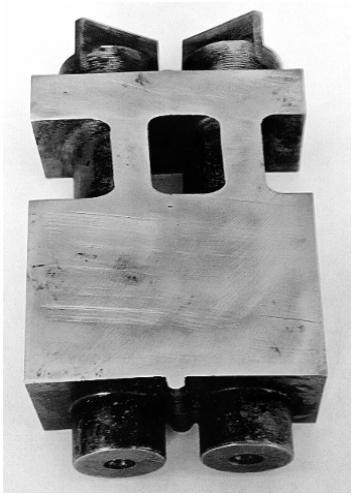


Рисунок 3. Пакет лопаток после сварки и термической обработки; пакет лопаток после механической обработки

Контрольно-диагностические испытания. После ЭЛС и снятия внутренних напряжений выполняли визуальный осмотр лопаток на выявление наличия механических повреждений и нарушения качества поверхности. Далее для диагностики сварного соединения проводили дефектоскопический контроль ультразвуком на наличие пор, неметаллических включений и микро трещин в шве и околошовной зоне, а также изготавливали микрошлифы, подвергали их травлению и исследовали на микроскопе MeijiTechno MT8500c помощью программного пакета SIAMS 800(Рис. 4). При тщательном исследовании описанными способами дефекты сварочного шва не обнаружены.

Дополнительно проводили контрольные измерения геометрии деталей и определяли зоны термической деформации. Измерения до сварки и после производятся путем лазерного сканирования геометрии пакета лопаток с помощью координатно- измерительной руки NikonMetrology MCAx40+ (Рис. 5)с последующим компьютерным анализом полученных результатов в прикладной программе Focus. Числовые значения отклонений определяются в автоматическом режиме и представлены в виде цветовой карты отклонений (Рис. 6).

В бандажном шве пакета лопаток деформация практически отсутствует (максимальное отклонение – 0,09мм).

Максимальная зона термической деформации при ЭЛС выявлена в хвостовом шве в верхней его части и составляет -0,212мм, а в зоне корня шва термическая деформация незначительна (максимальное отклонение -0,096мм).

Термические деформации лежат в пределах допуска на данной операции и полностью исключают последующую механическую обработку.

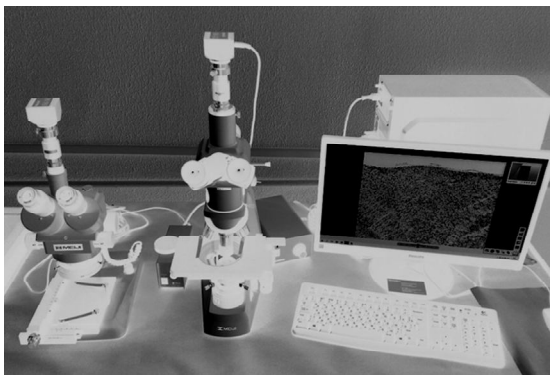


Рис. 4. Микроанализ шлифов сварочного соединения пакета лопаток на микроскопе MeijiTechno MT8500 с помощью программного пакета SIAMS 800

Рис. 5.Лазерного сканирование геометрии пакета лопаток с помощью координатно-измерительной руки NikonMetrology MCAx40+

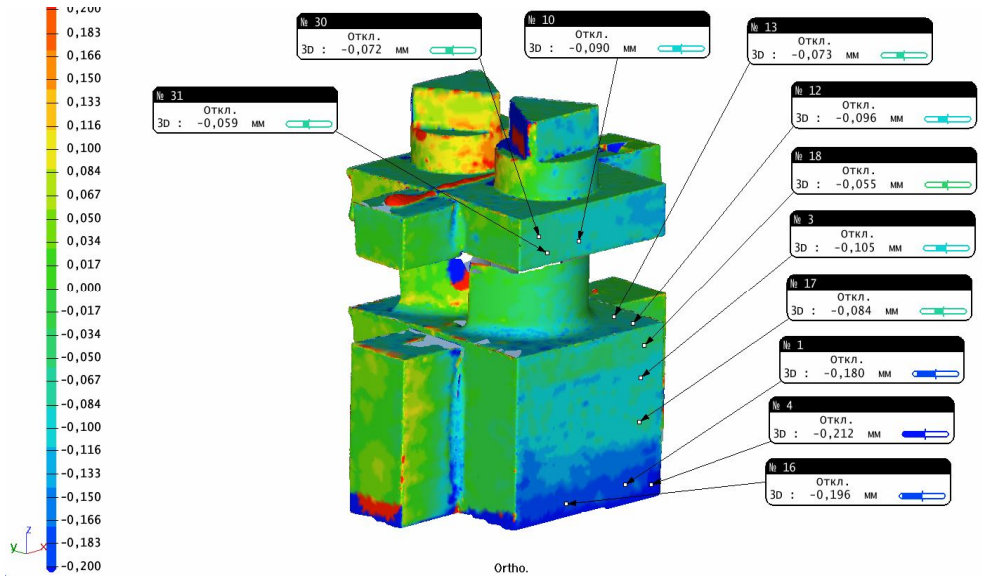


Рис. 6. Цветовая карта измерений зон термической деформации

Вывод. Разработанный технологический процесс и средства оснащения для изготовления пакета лапоток паровых турбин с оптимальными режимами ЭЛС позволили повысить качество сварного шва и снизить себестоимость сборки.

Список литературы: 1. Быстрицкий Г. Ф. Основы энергетики. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 277 с. **2.** Трухний А. Д., Макаров А. А., Клименко В. В. Основы современной энергетики. Часть 1. Современная теплоэнергетика – М.: МЭИ, 2002.– 367 с. **3.** Дейч М. Е. Техническая газодинамика. – М.: Энергия, 1974. – 592 с. **4.** Резников М. И., Липов Ю. М. Паровые котлы тепловых электростанций. – М.: Энергоиздат, 1981. – 240 с. **5.** Костюк А. Г. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний; под ред. А. Г. Костюка. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 556 с. **6.** Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки: учебное пособие для вузов / А. Д. Трухний, Б. В. Ломакин.— М.: Издательский дом МЭИ, 2006.– 40 с. **7.** Энергетические установки электростанций / С. Я. Белинский, Ю. М. Липов. – М.: Энергия, 1974 . – 304 с. **8.** ГОСТ 5632-2014 «Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки».

КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Бохонский А. И., Рыжков А. И. *(СевГУ, г. Севастополь, Россия)*
E-mail:bohon.alex@mail.ru

Abstract: *We compare the results of the synthesis of optimal controls the movement of solids at different optimality criteria. It is shown that in some cases is not excluded a significant energy savings in management compared to traditional search control with the use of known criteria and methods of optimal control theory.*
Keywords: *rigid body, optimal control, acceleration-deceleration of the object.*

В работах [1–6] используются различные критерии оптимальности для синтеза управлений. Критерий с подынтегральной функцией в виде квадрата управления называют мерой количества энергии, затрачиваемой на реализацию управления. Хотя такой функционал непосредственно энергией не является, но позволяет находить точные решения для управлений. В [7–10] отражены альтернативные пути синтеза управлений.

Решение полных обратных задач вариационного исчисления (от функции к уравнению Эйлера и к функционалу-критерию, [7]) привело к появлению класса кососимметричных управлений переносным движением упругих систем. В ряде случаев целенаправленное конструирование движения [10] может снизить энергетические затраты на управления; возникают функционалы-критерии, которые отличаются от обычного применяемых при традиционной постановке задач синтеза.

Здесь нельзя не отметить замечание, приведенное в [1]: «Если же по физическим соображениям убедительно сформулировать критерий оптимальности не удается, то целесообразность постановки оптимальной задачи становится более чем сомнительной». Однако отметим, что часто задаваемые функционалы лишь приближенно отражают смысл оптимального решения, но позволяют получить приемлемое аналитическое решение.

Цель исследований – сравнительный анализ результатов поиска оптимальных управлений движением объектов.

Действие наилучшим образом при выборе движения с характерными свойствами (среди возможных) способствует, в ряде случаев, получению такого управления, которое оптимально в смысле существования экстремума не только реверсионно восстановленного функционала – критерия, но известных энергетических критериев.
Рассматривается объект – тело массой $m = 1$ кг. Необходимо за время T переместить его в конечное состояние покоя; ищется такое ускорение $U_e(t)$ – управление, которое обеспечивает достижение цели движения. Сопротивление движению не учитывается, т.е. используется уравнение движения

$$\frac{d^2 S_e}{dt^2} = U_e,$$

где $S_e(t)$ – перемещение объекта. Исследования иллюстрируются на примерах.

Пример 1. При движении из состояния покоя перемещение описано полиномом

$$S_e(t) = \sum_{i=2}^{5} C_i t^i, \qquad (1)$$

где C_i – коэффициенты; скорость – $V_e(t)=\frac{dS_e(t)}{dt}$, ускорение – $U_e(t)=\frac{dV_e(t)}{dt}$.

Приняты краевые условия, отражающие цель движения:

$$S_e(0)-0,\quad V_e(0)=0,\quad S_e(T)-L=0,\quad V_e(T)-0, \tag{2}$$

где T – время движения.

В прошлом в [11] осуществлялась попытка синтезирования управлений движением объекта с участием нетрадиционных критериев $J_e=U_eV_e$ и $\int_0^T U_eV_e dt$. При этом при решении задач вариационным методом возникали аналитические трудности.

Методология поиска путей достижения поставленной цели движения не исключает блужданий при выборе предпочтительных вариантов и, быть может, обоснования в конечно счете идеи метода. Если руководствоваться догадками в рамках реальных ограничений и не использовать заранее заданных критериев качества, то возможно реверсионное появление нового оригинального критерия после достижения поставленной цели. дальше в качестве критерия оптимальности в порядке эксперимента принята также мгновенная мощность управления

$$J_e=U_eV_e. \tag{3}$$

Из необходимых условий экстремума функции (3)

$$\frac{dJ_e}{da_4}=0\quad,\ \frac{dJ_e}{da_5}=0 \tag{4}$$

с учетом системы (2) получены значения коэффициентов, которые при данной постановке задачи являются функциями времени:

$$a2:=\frac{30\,t^2\,L}{T^2\left(3\,T^2-10\,T\,t+10\,t^2\right)}\ ;\qquad a3:=-\frac{20\,L\,t\,(2\,T+t)}{T^3\left(3\,T^2-10\,T\,t+10\,t^2\right)}\ ;$$

$$a4:=\frac{15\,(T+2\,t)\,L}{T^3\left(3\,T^2-10\,T\,t+10\,t^2\right)}\ ;\qquad a5:=-\frac{12\,L}{T^3\left(3\,T^2-10\,T\,t+10\,t^2\right)}.$$

Как известно, например из [1], в случае критерия

$$J_1=\int_0^T U1^2 dt$$

перемещение, скорость и ускорение объекта принимают вид:

$$S1:=\frac{L\,t^2\,(3\,T-2\,t)}{T^3};\quad V1:=\frac{6\,L\,t\,(T-t)}{T^3};\quad U1:=\frac{6\,L\,(T-2\,t)}{T^3}. \tag{5}$$

Графики перемещений, скоростей и ускорений для примеров с критериями J_e и J_1 совмещены и изображены на рис. 1; они построены при L=1м и T =1с.

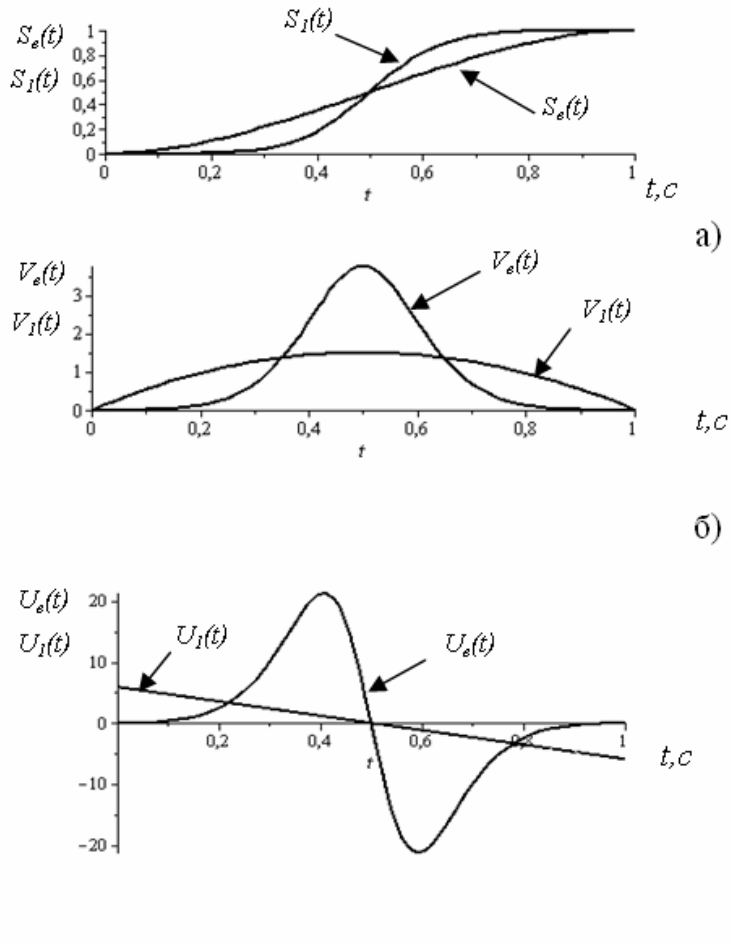


Рис.1. Графики движения объекта в случае критериев $J = U_e \cdot V_e$ и $J_1 = \int_0^T U_1^2 dt$:

а) перемещения; б) скорости; в) ускорения

Хотя качественно характер движения согласно критерию J близок к движению с критерием J_1, но по энергетическим показателям применение этого управления не целесообразно, и в этом смысле задача с таким критерием не корректна.

Представляет практический интерес критерий $J_e = \int_0^T V_e^{\,2} dt,$ который является принципом действия (в форме Лагранжа). В этом случае коэффициенты полинома (1) с учетом условий (4) не зависят от времени и равны:

$$a2 := \frac{15}{2}\,\frac{L}{T^2}; \quad a3 := -\frac{20\,L}{T^3}; \quad a4 := \frac{45}{2}\,\frac{L}{T^4}; \quad a5 := -\frac{9\,L}{T^5}.$$

Для перемещения, скорости и ускорения справедливы зависимости, которые изображены на рисунке 2 в виде графиков:

*Se= (1/2)*L*t^2*(15*T^3-40*t*T^2+45*t^2*T-18*t^3)/T^5;*
*Ve = 15*L*t*(-t+T)*(3*t^2-3*T*t+T^2)/T^5;*
*Ue= 15*L*(-2*t+T)*(6*t^2-6*T*t+T^2)/T^5.*

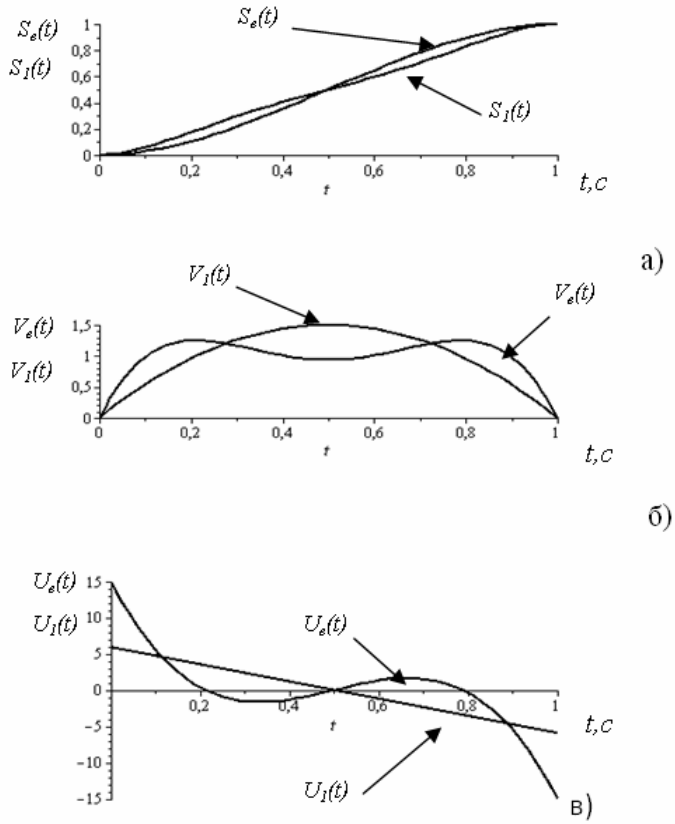


Рис. 2. Графики движения объекта в случае критериев $J_e = \int_0^{T/2} V_e^2 dt$, $J_1 = \int_0^{T/2} V_1^2 dt$:

а) перемещения; б) скорости; в) ускорения.

Для данного примера энергетические показатели:

– энергия $A_1 = \int_0^{T/2} U_e V_e dt = 0{,}4393;$ $A_2 = \int_0^{T/2} U_1 V_1 dt = 1{,}125;$

– норма мощности $A_3 = \int_0^{T/2} U_e^{\,2} dt = 11{,}7857;$ $A_4 = \int_0^{T/2} U_1^{\,2} dt = 6;$

– действие $A_{\sim 5} = \int_0^{T/2} V_e^{\,2} dt = 0{,}5357;$ $A_{\sim 5} = \int_0^{T/2} V_1^{\,2} dt = 0{,}6.$

Таким образом, по энергетическим затратам на управление в случае критерия $\int_0^{T/2} V_e^{\,2} dt$ возможна некоторая экономия энергии. И в этом смысле нельзя не отметить, что известный критерий нормы мощности не вполне физически корректен, хотя он и дает простое аналитическое решение.

Если, как и ранее, принять для перемещения полином, то с учетом прежних краевых условий и критерия оптимальности $\int_0^{T/2} \left(U_e V_e\right)^2 dt$ при $\frac{dJ}{d\,a_2} = 0$ из полученной таким образом системы линейных уравнений найдены константы:

$$a2 := \frac{2.8256\ L}{T^2}; \quad a3 := -\frac{1.7384\ L}{T^3}; \quad a5 := -\frac{0.0871\ L}{T^5};$$

Перемещение, скорость и ускорение принимают вид:

*Se= 0.8e-3*L*t^2*(3532.*T^3-2173.*t*T^2-109.*t^3)/T^5;*
*Ve = 0.8e-3*L*t*(7064.*T^3-6519.*t*T^2-545.*t^3)/T^5;*
Ue=(0.0016 L (3532. T^3-6519. t T^2-1090. t^3))/(T^5).

В этом случае поведение объекта по своему характеру и по значениям обобщенных характеристик практически не отличается от решения с критерием в виде нормы мощности.

Для *упругой системы* с конечным числом степеней свободы при ее движении из состояния покоя $(q_j(T) = 0, \ \frac{dq}{dt_j}(T) = 0, \ j=1,\ldots n)$ наименьшее возможное время находится из моментных соотношений (системы трансцендентных уравнений):

$$q_j(T) = 0, \ \frac{dq}{dt_j}(T) = 0, \ j=1,\ldots n.$$

Множество общих корней системы зависит от принимаемых законов оптимального переносного движения. Обычно при решении таких задач не учитываются высшие формы колебаний, и время движения находится из моментных соотношений по первой форме

$$(q\ (T) = 0, \ \frac{dq}{dt}(T) = 0).$$

Достижение переносного и относительного покоя упругой системы обеспечивает ее абсолютный покой в конечном состоянии, что было подтверждено экспериментально. Если движение осуществляется не из состояния относительного покоя упругой системы, то применимо комбинированное управление[7-11].

Выводы. На простых примерах показаны особенности конструирования оптимальных управлений перемещением объектов, которые отличаются либо близки к управлению, полученному вариационным методом. Установлено, что в задачах типа “разгон-торможение “ при известном времени для достижения состояния покоя объекта (после перемещения на заданное расстояние) не исключается конструирование такого управления (ускорения в переносном движении), которое приводит к некоторому снижению энергетических затрат для достижения поставленной цели движения.

Рассмотренные решения привели к выявлению широкого класса кососимметричных оптимальных управлений быстрым перемещением упругих систем с достижением абсолютного покоя в конечном состоянии.

Список литературы: 1. Теория автоматического управления. В 2-х ч. Ч. II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления/ под ред. А. А. Воронова. – М.: Высш. шк., 1977. – 288с. **2.** Крутько П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: линейные модели/ П. Д. Крутько. – М.: Наука, 1987. – 304с. **3.** Крутько П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: нелинейные модели/ П. Д. Крутько. – М.: Наука, 1988. – 326 с. **4.** Солодовников В. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования: учеб. пособие для вузов/ В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1985. – 536с. **5.** Мойсеев Н. Н. Элементы теории оптимальных систем. Изд-во "Наука", М., 1975. – 528 с. **6.** Дорф Г. Современные системы управления/ Р. Дорф, Р. Бимоп. Пер. с англ. Б. И. Крылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с. **7.** Бохонский А. И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения/ А. И. Бохонский, Н. И. Варминская, М. И. Мозолевский. – Севастополь: СевНТУ, 2007. – 296 с. **8.** Бохонский А. И. Вариационное и реверсионное исчисление в механике. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 212 с. **9.** Бохонский А. И. Актуальные задачи вариационного исчисления. Монография. Palmarium Academic Publishing. 2013. – 77 с. **10.** Бохонский А. И. Реверсионный принцип оптимальности. Монография. М. Вузовский учебник. Инфра – М., 2016 – 174 с. **11.** Бохонский А. И. Новые задачи оптимального управления в механике. Научные труды факультета естественных наук. Вып. 1. Севастопольский приборостроительный институт. Севастополь, 1993.– С. 42.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОСТРАНСТВЕННОМ СТАНОЧНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ

Витренко В. А, Ефимов А. В., Кузнецова М. Н. *(ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР)*
Тел./Факс: + 38 (0642) 341826; *E-mail:vitrenko.vl@gmail.com*

Abstract: *Creation of new instrument for cutting cylindrical teeth of gear wheels due to development of principally new scheme of its shape formation using commercial teeth working equipment has been investigated.*
Keywords: *gear wheel, hyperbola cutter, specific points, tooth surface, work-piece, contact.*

Стремление к завоеванию мировых рынков производства продукции требует от инженеров, ученых, производственников разработки новейших технологий, а также принципиально новых конструкций высокопроизводительных инструментов. Методы формообразования различных инструментальных поверхностей являются наиболее трудоемкими технологическими процессами изготовления деталей, так как требуют высокоразвитых инструментальных технологий и производств. Особая сложность наблюдается при изготовлении различного зубообрабатывающего инструмента. Для повышения производительности нарезания зубьев цилиндрических зубчатых колес, технологи и инструментальщики конструируют разнообразный многозаходный зубообрабатывающий инструмент.

К сожалению, до сегодняшнего времени, многозаходный зубообрабатывающий инструмент не нашел широкого внедрения в промышленности. На первой стадии изготовления такого инструмента технологи и инструментальщики пытались получить многозаходный инструмент при помощи метода копирования. Для изготовления такого инструмента конструировались сложнейшие приспособления, которые в свою очередь усложняли, и без того, громоздкую и сложную конструкцию зубообрабатывающего станка. В этом случае профиль витка между зубьями получается постоянным во всех сечениях инструмента. Такое положение привело к тому, что искомый инструмент получался не работоспособным.

На второй стадии конструирования и изготовления многозаходного зубообрабатывающего инструмента, конструкторы и технологи пытались получить высокопроизводительный инструмент сборной конструкции. Для этого проектировались технологические корпуса, при помощи которых изготавливались зубья для сборного инструмента. Затем эти зубья затачивались, затыловались и собирались в корпусах сборного инструмента. Естественно точность такого инструмента не высока, а кроме того она резко снижалась с увеличением количества заходов инструмента. Кроме того этот инструмент получали в плоском станочном зацеплении, а работает он в пространственном станочном зацеплении.

На третьей стадии конструирования и изготовления многозаходного инструмента его получали в пространственном станочном зацеплении, как огибающую обрабатываемого цилиндрического зубчатого колеса. При таком изготовлении гиперболоидного инструмента он может иметь различную геометрическую форму в зависимости от геометрии и кинематики его изготовления. В промышленности такой инструмент получают на скрещивающихся осях. Если получать многозаходный инструмент при помощи метода радиального врезания, то получается инструмент на теле квази однополостного гиперболоида. Если формообразующему инструменту кроме врезания дать подачу вдоль своей оси, то получится инструмент на теле вида однополостной гиперболоид. Эти инструменты могут применяться для нарезания зубчатых колес, геометрические параметры которых полностью совпадают с геометрическими параметрами инструмента, при помощи которого формообразовали эти гиперболоидные многозаходные зуборезные инструменты. Для получения многозаходного гиперболоидного зубообрабатывающего инструмента, необходимо получать такой инструмент на однополостном гиперболоиде. Для этого

формообразующие движения при изготовлении многозаходного инструмента должны быть направлены вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперболоида. Такой инструмент можно изготовить на серийных зубофрезерных станках оснащенных протяжным суппортом. В этом случае станок должен пройти довольно сложную настройку.

В настоящее время, практически все металлорежущие станки оснащены числовым программным управлением. Следовательно, практически любой инструмент может совершать сложнейшее движение. В этом случае режущая кромка с точечным касанием профилей может совершать сложные движения, описывая ту же траекторию, которую может описать режущая кромка с линейным характером касания. Учитывая это положение можно отойти от традиционных зубофрезерных станков и изготовить зубчатое изделие на многокоординатных вертикально и горизонтально фрезерных станках. Для изготовления гиперболоидного многозаходного инструмента достаточно трех координатного станка. Наиболее оптимальным для такого изготовления является трех координатный вертикально фрезерный станок с ЧПУ. Основная особенность настройки такого станка заключается в том, что концевая фреза описывает свое результирующее движение вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперболоида. В этом случае пальцевая фреза в своем относительном движении описывает профиль зуборезной рейки. Кроме того, при помощи делительной головки, нарезаемой заготовке придают согласованное движение относительно инструмента при помощи которого формируется профиль зуба.

Для получения основной инструментальной поверхности, на первой стадии ее проектирования, необходимо найти ее в аналитическом виде. Для этого зная уравнение поверхности нарезаемого зубчатого колеса с учетом относительных движений, найдем уравнение искомого гиперболоидного инструмента.

Для нахождения поверхности зуба гиперболоидного многозаходного инструмента необходимо записать уравнение непрерывности станочного касания концевой фрезы с изготавливаемым гиперболоидом. Это уравнение имеет вид:

$$\vec{N} \cdot \vec{V}^{(12)} = 0 \qquad (1)$$

где: $\vec{V}^{(12)}$ – относительная скорость скольжения контактирующих зубьев;

$\vec{N}$ – нормаль к поверхности зубьев взаимоогибаемых поверхностей.

Если уравнение (1) не будет выполняться, то возможны два варианта зацепления инструмента и заготовки обусловленных внедрением контактирующих зубьев или отходом одного зуба от другого.

Семейство поверхностей, описывающих искомый гиперболоидный инструмент, представляет собой двухпараметрическое семейство огибающих обрабатываемой цилиндрической зубчатой поверхности.

В данном исследовании относительную скорость скольжения можно записать как частные производные $\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \varphi_1}$ и $\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \varphi_2}$ к поверхности зуба, а нормаль к контактирующим поверхностям будет иметь вид:

$$\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \kappa} \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} = \vec{N} \quad . \qquad (2)$$

Таким образом, скалярное произведение векторов в равенстве (1) примет следующий вид:

$$\left(\frac{\partial\vec{r_1}}{\partial\kappa}\times\frac{\partial\vec{r_1}}{\partial\psi}\right)\frac{\partial\vec{r_1}}{\partial\varphi_1}=0\quad . \tag{3}$$

Для определения нормали в точке контакта зубьев при их нарезании поверхность обрабатываемого зуба условно поделим на множество взаимно перпендикулярных прямых, касательные к которым записаны в следующем виде: $\frac{\partial\vec{r_1}}{\partial\kappa}$ и $\frac{\partial\vec{r_1}}{\partial\psi}$.

Вектор нормали к взаимоогибаемым поверхностям будет перпендикулярным плоскости проходящей через эти два вектора $\frac{\partial\vec{r_1}}{\partial\kappa}$ и $\frac{\partial\vec{r}_1}{\partial\psi}$.

Вектор нормали в проекциях на оси декартовых координат имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
N_x &= \begin{vmatrix} \frac{\partial y_1}{\partial\kappa} & \frac{\partial y_1}{\partial\psi} \\ \frac{\partial z_1}{\partial\kappa} & \frac{\partial z_1}{\partial\psi} \end{vmatrix} = \frac{\partial y_1}{\partial\kappa}\cdot\frac{\partial z_1}{\partial\psi}-\frac{\partial z_1}{\partial\kappa}\cdot\frac{\partial y_1}{\partial\psi};\\
N_y &= \begin{vmatrix} \frac{\partial z_1}{\partial\kappa} & \frac{\partial z_1}{\partial\psi} \\ \frac{\partial x_1}{\partial\kappa} & \frac{\partial x_1}{\partial\psi} \end{vmatrix} = \frac{\partial z_1}{\partial\kappa}\cdot\frac{\partial x_1}{\partial\psi}-\frac{\partial x_1}{\partial\kappa}\cdot\frac{\partial z_1}{\partial\psi};\\
N_z &= \begin{vmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial\kappa} & \frac{\partial x_1}{\partial\psi} \\ \frac{\partial y_1}{\partial\kappa} & \frac{\partial y_1}{\partial\psi} \end{vmatrix} = \frac{\partial x_1}{\partial\kappa}\cdot\frac{\partial y_1}{\partial\psi}-\frac{\partial y_1}{\partial\kappa}\cdot\frac{\partial x_1}{\partial\psi}.
\end{aligned} \tag{4}$$

В этих выражениях примем следующие обозначения: $\frac{\partial x_1}{\partial\kappa}=x_1'$; $\frac{\partial y_1}{\partial\kappa}=y_1'$; $\frac{\partial z_1}{\partial\kappa}=0$; $\frac{\partial x_1}{\partial\psi}=0$; $\frac{\partial y_1}{\partial\psi}=0$; $\frac{\partial z_1}{\partial\psi}=1$, которые представляют собой частные производные по криволинейным координатам κ и ψ, расположенным вдоль зуба и по его образующей.

С учетом последних обозначений, нормаль к обрабатываемой поверхности имеет следующий вид в координатной форме:

$$\vec{N}=\{y_1';-x_1';0\}\ ; \tag{5}$$

или:

$$\vec{N}=y_1'\vec{i}-x_1'\vec{J}=\begin{vmatrix} y_1' \\ -x_1' \\ 0 \end{vmatrix}\quad . \tag{6}$$

Найдем относительную скорость скольжения, входящую в выражение (1).

Рассмотрим зацепление концевой фрезы с нарезаемым гиперболоидным зубчатым колесом как зацепление воображаемой зуборезной рейки (зубчатого колеса бесконечно большого диаметра), которую в своем относительном движении описывает эта фреза.

Окружная скорость произвольно выбранной точки нарезаемого зуба равна произведению угловой скорости вращения обрабатываемого зубчатого колеса на расстояние этой точки относительно оси вращения:

$$\vec{V}_1 = \vec{\omega_1} \times \vec{r}_1 \quad . \tag{7}$$

Скорость сопряженной точки на гиперболоидном инструменте находится аналогичным образом. Для этого вектор угловой скорости вращения инструмента приведем к точке 0_1, заменив его вектором $\vec{\omega}_1^{(12)}$ и вектором моментом:

$$m_1\left(\vec{\omega_2}\right) = \vec{r_2} \times \vec{\omega_2} \quad . \tag{8}$$

Здесь: $\vec{r_2}$ – радиус вектор, проведенный из точки приведения 0_1 к произвольно выбранной точке, расположенной на линии действия вектора $\vec{\omega_2}$. В качестве такой точки выбрана точка 0_2.

Скорость произвольной точки на зубе гиперболоидной инструментальной поверхности запишем в следующем виде:

$$\vec{V_2} = \vec{\omega}_1^{(2)} \times \vec{r} + m_1\left(\vec{\omega_2}\right) = \vec{\omega}_1^{(2)} \times \vec{r} + A \times \vec{\omega}_1^{(2)} \quad . \tag{9}$$

Точка контакта на гиперболоидном инструменте движется таким образом, что вектор ее скорости $\vec{V_2}$, представляет собой геометрическую сумму двух скоростей, от ее вращательного и поступательного движений. Вращательное движение вокруг оси $o_1 z_1$ с угловой скоростью $\vec{\omega}^{(2)}$ и поступательное движение со скоростью, определяемой вектором моментом $m_1\left(\vec{\omega_2}\right)$.

Относительная скорость скольжения точки, расположенной на обрабатываем изделии, относительно точки контакта, расположенной на гиперболоидном инструменте, находится по следующей зависимости:

$$\vec{V}^{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 = \left(\vec{\omega}_1^{(1)} - \vec{\omega}_1^{(2)}\right) \times \vec{r}_1 - m_1\left(\vec{\omega_2}\right) = \vec{\omega}^{(12)} \times \vec{r}_1 - \vec{A} \times \vec{\omega}_1^{(2)} \quad . \tag{10}$$

Относительное движение обрабатываемого цилиндрического зубчатого колеса относительно гиперболоидного инструмента определяется при помощи вектора $\vec{\omega}^{(12)} = \vec{\omega}_1^{(1)} - \vec{\omega}_1^{(2)}$, который проходит через точку приведения 0_1, и при помощи вектора-момента $m_1\left(\vec{\omega_2}\right)$. В выражении (10) приняты следующие обозначения:

$$\vec{\omega}_1^{(1)} = \omega_1 \vec{k}\,; \quad \vec{\omega}_1^{(2)} = \omega_2 \sin\gamma\, \vec{j} + \omega_2 \cos\gamma \vec{k}\,; \; \vec{\omega}_1^{(12)} = -\omega_2 \sin\gamma\, \vec{j} + \left(\omega_1 - \omega_2 \cos\gamma\right)\vec{k}\,;$$
$$\vec{A} = -\vec{A}i\,,$$

где: $\vec{i},\vec{j},\vec{k}$ – единичные орты координатных осей. С целью упрощения приведенных выражений примем величину угловой скорости обрабатываемого зубчатого колеса $\omega_1 = 1$ рад/с., тогда угловая скорость гиперболоидного инструмента определится по следующей зависимости: $\omega_2 = \omega_1 \cdot u_{21}$.

С учетом принятых обозначений, найдем проекции относительной скорости скольжения на декартовы оси координат:

$$\begin{aligned} V_x^{(12)} &= -y_1(1-u_{21}\cos\gamma) - z_1 u_{21}\sin\gamma\cos\varphi_1 - Au_{21}\cos\gamma\sin\varphi_1 \ ; \\ V_y^{(12)} &= (x_1 - r)(1-u_{21}\cos\gamma) + z_1 u_{21}\sin\gamma\sin\varphi_1 - Au_{21}\cos\gamma\cos\varphi_1 ; \\ V_z^{(12)} &= -u_{21}\sin\gamma\left[(x_1 - r)\cos\varphi_1 - y_1\sin\varphi_1 + A\right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Относительная скорость скольжения принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} V_{12} = \{ & y_1(u_{21}\cos\gamma - 1) - z_1 u_{21}\sin\gamma\cos\varphi_1 - Au_{21}\cos\gamma\sin\varphi_1(x_1 - r_1)\times \\ & \times(1-u_{21}\cos\gamma) + z_1 u_{21}\sin\gamma\sin\varphi_1 - Au_{21}\cos\gamma\cos\varphi_1 \times \\ & \times u_{21}\sin\gamma\left[(x_1 - r_1)\cos\varphi_1 - y_1\sin\varphi_1 + A\right]\} \end{aligned} \quad (12)$$

Для нахождения уравнения непрерывности станочного зацепления нарезаемого зубчатого колеса и гиперболоидного инструмента подставим выражения нормали и относительной скорости в выражение (1), получим:

$$\begin{aligned} & f_1(k;\varphi_1;\psi) = (u_{21}\cos\gamma - 1)\left[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)\right] - \\ & - z_1 u_{21}\sin\gamma\left(y_1'\cos\varphi_1 + x_1'\sin\varphi_1\right) - Au_{21}\cos\gamma\left(y_1'\sin\varphi_1 - x_1'\cos\varphi_1\right) = 0 \end{aligned} . \quad (13)$$

При соблюдении перечисленных выше условий соблюдается непрерывность зацепления инструмента с нарезаемой заготовкой. Согласно описанному методу была получена гиперболоидная многозаходная зубчатая фреза.

Разработанная по предложенной схеме формообразования зуборезная фреза использовалась для нарезания цилиндрических зубчатых колес. Нарезка цилиндрического зубчатого колеса велась технологическими методами, известными из технологии обработки зубчатых колес.

Проведенное экспериментальное исследование подтвердило теоретические положения: изготовленный гиперболоидный инструмент может нарезать цилиндрические прямозубые и косозубые зубчатые колеса с различным количеством зубьев; предложенный гиперболоидный инструмент не затылуется.

Список литературы: **1.** Гавриленко В. А. Зубчатые передачи в машиностроении. М.: Машгиз, 1962. – 531 с**.** **2.** Иноземцев Г. Г. Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1984. – 272 с. **3.** Литвин Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений /Ф. Л. Литвин.– М.: Наука, 1968, 584 с. **4.** Родин П. Р. Основы проектирования режущих инструментов / П. Р. Родин. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с. **5**. Сахаров Г. Н., Арбузов О. Б., Боровой Ю. Л., Кисилев А. С. Металлорежущие инструменты. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с. **6.** Цвис Ю. В. Профилирование режущего обкатного инструмента / Ю. В. Цвис – М.: Машгиз, 1961. – 155 с.

ОЦЕНКА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ВНУТРЕННЕЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В ПРОЦЕССЕ ГАЗОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Волков И. В., Солодовник М. Д., Кузнецова М. Н.
(ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР)
Тел./Факс: + 38 (0642) 341826; E-mail: tm.univer@yandex.ru

Abstract: *One of the possible mathematical models for solving the problem of impact of workpieces (details) on the inner surface of the actuator is a closed cylindrical shell filled with parts and abrasive material with a vortex chamber built into it through which a swirling gas-air flow is impulsively supplied. Further, during the bubbling processing of parts with a gas-abrasive compound, as a result of the impact of the latter, the internal surface of the device wears out in an elastically plastic mode, the mechanism of which is presented in the article.*

Keywords: *actuator, impact, elastic-plastic deformation, mathematical model, analysis of refined solutions, the intensity of damage to membranes, quantification of wear.*

В работе [1] предложено новое устройство для предварительной зачистки заготовок из различных материалов и очистки готовых изделий внутри оболочковой конструкции управляемыми вихревыми потоками газоаброзивной среды. Очевидно, что в процессе очистки внутренняя часть рабочей камеры и всей оболочки подвергается силовым воздействиям, включая ударные, в основном, со стороны обрабатываемых деталей, мелкодисперсных абразивных включений в объеме газа и импульсивной его подачей вовнутрь оболочки. Разумеется, также, что продолжительные циклические соударения деталей влекут за собой появление сначала локальных вмятин и, как следствие, микронаклепов, трещин и разупрочнение внутренней поверхности оболочки и в итоге постепенное снижение ее несущей способности.

Для определения аналитической зависимости между ударным воздействием $F(t)$ детали с оболочкой и локальной деформацией $y(t)$ последней воспользуемся аналогичным подходом в работе [2], где рассмотрена задача об ударе тела о горизонтальную поверхность и обосновывается, что точный аналитический метод реализации нелинейного интегрального уравнения:

$$\int_0^t G(t-\tau)F(\tau)d\tau + y\left[F(\mathrm{t})\right] = V_y t \qquad (1)$$

Невозможен из-за появляющихся пластических расслоений внутренней поверхности и неоднозначности в зависимости между силой контактного соударения F и деформацией $y(t)$. Более того численная реализация затруднена в связи с естественными скачками (особенностями) самой силы несоответствующей монотонности деформации. Поэтому, в настоящей статье предложен обозримый аналитический подход к решению задачи с минимумом упрощений, допустимых в практических инженерных приложениях.

В приведенном ниже уравнении при условии скоротечности процесса учтена геометрия оболочки, кривизна поверхности и ее жесткость:

$$m\ddot{y} + a\dot{y} + by = 0 \qquad (2)$$

где m – масса детали округленной формы и характерного размера r. Граничными условиями для (2) в момент удара и принятой кинематической схеме будут

$$y(0) = 0 \qquad \dot{y}(0) \approx V_y \tag{3}$$

Очевидно, что в уравнении (2) присутствуют скоростные и упругие сопротивления внедряющейся детали в упругий участок внутренней поверхности оболочки, а значение V_y определено в [1] и приблизительно соответствует на рис.1 значению нормальной составляющей к оболочке скорости $= V_{xy}$. Следуя [6] §9 с. 302 можно убедиться, что наибольшее количество деталей ударяющихся по нормали к поверхности приходится на ее среднюю часть.

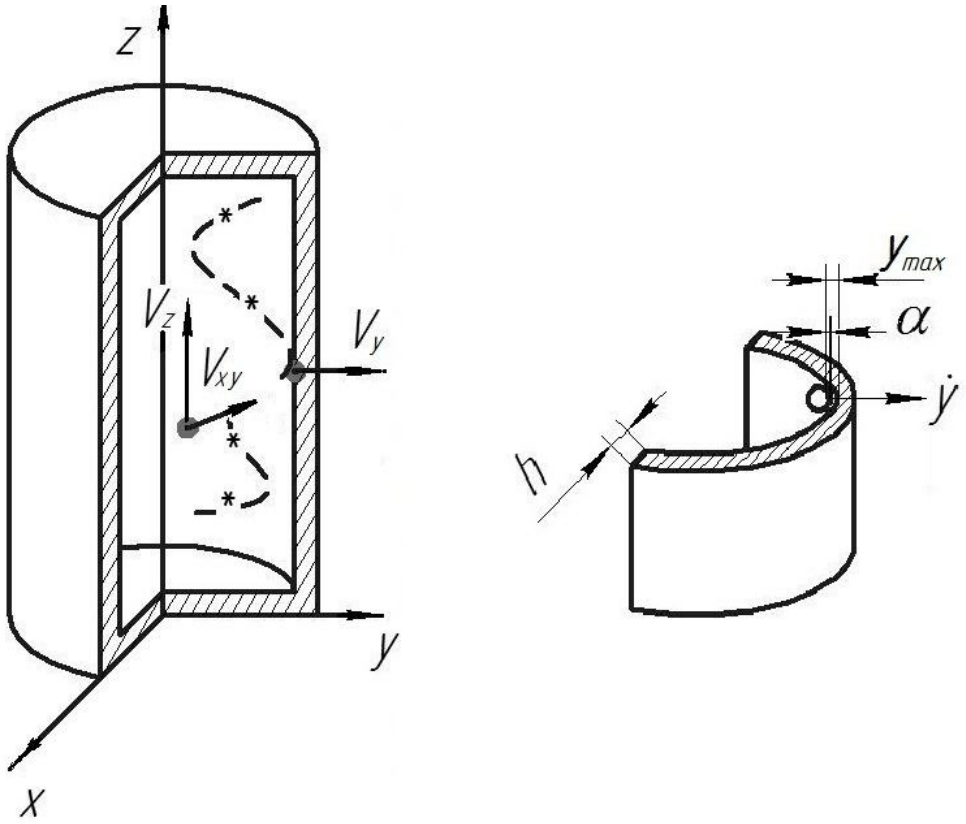


Рис.1. Внутренняя кинематика детали в рабочей камере

Местный отсчет деформации ведется от точки внутренней поверхности оболочки вдоль ее толщины h, а величина $\alpha = y_{упр.}$ соответствует максимальной глубине упругого внедрения детали, что повсеместно принято в теории удара [3].

Уравнение (2), имеет решение при $t \le T$ и соответствует $V_y > 0$, а $y_{\max}(T) = y_{упр.} + y_{пласт}$, а также свидетельствует о завершении одного из очередных циклов ударного нагружения детали о внутреннюю поверхность оболочки и его повтор, но уже в других местах. Как показывают выкладки решение (2) имеет экспоненциальную структуру и имеет вид:

$$y(t) = A(e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}), \tag{4}$$

где $\lambda_{1,2}$ – корни соответствующего характеристического уравнения.

Определив $y_{\max}$ можно вычислить радиус контакта $a < r$ (рис.2)

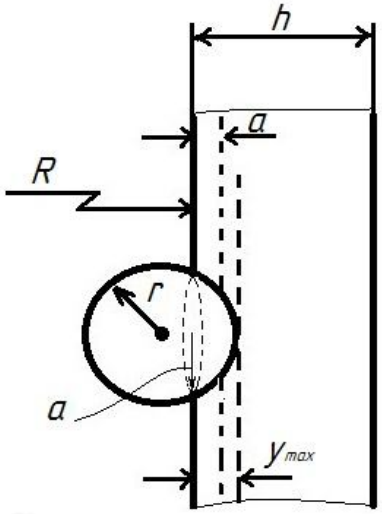


Рис.2. К определению радиуса контакта $a < r$ и его контура

затем по формуле

$$F = \beta k \pi \alpha^2 \tag{5}$$

где $\beta \approx 5{,}5 \div 6{,}1$ в зависимости от поверхностных характеристик детали, k – показатель пластичности, определим силу соударения детали об оболочку. Некоторые входящие в (4) и (5) параметры позаимствованы из работ [2, 3].

Приведем также одну из эмпирических формул о взаимосвязи силы удара F шара (детали) с упругой деформацией α оболочки, предшествующей пластическому его внедрению.

$$F = k\alpha^{3/2} \tag{6}$$

где:
$$k = \frac{2E}{3(1-\mu^2)}\sqrt{\frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}} \tag{7}$$

E – модуль упругости,

μ – коэффициент Пуассона,

$k_1 = \frac{1}{r}$; $k_2 = -\frac{1}{R}$ – кривизны детали и внутренней поверхности оболочки соответственно.

В аналогичных примерах работы [2] подтверждается, что результаты решения с учетом пластичности (5) отличаются от результатов формулы (6) в сторону увеличения в пределах ≈20 % при равных скоростях соударения.

В работе [4] даётся оценка интенсивности изнашивания по величине параметра поврежденности, который обозначается величиной ξ и удовлетворяет уравнению

$$\frac{d\xi}{\mathrm{dt}} f(F, \xi) = 0 \tag{8}$$

При этом в области контакта плотность материала оболочки уменьшается по линейному закону.

$$\rho = \rho_0(1-\xi) \tag{9}$$

что влияет на скорость выноса продуктов изнашивания за пределы области контакта, а численное её значение можно сравнить со скоростью V_z – вертикальной составляющей вихреобразной скорости V [1].

В заключение приведем эмпирическую формулу с.73 [5] для определения интенсивности отделения зачисток от заготовок (деталей) и отслоившихся трибологических элементов внутренней поверхности оболочки, зависящей от скорости абразивного потока V и угла атаки α, сформированного вихревым устройством [1].

$$Q = 2r\left[\frac{5\pi\rho(1-\mu^2)V^2\sin^2\alpha}{4E}\right]^{2/5} \tag{10}$$

В приведенной формуле все параметры кроме μ-коэффициента Пуассона материала оболочки касаются абразивных частиц, показанных на рис.1 звездочками.

Остаётся отразить влияние на повреждаемость исполнительного устройства при подаче в него импульсного циклического давления газовой струи описываемого общеизвестной зависимостью

$$P(t) = P_0 + P\sin\omega t \tag{11}$$

где P_i – технологические режимы давления внутри оболочки. В случае продолжительных циклических воздействий, иногда переходящих в вибрационные, происходит начальная стадия особого механизма появления и распространения трещин в пластических зонах, появившихся под ударными воздействиями со стороны обрабатываемых деталей.

В теории разрушения [5] приводится формула для скорости раскрытия микротрещин в виде

$$\frac{dl}{dn} = f(\sigma, p) \tag{12}$$

где l – длина трещины,

n – число циклов,

p – разрывное усилие,

σ – коэффициент интенсивности напряжений (КИН).

Опуская промежуточные выкладки, соотношение (12) приводится к разрешающему уравнению для определения числа циклов ведущих к разрушению внутренней поверхности оболочки и в последующем исчерпанию её несущей способности.

$$N = \int_0^{\delta_{\max}} \frac{dl}{C[\sigma\cdot\varphi(p)]^m} \tag{13}$$

где C – const,

$\delta_{\max}$ – критическое раскрытие трещины

$$\varphi(p) \approx 1 - \frac{(1+p)}{2}$$

В реальных условиях степень обработки заготовок и изношенности оболочки перепроверяются визуально с помощью соответствующих приборов дефектоскопического контроля после очередной серии (загрузки-выемки) и при переходе на новую серию обработки деталей.

В итоге:

1)Предложена математическая модель механизма повреждаемости внутренней поверхности рабочей камеры (оболочки) под воздействием обрабатываемых деталей, абразивного материала и циклического импульсного давления газа подаваемого в исполнительную камеру.

2)Приведенные в статье аргументы могут быть включены в алгоритм оптимизации аналогичного процесса абразивной обработки деталей [7].

Список литературы: **1.** Солодовник М. Д., Волков И. В., Ясуник С. Н., Кузнецова М. Н. Обоснование нового способа и устройства для обработки деталей в газообразивных потоках. Сборник научных трудов «Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении». Луганск.: ЛНУ им.Даля. 2017. №1. с. 26-33. **2.** Кадомцев И. Г., Ковальчук В. Е., Царюк Л. Б. Теория удара С. П. Тимошенко при пластическом местном смятии. Труды XII Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластин. 12–17 июня 1980 г. Издательство Ереванского университета. с. 191–197. **3.** Ивлеев Д. Д., Непершин Р. М. Внедрение гладкого сферического штампа в жестко-пластическое полупространство. МТТ, 1973, №4 С. 159–166. **4.** Иваночкина Т. А. Оценка интенсивности изнашивания по величине параметра поврежденности. Сборник докладов Международной научной конференции «Механика и трибология транспортных систем» 9–11 ноября 2011 г. Ростов-на-Дону, с. 182–184. **5.** Механика разрушения и прочность материалов. т.4//Под редакцией Панасюка В. В. К.: «Наукова думка» 1990 – 679 с. **6**. Боев Г. П. Теория вероятностей ГИТТЛ. М-Л.: 1950. – 368с. **7.** Тамаркин В. А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами В. А. Тамаркин, А. И. Азацева – Вестник машиностроения, 2002 – №6 – с. 50–54.

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ УКРУПНЕННЫХ ДЕАЭРАТОРОВ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Гиммельберг А. С., Егоров П. В., Чупраков М. В., Эрнандес А. Д., Жукова В. С.
(ОАО «НПО ЦКТИ», г. Санкт-Петербург, Россия)
Тел./Факс:8(812)578-88-00; E-mail: deaerator@ckti.ru

Abstract: *Thermal deaerators are designed to remove corrosive gases (oxygen and free carbon dioxide) from feed water of a steam-generating plants and feed water heating systems and hot water while heating this water, thermal power plants, nuclear power plants and in boiler station of all kinds. Positive results of creation and development of deaerators of elevated pressure with a small-sized deaerating column have allowed to apply new technical solutions in designs of atmospheric pressure deaerators. In a deaerating column the low pressure water distribution device – a hydraulic jet nozzle, and in a deaerator tank – the effective "flooded" bubbling device is used.*
Keywords: *atmospheric pressure deaerator, heat transfer agent, "superheated" water, the bubbling device, JSC «NPO CKTI».*

Термическая деаэрация воды в течение уже многих лет является основным средством борьбы с внутренней коррозией теплосилового оборудования и трубопроводов в энергетике.

Термические деаэраторы предназначены для удаления коррозионно-агрессивных газов (кислорода и свободной углекислоты) из питательной воды парогенераторных установок и подпиточной воды систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, при одновременном нагреве этой воды, на ТЭС, АЭС и в котельных всех видов - в соответствии с требованиями ГОСТ 16860-88 [1].

В ЦКТИ работы по созданию деаэраторов атмосферного давления начались еще в 30-е годы прошлого столетия. На основе накопленного опыта, в 70?80-е годы были разработаны и внедрены в производство на ряде энергомашиностроительных предприятий модернизированные деаэраторы атмосферного давления производительностью от 5 до 300 т/ч [2].

Положительные результаты создания и освоения деаэраторов повышенного давления с малогабаритной деаэрационной колонкой [3] позволили применить в конструкциях деаэраторов атмосферного давления новые технические решения. В первую очередь речь идет об использовании в верхней части деаэрационной колонки

низконапорного водораспределительного устройства – гидравлической струйной форсунки, а в деаэраторном баке – эффективного «затопленного» барботажного устройства. Использование струйной форсунки позволяет создать в колонке дополнительную развитую поверхность контакта водяной и паровой фаз для улучшения тепло- и массообмена и, тем самым, повысить эффективность работы деаэрационной колонки практически без увеличения ее габаритов. Новые технические решения позволяют надежно гарантировать необходимые нагрев и деаэрацию воды в заданных режимах работы деаэратора.

В последние годы в отечественной теплоэнергетике также наметился интерес к деаэраторам атмосферного давления малой (менее 5 т/ч) и, особенно, большой (более 300 т/ч) производительности.

В крупных системах теплоснабжения ТЭЦ и отопительных котельных при приготовлении больших количеств подпиточной воды приходится использовать несколько деаэраторов ДА-300/75 (иногда до шести и даже более), что затруднительно по условиям компоновки, регулирования, схемы трубопроводов и др.

В связи с этим, в середине 90-х годов ОАО «НПО ЦКТИ» была создана конструкция деаэраторов атмосферного давления производительностью 400 и 800 т/ч для крупных систем теплоснабжения [4]. Деаэраторы состоят соответственно из одной или двух укрупненных деаэрационных колонок КДА-400 единичной производительностью 400 т/ч, установленных на баке емкостью 75 или 100 м^3. В устройстве колонок помимо струйных тарелок было применено низконапорное водораспределительное устройство (гидравлическая форсунка), в баке – «затопленное» барботажное устройство. В качестве теплоносителя в деаэраторах используется пар.

Для применения в системе подпитки теплосети Юго-Западной ТЭЦ в г. Санкт-Петербурге потребовалось создание нового укрупненного деаэратора атмосферного давления номинальной производительностью 500 т/ч (рис.1). При этом, с учетом условий работы ТЭЦ, по предложению ОАО «НПО ЦКТИ» было принято решение в качестве греющей среды в деаэраторе использовать не пар, а «перегретую» относительно температуры насыщения при давлении в нем деаэрированную воду с температурой 130?150°С от водогрейных котлов.

Применение в деаэраторе атмосферного давления в качестве теплоносителя вместо пара «перегретой» воды позволяет:

- обеспечить работу деаэратора в условиях отсутствия пара при наличии греющей воды соответствующих параметров;
- исключить потери конденсата греющего пара в схемах теплоснабжения и, тем самым, повысить экономическую эффективность и надежность установки;
- в соответствии с действующими требованиями СанПин обеспечить деаэрацию воды при температуре более 100°С в открытых системах теплоснабжения и горячего водоснабжения.

На основании указанных предложений была разработана принципиальная тепловая схема деаэрационной установки системы подпитки теплосети Юго-Западной ТЭЦ. Схемой предусмотрено применение трех деаэраторов производительностью 500 т/ч новой конструкции.

В основу создания деаэратора были положены следующие технические решения:

- схема деаэрации двухступенчатая: первая ступень – струйно-капельная (в колонке), вторая ступень – барботажная (в баке);
- теплоносителем служит деаэрированная вода, перегретая относительно температуры насыщения при давлении в нем (t = 130?150°С);
- деаэратор состоит из одной укрупненной вертикальной деаэрационной колонки производительностью 500 т/ч, установленной на деаэраторном баке вместимостью около 100 м^3;
- в конструкции деаэрационной колонки используются низконапорное водораспределительное устройство (гидравлическая форсунка) и струйные тарелки; гидравлическое сопротивление форсунки не должно превышать 0,15 МПа;
- в водяном объеме деаэраторного бака предусматривается “затопленное” барботажное устройство;
- конструкция деаэратора должна обеспечивать заданные гидравлические и тепловые нагрузки, возможность осмотра, очистки и ремонта внутренних устройств.

В 2009–2010 гг. деаэратор новой конструкции ДА-500/100 был изготовлен и смонтирован на Юго-Западной ТЭЦ в г. Санкт-Петербурге при строительстве первой очереди. Он был включен в эксплуатацию в I квартале 2011 г. в схеме приготовления подпиточной воды системы теплоснабжения ТЭЦ. При вводе второй очереди предусмотрена установка еще двух таких деаэраторов.

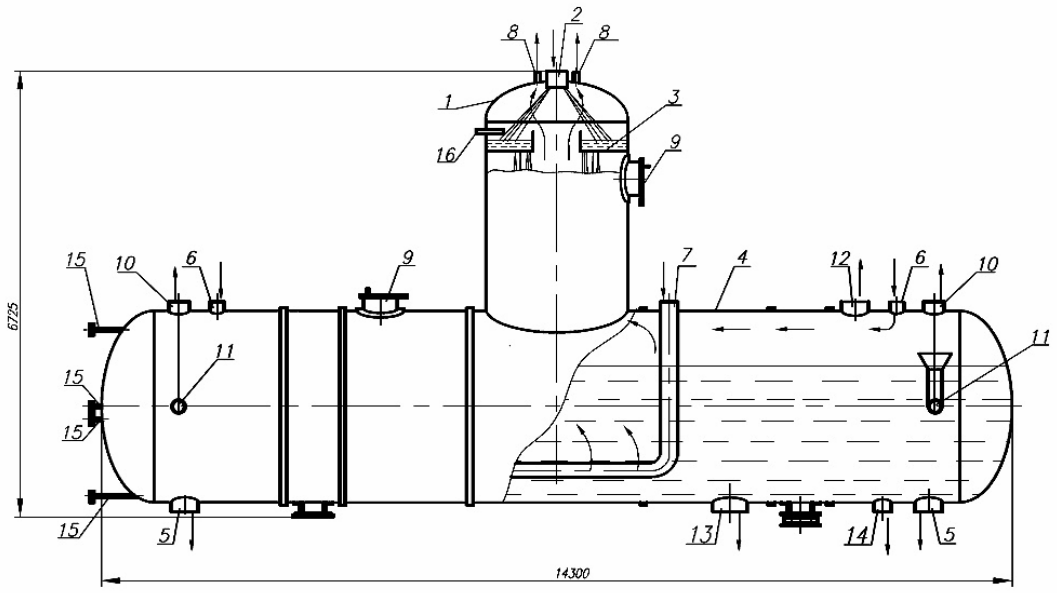


Рис. 1. Принципиальная схема деаэратора атмосферного давления новой конструкции производительностью 500 т/ч

1 – деаэрационная колонка; 2 – низконапорное водораспределительное устройство; 3 – перфорированная тарелка; 4 – бак деаэраторный; 5 – штуцеры расходные; 6 – штуцеры подвода греющей воды; 7 - штуцер подвода греющей воды на барботаж; 8 - штуцеры отвода выпара; 9 – люк; 10 - штуцеры отвода пара на гидрозатвор; 11 – штуцеры перелива; 12 – штуцер уравнительный по пару; 13 - штуцер уравнительный по воде; 14 – дренаж; 15 – штуцеры указателя уровня; 16 - штуцер подвода конденсата от охладителя выпара

Результаты проведенных испытаний и данные эксплуатации деаэратора ДА-500/100 на Юго-Западной ТЭЦ г. Санкт-Петербурга следующие [5]:

- новый деаэратор работает устойчиво без заметной вибрации и гидравлических ударов в широком диапазоне нагрузок (10?105%) и эксплуатационных режимов;
- деаэратор удовлетворяет требованиям ГОСТ 16860-88 [1] и ПТЭ [6];
- содержание кислорода в деаэрированной воде на выходе из деаэратора составляет менее 10 мкг/кг во всех опытных и эксплуатационных режимах при заданном проектном значении 30 мкг/кг;
- показатель pH деаэрированной воды на выходе из деаэратора (9,0?9,5) свидетельствует о том, что во всех проверенных режимах работы обеспечивается полное удаление свободной углекислоты из деаэрируемой (подпиточной) воды.

В 2014–2015 гг. ОАО «НПО ЦКТИ» разработало и изготовило усовершенствованный деаэратор атмосферного давления номинальной производительностью 510 т/ч (максимальная проектная производительность составляет примерно 560 т/ч) для строящейся ГТУ-ТЭЦ ЭС-1 г. Санкт-Петербурга. В качестве теплоносителя предусмотрено использовать перегретую воду.

На основании имеющегося опыта создания и освоения укрупненных деаэраторов атмосферного давления ОАО «НПО ЦКТИ» в настоящее время выполняет конструктивную проработку новых деаэраторов производительностью 600–1200 т/ч для больших систем теплоснабжения и горячего водоснабжения. К таким деаэраторам предъявляются следующие требования:

- увеличение единичной производительности деаэраторов в целях возможного сокращения их количества в схемах приготовления подпиточной воды крупных систем теплоснабжения;
- снижение массогабаритных характеристик деаэраторов из-за возможного уменьшения объема деаэраторных баков и высоты деаэраторов, увеличения единичной производительности деаэрационных колонок и др.;
- возможность использования в качестве теплоносителя вместо пара перегретой деаэрированной воды соответствующих параметров;
- обеспечение высокой степени удаления из исходной воды кислорода и свободной углекислоты в соответствии с нормами, установленными в ГОСТ 16860-88 [1] для деаэраторов атмосферного давления;
- использование в конструкции деаэрационных колонок низконапорных струйно-капельных ступеней (Δp<0,15 МПа) и развитого «затопленного» барботажного устройства в деаэраторном баке, позволяющих существенно повысить эффективность протекания процессов тепло- и массообмена в аппарате.

Выводы

1. Разработаны, изготовлены и освоены в эксплуатации современные укрупненные деаэраторы атмосферного давления производительностью 800 т/ч (с двумя колонками КДА-400) и 500 т/ч. В качестве теплоносителя в деаэраторах используются пар и перегретая вода. Применение таких деаэраторов позволяет сократить их количество в схемах приготовления подпиточной воды крупных систем тепло- и горячего водоснабжения на ТЭЦ и в котельных.
2. Проведенные в условиях ТЭЦ пуско-наладочные испытания головных образцов деаэраторов производительностью 800 и 500 т/ч показали, что деаэраторы работают устойчиво, надежно и эффективно в проектном диапазоне гидравлических и тепловых нагрузок.
3. Применение нового деаэратора атмосферного давления ДА-500/100 с использованием в качестве теплоносителя перегретой воды вместо пара позволяет:

- обеспечить работу деаэрационной установки в условиях отсутствия греющего пара;
- исключить потери конденсата греющего пара в деаэрационной установке;
- повысить экономичность и надежность установки;
- обеспечить деаэрацию воды при температуре более 100°С в открытых системах теплоснабжения и горячего водоснабжения.

Список литературы: **1.** ГОСТ 16860-88. Деаэраторы термические. М.: Стандартинформ, 2007. – с. 7. **2.** Теплообменное оборудование для промышленных установок и систем теплоснабжения. Промышленный каталог 04-04. М.: ВНИИАМ, НПО ЦКТИ, 2004. – с. 115. **3.** Деаэратор с малогабаритной деаэрационной колонкой для энергоблоков мощностью 300 МВт / А. С. Гиммельберг, В. Г. Михайлов, Г. В. Григорьев, Л. А. Хоменок, П. В. Егоров, Н. Е. Шилова, Б. М Соколов // Электрические станции. – 2006. – № 4. – с. 17. **4.** Деаэраторы атмосферного давления новой конструкции для крупных систем теплоснабжения./ Гиммельберг А. С., Михайлов В. Г. и др. // Тяжелое машиностроение. – 2002 г. – № 10. – с. 40. **5.** Деаэраторы атмосферного давления для системы теплоснабжения Юго-Западной ТЭЦ (г. Санкт-Петербург). /Гиммельберг А. С., Михайлов В. Е. и др.// Электрические станции. – 2013 г. – № 12. – с. 36–40. **6.** Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. М.: Омега-Л, 2003. – с. 155.

СТРУКТУРЫ ГИБКИХ МОДУЛЬНЫХ СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

Григорьева Н. С. (*ЛНТУ, г. Луцк, Украина*)
Тел./Факс: +38 (032) 223-60-35; E-mail: vik_shabajkin@ukr.net

Abstract: *The structure of the modular assembly includes the feed, transforming and transmitting modules. Their choice is determined on the basis of the properties parts to be assembled and the typical modular scheme, which establishes its elements, relationships, and integrity. Their number should be minimal, complete, with feedback forming a closed the system. Aspects of the system approach allow us to solve all the problems of optimization and operation of modular assembly systems.*

Keywords: *Structure, modular, assembly, element, relationships, optimization.*

Структура гибких модульных сборочных систем разрабатывается с использованием системного подхода, принципа комплексности, которым предшествуют общесистемные исследования и разработки, в том числе и на уровне элементарных гибких сборочных технологий, а также системного моделирования [1]. Установление рациональной структуры гибких модульных сборочных систем считается одной из сложнейших задач. Обосновывается это тем, что для установления такой структуры приходится предварительно рассчитывать и анализировать целые множества технических и экономических показателей, ряд из которых являются производными и появляются только в процессе расчетов. Главным при этом является обеспечение высокого качества собираемых разновидностей изделий, стабильности и надежности модульной системы при минимальных затратах и высокой производительности.

В общем случае под гибкой модульной автоматизированной сборочной системой понимается совокупность взаимосвязанных элементов, частей или модулей, создающих единое целое, действующих определенным порядком для осуществления автоматизированной сборки разновидностей изделий. Между частями системы устанавливаются определенные связи со своими свойствами, являющимися выражением ее целостности. Кроме принципов целостности при структуризации должны применяться и принципы кибернетики необходимого разнообразия эмерджентности, внешнего дополнения, возвратной связи и выбора решений. По первому принципу наиболее эффективной считается гибкая система, в которой число различных элементов, модулей и их состояний ограничено как по максимуму, так и по минимуму. Второй принцип ограничивает размеры модульной системы и разницу в размерах между частью и целым для уменьшения вероятностей разницы свойств целого от свойств частей. Такие разницы будут возникать при возможных объединениях в структуре модульной системы определенного числа однородных или разнородных элементов. Это означает, что целое не является равным сумме его частей. Следующий принцип обратной связи, т.е. без наличия взаимосвязи между отдельными частями, когда нет основания для эффективного управления в модульной системе. В сборочной гибкой модульной системе должна обеспечиваться технологическая замкнутость. И, наконец, последний принцип предусматривает альтернативный выбор решения, минимум из трех вариантов. Все эти принципы создают замкнутый контур, который обеспечивает наибольшую эффективность функционирования модульной гибкой сборочной системы.

Типовая структура гибкой модульной сборочной системы, построенная на основе теории структур, приведена на рис.1, которая состоит из ряда сборочных подсистем, замыкающих цикл функций модульной системы. Началом системы является подсистема входного контроля разнотипных деталей, поступающих на автоматизированную сборку. Необходимость этой подсистемы обусловлена возможностью попадания на сборку бракованных деталей. С устранением этого положения такая подсистема станет ненужной. Следующей является подсистема определения занимаемого положения де-

талей (общий случай). Если на гибкую модульную автоматическую сборку подаются ориентированные детали в заданном положении, то такая подсистема также становится ненужной. Это же относится и к следующей подсистеме автоматического пространственного ориентирования деталей. В подсистеме перемещения ориентированных разнотипных деталей на рабочие позиции следующая подсистема осуществляет их автоматическую установку. Подсистема гибкого автоматического взаимного ориентирования обеспечивает пространственное положение собираемых разнотипных деталей для их модульной сборки, а подсистемы автоматического соединения и закрепления - модульную сборку соединений. Подсистема выходного контроля проверяет качество сборки, после чего снятие собранных узлов или изделий осуществляется подсистемой их выгрузки. Эта подсистема устраняет и бракованные детали. В гибкой модульной сборочной системе задействована подсистема диагностики функционирования подсистем. Каждая из подсистем оснащена соответствующими датчиками и обратной связью.

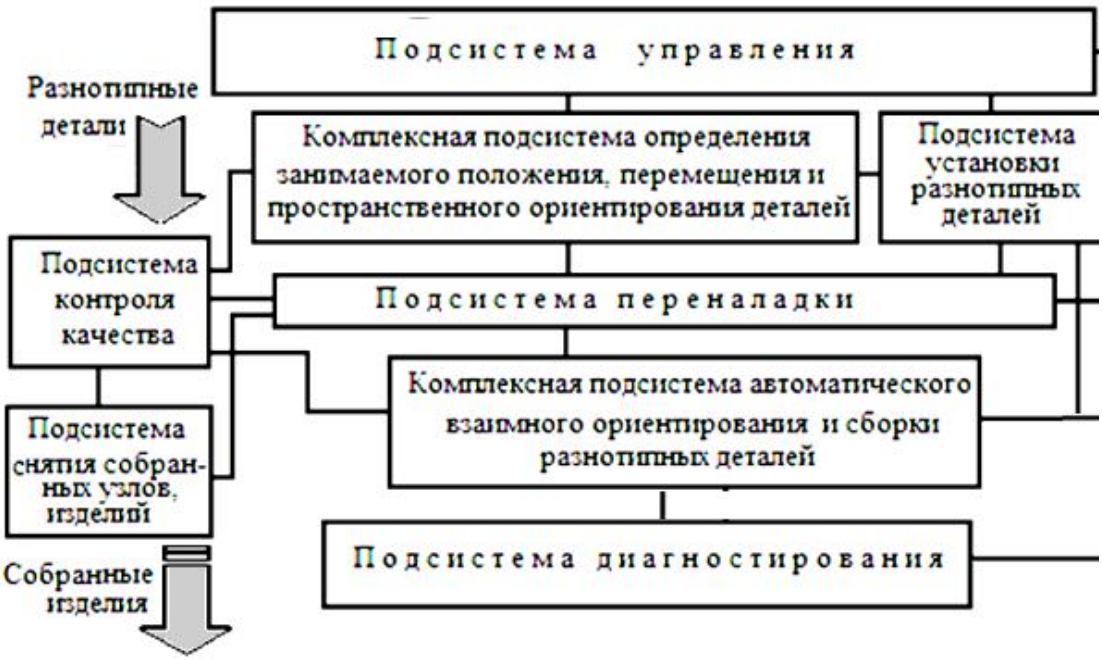


Рис.1. Обобщенная схема типовой структуры гибкой модульной

Все подсистемы управляются единой подсистемой управления адаптивного или интеллектуального плана, имеющей возможность приспосабливаться к изменениям условий гибкой модульной сборки и управления такими изменениями. Гибкость системы автоматизированной модульной сборки обеспечивается подсистемой переналадки, которая может быть выполнена как централизованной, так и размещенной в каждой гибкой подсистеме в виде отдельных модулей. Первый случай характерен при универсализации подсистем, когда им для переоборудования необходимы соответствующие команды при постоянном использовании элементов контакта с собираемыми деталями. Тогда такая подсистема может быть частью подсистемы управления целой гибкой модульной сборочной системой. Второй случай применяется при необходимости регулирования или замены элементов контакта с собираемыми деталями, такими как точки базирования, захвата, прикладывания силы и т.д. Этот случай является более общим.

Типовая структура гибкой модульной автоматизированной сборочной системы при подаче собираемых деталей в ориентированном положении несколько иная. Такая система является более простой, а значит более надежной и эффективной, чем приведенная выше, когда собираемые детали подаются не в ориентированном положении. Поэтому, даже целесообразно предварительно ориентировать собираемые детали вне

системы и подавать их в ориентированном положении, например, на паллетах. Это же относится и к подсистеме входного и выходного контроля.

Каждая из указанных подсистем с целью упрощения системы гибкой модульной сборки может быть совмещенной с другими, образуя комплексные подсистемы. Единственным условием такого объединения является то, что комплексная подсистема должна быть проще, а значит и надежнее, чем объединяемые. Так, определение занимаемого положения и автоматического пространственного ориентирования разнотипных деталей может выполняться во время их перемещения на позицию автоматизированной сборки, то есть может быть создана комплексная подсистема, в которой выполняются указанные функции. Подобно образуется комплексная система автоматизированного взаимного гибкого ориентирования и сборки разнотипных деталей. Подсистема диагностики сравнительно просто объединяется с подсистемой управления, а подсистемы входного и выходного контроля - в одну подсистему контроля.

Все указанные подсистемы состоят из автономных модулей со своими типоразмерными рядами. Такой подход позволяет сравнительно просто на базе типовой структуры модульной сборки получать наиболее эффективные структуры для конкретных ситуаций. При таком подходе система имеет более широкие технологические возможности, позволяющие на рабочей позиции концентрировать различные функции модульной сборки. Эти технологические возможности расширяются как за счет применения паллет, роботов и т.д., так и одновременного использования разновидностей сборочного и комбинированного инструмента.

Аспекты системного подхода позволяют обоснованно решать все задачи оптимизации и функционирования модульных гибких сборочных систем. Так функциональный аспект очерчивает круг функций, которые выполняет гибкая сборочная система в объеме своих подсистем, имеющих заданную целевую направленность [2, 3]. Элементарный аспект предполагает построение системы на уровне элементарного состава, что необходимо при развитии таких систем. Структуру системы устанавливает организационный аспект за счет определения четкой цели и круга задач для каждой подсистемы и ее отдельных элементов. Следует использовать также интегративный и коммуникационный аспекты. Первый аспект направлен на исследование основных факторов, и с целью получения новых методик и техник гибкой сборки. Все это направлено на совершенствование модульных сборочных систем, установление оптимальных, второй - на изучение внешних связей системы и факторов, возмущающих ее стабильное функционирование. При этом проводится методологический анализ разновидностей изделий и гибких технологических процессов модульной сборки и постановка проблемы взаимосвязи между и внутри подсистем, упорядочения отдельных элементов, получения качественно новых свойств и общего повышения эффективности. Критерий эффективности модульных сборочных систем устанавливается в виде порогового значения функции цели для одного или нескольких показателей допустимой реализации поставленных целей. При этом важным является адекватность критерия и цели по содержанию и степени общности. Цель выбирается конкретной и однозначной, а показатели - стабильность, надежность и производительность модульной сборки при более эффективном использовании всех видов резервов, которые систематически определяются.

Обобщенная структура гибкой модульной подсистемы (рис.2) предусматривает наличие минимум трех комплексных видов модулей: входных или подающих, функциональных или преобразовательных и выходных или передающих.

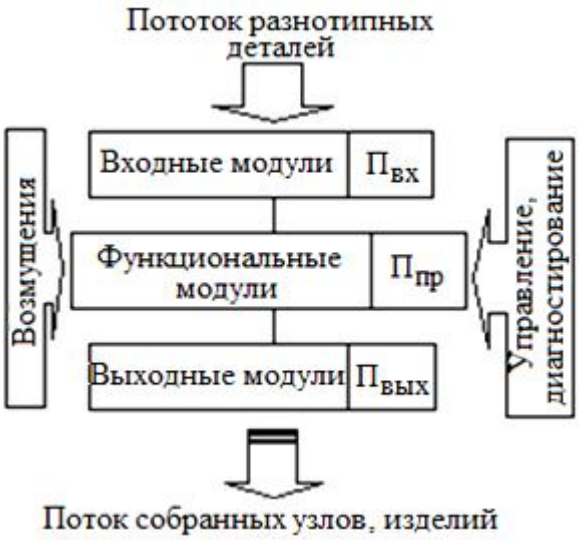


Рис.2. Обобщенная структура гибкой модульной подсистемы

В каждом модуле может содержаться свой модуль переналадки. Модули управляются от подсистемы управления, и проверяется их правильное функционирование подсистемой диагностирования. На вход обобщенной подсистемы после проведения необходимой подналадки модулями входа $П_{вх}$, преобразования $П_{пр}$ и выхода $П_{вых}$ на входящий модуль подаются собираемые детали, где организуется их подача по заданным требованиям. Далее собираемые детали передаются на функциональный (преобразовательный) модуль, на котором выполняется основная сборочная функция, и после чего на выходной модуль, где детали занимают нужное положение для загрузки их в следующую подсистему. На все модули действуют как внутренние, так и внешние возмущения, ухудшающие их правильное функционирование, что требует устранения или уменьшения такого влияния. В структуре подсистем также предусматривается объединение отдельных модулей как внутри подсистемы, так и с модулями других подсистем. Так например, входной модуль может быть объединенным с преобразовательным, а последний – с выходным модулем. Возможен вариант, когда подсистема состоит из одного комплексного модуля. Входной модуль может быть объединенным с выходным предыдущей подсистемы, а выходной с входным модулем следующей подсистемы. Все зависит от свойств и особенностей объектов модульной сборки.

С целью повышения производительности гибкой модульной сборки изделий могут быть применены известные высокоэффективные технологические системы непрерывного действия, получившие название поточно-пространственных, которые считаются новым научным направлением с нетрадиционными принципами создания и высокими технико-экономическими показателями и возможностями [4]. Структуры отличаются от известных тем, что они предназначены для прогрессивных технологий нового поколения, нового технологического оборудования поточно-пространственного расположения, выполненных на базе новых научно-технологических основ поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. При некоторых доработках их можно использовать для модульной гибкой сборки разнотипных изделий при больших сериях сборки, когда переналадка поточно-пространственного сборочного оборудования будет технико-экономически обоснованной. При необходимости повышения производительности модульной гибкой сборки можно сравнительно просто перейти на поточно-пространственные технологические системы непрерывного действия при условии решения вопросов переналадки на сборку различных изделий.

Список литературы: 1. Григор’єва Н. С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів. – Луцьк: Надстир’я, 2008. 520 с. **2.** Технология автоматической сборки / [А. Г. Холодкова, М. Г. Кристаль, А. С. Зенкин и др.]; под ред. А. Г. Холодковой. – М.: Машиностроение, 2010. – 560 с**. 3.** Базров Б. М. Модульная технология в машиностроении**.** – М.: Машиностроение, 2001. - 368 с. **4.** Михайлов А. Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА, ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ, ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

Гусев Е. Л. *(Институт проблем нефти и газа Сибирского Отделения РАН, Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск, Россия), E-mail: elgusev@mail.ru*

Abstract: *It is researched the problems of the development effective, elaborated methods of the forecasting of the resource, longevity structures from polymeric, composite materials, founded on modern achievements in the field of mathematical modeling. Formulated approval allowing to identify the conditions on the parameters of the prediction tasks in the refined productions, under which the application of the developed methods may allow to forecast the residual resource of polymer composites with predetermined accuracy*

Keywords*: polymeric composite materials, methods of possible directions, residual resource, long-term forecasting, extreme climatic factors.*

В последние десятилетия при разработке различных конструкций, машин и механизмов значительное внимание уделяется проблеме создания надежных методов количественной оценки работоспособности конструкций из полимерных и композиционных материалов [1–9]. Различные постановки задач прогнозирования могут быть классифицированы на два больших класса: прямые и обратные задачи прогнозирования. Прямые задачи прогнозирования связаны с расчетами на основе известных с точностью до параметров моделей долговечности. Обратные задачи прогнозирования связаны с разработкой требований, условий на задачи прогнозирования, к условиям проводимых экспериментов, разработкой требований, условий к разрабатываемым моделям долговечности, в рамках которых можно гарантировать разработку теоретического прогноза с заранее заданной точностью не ниже предельно допустимой точности прогноза $\gamma_R^{\max}$.Таким образом, центральное место при формулировке обратных задач прогнозирования занимает введение в постанову обратной задачи прогнозирования предельно допустимой точности прогноза $\gamma_R^{\max}$. Под предельно допустимой точностью прогноза $\gamma_R^{\max}$ будем понимать предельно допустимое отклонение прогнозируемой зависимости $\tilde{R}(t)$ определяющего свойства R от реальной зависимости $R^*(t)$ на прогнозируемом отрезке времени $[T_{\min}, T_{\max}]$. В соответствии с введенным определением предельно допустимая точность прогноза $\gamma_R^{\max}$ удовлетворяет условию:

$$\max_{T_{\min} \le t \le T_{\max}} \left| \tilde{R}(t) - R^*(t) \right| \le \gamma_R^{\max} \quad . \qquad (1)$$

В соответствии с введенной предельной допустимой точностью прогноза обратные задачи прогнозирования могут быть сформулированы в следующей постановке: на основе кратковременных испытаний, проведенных на интервале времени [0, T_{min}], т.е. на основании информации о значениях определяющего свойства R – $R_1, R_2, ..., R_m$, измеренных в моменты времени $t_1, t_2, ..., t_m$ $(0 < t_1 < t_2 < ... < t_m = T_{\min})$, спрогнозировать изменение определяющего свойства композиционной конструкции на интервале [T_{min}, T_{max}], с погрешностью, не превышающей заранее заданной предельно допустимой точности прогноза $\gamma_R^{\max}$ (1).

В настоящее время задачи прогнозирования ресурса, долговечности, надежности композиционных материалов, композиционных конструкций решаются в упрощенной постановке, в рамках прямых задач прогнозирования, в которых не ставится задача оценки точности теоретического прогноза. В соответствии с этим, в рамках решаемых в настоящее время упрощенных постановок не удается обосновать корректность получаемых прогнозируемых решений, которые могут существенно отличаться в рамках упрощенных постановок задач прогнозирования от реальных зависимостей.

В соответствии с этим научно обоснованные современные подходы к решению задач прогнозирования должны развиваться в рамках обратных постановок задач прогнозирования. Как отмечалось в работах [2–4] эффективное решение проблемы как краткосрочного, так и средне-, и долгосрочного прогнозирования возможно в том случае, если по результатам краткосрочных экспериментов можно выделить устойчивые закономерности поведения полимерных, композиционных материалов при воздействии экстремальных факторов внешней среды. Такого рода устойчивые закономерности определяются особенностями микро-, и макроструктуры конкретных видов полимерных, композиционных материалов. Установление таких устойчивых закономерностей может служить основой для разработки эффективных методов долгосрочного прогнозирования. Также в работе [2] было отмечено, что составной частью проблемы разработки эффективных методов прогноза является решение проблемы эффективного построения глобально-оптимальных решений, доставляющих абсолютный минимум многопараметрическим критериям эффективности, связанным с решением задач прогнозирования остаточного ресурса, долговечности, композиционных материалов, конструкций при воздействии экстремальных факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок. Проблема же достоверного построения глобально-оптимальных решений сложнопостроенных многопараметрических критериев эффективности в настоящее время является чрезвычайно сложной. Также работах [2–4] был сделан вывод, что методы ускоренных испытаний не могут служить достоверно обоснованным подходом к решению задач прогнозирования остаточного ресурса полимерных композитов, поскольку дать строгое обоснование методу ускоренных испытаний не представляется возможным.

В настоящее время задачи математического моделирования задач прогнозирования, ресурса, надежности конструкций из полимерных композитов при воздействии экстремальных климатических факторов внешней среды, решаются в значительно упрощенных постановках, не учитывающих значительное число факторов, оказывающих существенное влияние на точность решения. В частности, не учитывается свойство некорректности по А.Н. Тихонову задач прогнозирования, как обратных задач математической физики; не учитывается дополнительная информация о законах распределения ошибок измерения определяющих свойств полимерных композитов; не разработана теория построения оценок точности прогноза , применяемые методы прогнозирования остаточного ресурса полимерных композитов не учитывают современных достижений в области математического моделирования.

В соответствии с этим, актуальной является проблема разработки эффективных, уточненных методов прогнозирования ресурса, надежности, долговечности конструкций из полимерных , композиционных материалов, основанных на современных достижениях в области математического моделирования.

В соответствии с этим автором развивается новый подход к решению задач прогнозирования в рамках обратных задач прогнозирования, в которых в постановку задач прогнозирования включена оценка точности прогнозируемых решений. В рамках развиваемого нового подхода в рамках обратных задач прогнозирования с включением в постановку задачи прогнозирования оценки точности прогноза, могут быть разработа-

ны научно обоснованные прогнозируемые решения в пределах требуемой точности прогноза.

В соответствии с выводами, сделанными в работах [2–4], основу разрабатываемого подхода составляет установление новых качественных закономерностей влияния микро-, и макроструктурных особенностей полимерных, композиционных материалов на характер изменения остаточного ресурса, долговечности под воздействием экстремальных факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок. Включение установленных новых качественных закономерностей влияния микро-, и макроструктурных особенностей полимерных, композиционных материалов на характер изменения остаточного ресурса, долговечности, в постановку задачи прогнозирования , позволит существенно уточнить постановку задачи прогнозирования, значительно уменьшить множество сравниваемых между собой исследуемых прогнозируемых зависимостей остаточного ресурса, содержащее искомую реальную временную зависимость остаточного ресурса. А следовательно, позволит существенно повысить эффективность и достоверность прогнозирования остаточного ресурса, долговечности полимерных, композиционных материалов на основе включения в постановку новой дополнительной информации о качественных закономерностях задач прогнозирования остаточного ресурса.

Обозначим через $Q=(Q_1,Q_2,...,Q_m)$ вектор погрешностей измерения исходных данных; через R(u;t) принятую параметрическую модель прогнозирования, определенную с точностью до вектора неопределенных параметров $u=(u_1,u_2,...,u_n)$; U – множество допустимых значений вектора неопределенных параметров $u\in U$; $u^*(Q)$ – вектор параметров прогнозируемой модели, являющейся решением задачи прогнозирования в рассматриваемой постановке на основе разрабатываемого подхода.

Так как, совокупность погрешностей $Q_1,Q_2,...,Q_m$ рассматривается как совокупность непрерывных случайных величин, то в этом случае суммарная среднеквадратическая ошибка $\tilde{S}$ также будет являться случайной величиной, зависящей, кроме вектора параметров u, дополнительно от случайных факторов $Q_1,Q_2,...,Q_m$, связанных с погрешностями измерений:

$$\tilde{S}=S(u,Q)=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left[R(u_1,u_2,...,u_m;t)-\tilde{R}_i\right]^2\Rightarrow\min_{u\in U} \qquad (2)$$

В этих обозначениях: $\tilde{R}_i=R_i(Q)$ – измеренные значения определяющего параметра R в моменты времени $t_1, t_2,...,t_m$ с учетом погрешностей измерений $Q_1,Q_2,...,Q_m$. Вектор неопределенных параметров $u^*(Q)$, доставляет глобальный минимум суммарной среднеквадратической ошибке $\tilde{S}$ (2):

$$S\left(u^*(Q);Q\right)=\min_{u\in U}S(u;Q). \qquad (3)$$

Полагаем, что при отсутствии ошибок измерений (Q=0), временная зависимость остаточного ресурса R от времени на исследуемом временном интервале $\mathbf{[T_{min}, T_{max}]}$ восстанавливается точно. Обозначим через $R^*(t)$ реальную временную зависимость остаточного ресурса. Параметрическое семейство функциональных зависимостей R(u;t) для всех допустимых значений векторного параметра $u\in U$ и всех моментов времени t из временного интервала [T_{min} , T_{max}] будем обозначать через M

$$M = \{R(u;t),\ \forall (u,t) \in U \times [T_{\min}, T_{\max}]\}, \qquad (4)$$

Предполагается, что в многопараметрическом семействе моделей при строго определенном сочетании параметров $u^* = (u_1^*, u_2^*, ..., u_n^*) \in U$ может быть выделена модель для которой функциональная зависимость остаточного ресурса $R^*(t) = R(u^*;t)$, полностью совпадает с реальной временной зависимостью. В соответствии с этим $R^*(\cdot) \in M$. Реальной зависимости $R^*(t)$ соответствует вектор параметров u^*, являющийся оптимальным решением экстремальной задачи (2) при отсутствии ошибок измерений (Q=0). В соответствии с этим $R^*(t) = R(u^*;t)$.

Сформулированы и обоснованы утверждения, позволяющие выявить условия на параметры задач прогнозирования в уточненных постановках, при выполнении которых применение разработанных методов [6–8] может позволить осуществлять прогноз остаточного ресурса, долговечности конструкций из композиционных, полимерных материалов при воздействии экстремальных, климатических факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок, с заранее заданной точностью $\gamma_R^{\max}$ (1).

Список литературы: 1. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.:Наука, 1984. **2**. Уржумцев Ю. С. Прогнозирование длительного сопротивления полимерных материалов – М. : Наука, 1982. – 222 с. **3.** Уржумцев Ю. С., Майборода В. П. Технические средства и методы определения прочностных характеристик конструкций из полимеров. – М. : Машиностроение, 1984. – 169 с**. 4**. Уржумцев Ю. С. , Максимов Р. Д. Прогностика деформативности полимерных материалов. ИМП АН ЛатвССР. – Рига : Зинатне, 1975. – 416 с. **5.** Булманис В. Н., Старцев О. В. Прогнозирование изменения прочности полимерных волокнистых композитов в результате климатического воздействия. Препринт, – Якутск, 1988. – 32 с. **6**. Gusev E. L. Using parallel procedures for the searching of the extremum for the decision of the inverse problems prediction of the defining characteristics of the composite materials// Material Physics and Mechanics , 2016, v.26, N 1, p. 70–72. **7.** Гусев Е. Л. Релаксационные методы в прогнозировании определяющих характеристик при воздействии экстремальных факторов внешней среды// Международный журнал Международного союза ученых «Наука. Технологии. Производство», 2015, №8, с. 4–7. **8.** Гусев Е. Л. Методы, связанные с выделением перспективных направлений поиска для решения обратных задач прогнозирования определяющих характеристик полимерных композитов при воздействии экстремальных климатических факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок//Сб. трудов Всероссийской научной конференции с международным участием (к 95-летию со дня рождения академика И. Ф. Образцова) «Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред», М., ИПРИМ РАН, 2015, с. 518–520. **9**. Гусев Е. Л., Бабенко Ф. И. Методы поиска экстремума с оптимальным выбором параметров для решения задач восстановления параметров моделей прогнозирования определяющих характеристик полимерных композитов//Сб. трудов «Материалы для технических устройств и конструкций, применяемых в Арктике», М., ВИАМ, 2015, с.132–141.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И МИКРОТВЕРДОСТЬ В НАПЛАВЛЕННЫХ ЛАЗЕРОМ ВАЛИКАХ ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01 И БРОНЗЫ ПГ-19М-01

Девойно О. Г., Кардаполова М. А., Луцко Н. И., Лапковский А. С.
(БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)
Тел./Факс: +375 (17) 3310045; E-mail: scvdmed@bntu.by

Abstract: *In the work, the distribution of microhardness and elemental composition by the depth of beds made of nickel based alloy and bronze by laser cladding is investigated. A uniform distribution of the microhardness over the entire depth of the beds from both materials is determined. The relationship between the microhardness distribution and elemental composition of the beds is shown in the depth of the coating.*
Keywords: *Laser cladding, microhardness distribution, elemental composition, nickel based alloy, bronze.*

Известные преимущества лазерной наплавки позволяют использовать ее для создания мультимодальных покрытий [1, 2]. Под модой понимается значение какого-либо признака (размера частиц упрочняющей фазы, пористости, вида материала), которые встречаются наиболее часто. Если имеются несколько значений какого-либо признака, имеющие одинаковую частоту повторения, то покрытие считается мультимодальным. Лазерная наплавка позволяет создавать мультимодальные покрытия, состоящие из полосчатых слоев, полученных чередованием металлических материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами. Реализация технологии нанесения мультимодальных покрытий методом лазерной наплавки неразрывно связана с использованием системы числового программного управления (ЧПУ) для осуществления процесса наплавки, что позволяет с высокой точностью создавать архитектуру мультимодальных полосчатых слоев. Технология создания мультимодальных покрытий методом лазерной наплавки может быть использована как для упрочнения поверхностей новых деталей, так и для восстановления их изношенных поверхностей с получением хороших прочностных свойств [3, 4].

В данной работе предпринята попытка исследовать распределение микротвердости и элементного состава по глубине валиков из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01. Химический состав использовавшихся материалов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав исходных порошков

Марка	Содержание компонентов, % (по массе)									
	Cr	B	Si	Fe	C	Ni	Co	Cu	W	Al
ПГ-12Н-01	8-14	1,7-2,5	1,2-3,2	1,2-3,2	0,3-0,6	Основа	-	-	-	-
ПГ-19М-01	-	-	-	До 4	-	-	-	Основа	-	8,5-10,5

Единичные валики из самофлюсующегося сплава на основе никеля ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 наносились методом лазерной наплавки на технологическом комплексе, включавшем газовый CO_2 – лазер непрерывного действия и координатную систему с числовым программным управлением, обеспечивавшую необходимые перемещения наплавочной головки относительно наплавлявшихся образцов. Лазерная наплавка производилась при мощности излучения 1000 Вт, с различными скоростями наплавки. Величина подачи порошка составляла 12 г/мин. Наплавка выполнялась на

образцы из стали 45, имевшие размеры 20х30х8 мм. Грануляция порошков составляла 20–80 мкм.

После наплавки образцы разрезались в направлении перпендикулярном валикам наплавки и изготавливались микрошлифы, на которых производился замер микротвердости по глубине валиков. Измерения микротвердости производились при помощи микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г по линии симметрии валиков из основы в покрытие с шагом 0,05 мм.

Исследования распределения элементов по глубине валиков проводились на тех же образцах методом микрорентгеноспектрального анализа (МРСА) на аттестованном микроскопе «Mira» фирмы «Oxford Instruments» (Великобритания).

Результаты исследования микротвердости для валиков из сплава ПГ-12Н-01 приведены на рис. 1, для валиков из бронзы ПГ-19М-01 – на рис. 3.

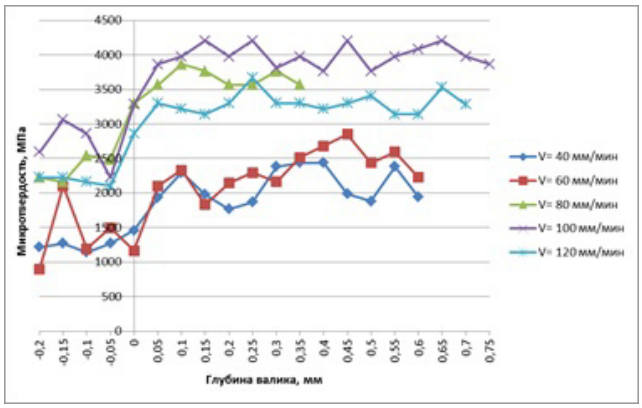


Рис. 1. Распределение микротвердости по глубине валика из сплава ПГ-12Н-01

Из рис. 1 видно, что при переходе из основы в валик из сплава ПГ-12Н-01 происходит резкий рост микротвердости. В дальнейшем микротвердость распределена довольно равномерно по всей глубине валика для всех скоростей наплавки. Небольшая величина колебаний микротвердости в валиках из сплава ПГ-12Н-01 объясняется достаточно равномерным распределением фаз в покрытии, когда большинство упрочняющих элементов остаются в твердом растворе γ-Ni матрицы. Резкий рост микротвердости на границе основа-покрытие свидетельствует о небольшой величине или отсутствии переходной зоны.

Равномерное распределение микротвердости по глубине валиков из сплава ПГ-12Н-01 связано с однообразным и интенсивным перемешиванием материала в ванне расплава, величина которой сопоставима при лазерной наплавке с поперечным сечением валика. Изменение микротвердости по глубине валика связано непосредственно с изменением элементного состава материала валика. На рис. 2 представлены зависимости содержания элементов в валике из сплава ПГ-12Н-01, нанесенном при скорости наплавки 60 мм/мин и дистанции наплавки 12 мм. На этом же рисунке показано распределение микротвердости по глубине этого валика в тех же координатах. Из рисунка видно, что элементный состав наплавленного валика из сплава ПГ-12Н-01 сильно отличается от состава исходного порошка, приведенного в таблице 1. Содержание хрома и кремния близко к табличным значениям и практически не изменяется по глубине валика. Однако количество железа и никеля значительно отличается от значений, приведенных в таблице. Интенсивное перемешивание материалов покрытия и основы приводит к тому, что количество железа в валике вместо табличных 1,2–3,2 % изменяется по глубине валика от 65 до 52 %, а количество никеля, вместо табличных 80 % изменяется от 27 до 42 %. Таким образом, материал

валика уже не является чисто никелевым сплавом, так как в нем содержится значительное количество железа. По этой причине и величина микротвердости в наплавленном валике не превышает 2700 Мпа. Количество никеля (и его соединений) содержащееся в различных точках по глубине валика определяет и соответствующую величину микротвердости. Из рисунка 2 видно, что при увеличении количества никеля от основы к поверхности покрытия с 27 до 42 %, микротвердость материала валика возрастает с 2102 до 2680 Мпа.

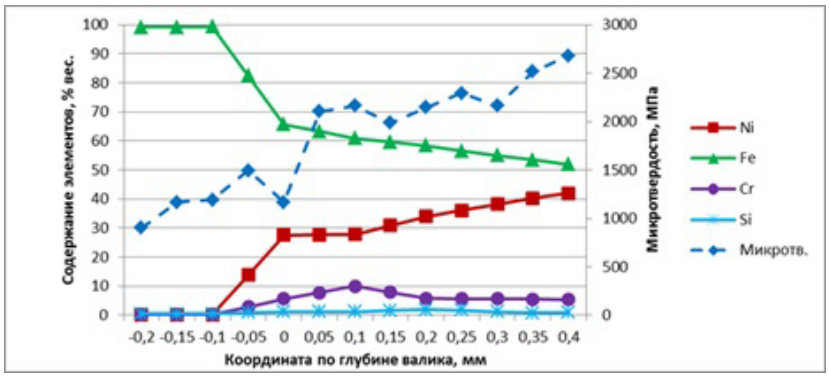


Рис. 2. Распределение элементов и микротвердости по глубине валика из сплава ПГ-12Н-01, нанесенного лазерной наплавкой

Из рис. 3 видно, что при переходе из основы в валик из бронзы ПГ-19М-01 происходит некоторое уменьшение микротвердости. В дальнейшем по глубине валика для всех скоростей наплавки микротвердость изменяется незначительно. Небольшие и плавные изменения микротвердости при переходе из основы в покрытие свидетельствуют о наличии достаточно большой переходной зоны.

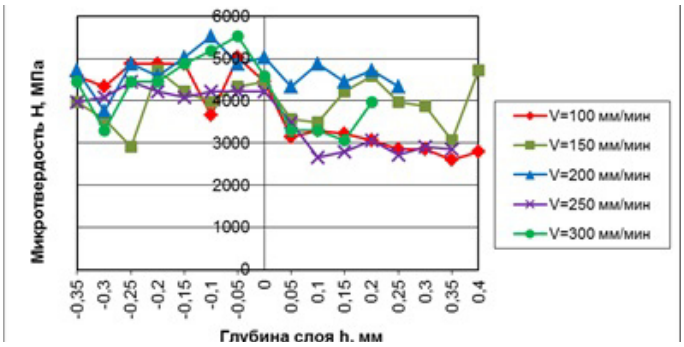


Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине валика из бронзы ПГ-19М-01

Так же, как для сплава ПГ-12Н-01, равномерное распределение микротвердости по глубине валиков из бронзы ПГ-19М-01 следует связывать с сильным перемешиванием материалов покрытия и основы в ванне расплава. Изменение микротвердости по глубине валика также непосредственно связано с изменением элементного состава материала валика. На рис. 4 показаны зависимости содержания элементов в валике бронзы ПГ-19М-01, наплавленном при скорости наплавки 100 мм/мин и дистанции наплавки 12 мм. Здесь же показано распределение микротвердости по глубине этого валика в тех же координатах по глубине валика. Элементный состав наплавленного валика из бронзы ПГ-19М-01 сильно отличается от состава исходного порошка (таблица 1). Если содержание алюминия мало отличается от табличных значений, то содержание железа и меди изменяется значительно из-за интенсивного перемешивания материалов валика и основы в ванне расплава. Так

количество железа в валике вместо табличных 4 % изменяется по глубине валика от 56 до 69 %, а количество меди, вместо 86 % изменяется от 35 до 26 %. Понятно, что материал валика уже не является чистой алюминиевой бронзой. В связи со значительным содержанием железа величина микротвердости в наплавленном валике достигает 3400 Мпа. Скорее всего количество железа (и его соединений) содержащееся в различных точках по глубине валика определяет соответствующую величину микротвердости. При увеличении количества железа от основы к поверхности покрытия с 56 до 69 %, микротвердость материала валика возрастает с 2980 до 3400 Мпа.

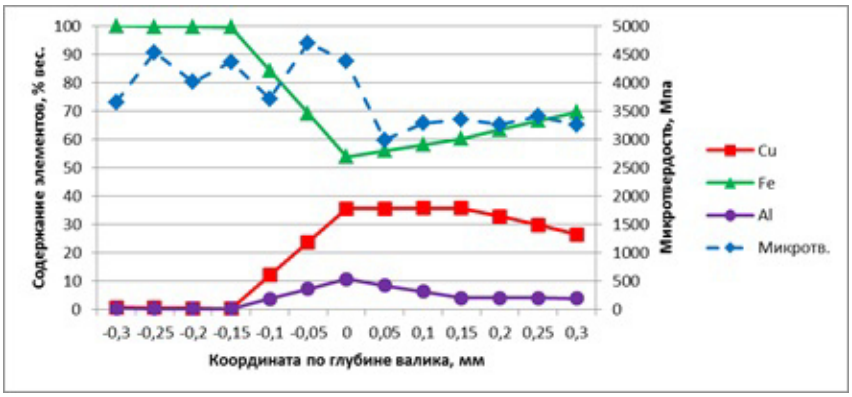


Рис. 4. Распределение элементов и микротвердости по глубине валика из бронзы ПГ-19М-01, нанесенного лазерной наплавкой

Таким образом установлено:

– в наплавленных валиках из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 распределение микротвердости имеет равномерный характер по глубине валиков;

– переходная зона для валиков из сплава ПГ-12Н-01 очень мала, а для валиков из бронзы ПГ-19М-01имеет достаточно большие размеры;

– элементный состав наплавленных валиков из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 сильно отличается от элементного состава соответствующих исходных порошков. В обоих случаях в валиках присутствует большое количество железа. В то же время, в валиках из сплава ПГ-12Н-01 мало никеля, а в валиках из бронзы ПГ-19М-01 мало меди;

– сравнительный анализ графиков распределения элементов и микротвердости по глубине валиков из сплава ПГ-12Н-01 бронзы ПГ-19М-01 показал, что распределения микротвердостей непосредственно связано с распределением элементов в соответствующих точках по глубине валиков. Для валиков из сплава ПГ-12Н-01 определяющим является количество никеля (и его соединений), а для валиков из бронзы ПГ-19М-01 определяющим является содержание железа (и его соединений);

Список литературы: 1. J. Ratajski, A. Gilewicz, P. Bartosik, L. Szparaga. – Mechanical properties of antiwear Cr/CrN multimodule coatings // Archives of Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 75. – I. 2. – P. 35–45. **2.** A. Gilewicz, R. Olik, L. Szpraga, J. Ratajski. – The properties of multi-module and gradient coatings base on CrN/CrCN deposited on nitride 4140 steel // Problemy Eksploatacji – Maintenance Problems. – 2014. – I. 3. – P. 27–43. **3.** Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок/ Под ред. В. Я. Панченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 664 с. **4.** Шишковский И. В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, – 424 с.

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРБИДАМИ, ПРИ ТРЕНИИ ПО СТАЛИ

Девойно О. Г., Кардаполова М. А., Яцкевич О. К. *(Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)*
Тел./Факс: +375 (017) 3310045; E-mail: scvdmed@bntu.by

Abstract: *Al_2O_3 –SiC, Al_2O_3-B_4C, Al_2O_3-TiC plasma sprayed coatings provide a reasonably wide range of mechanical properties. The unlubricated friction and wear behaviors of these coatings against carbon steel were studied in air atmosphere using the ring-block method. Results showed that additions of SiC, B_4C, TiC to the Al_2O_3 matrix increased the flexural strength, hardness and wear resistance compared to the pure Al_2O_3 coating. The friction coefficient showed downward trend with the increasing of the sliding speed, and decreased dramatically with increasing applied load for all the alumina-based coatings. The Al_2O_3-$15B_4C$ and Al_2O_3– 10SiC showed the highest wear resistance under identical test conditions.*
Keywords: *wear, alumina, coating, plasma spraying*

Введение. В последние годы наметилась тенденция замены тяжелонагруженных металлических деталей пар трения керамическими элементами. При этом создаются пары трения как из одноименных материалов, например, керамика-керамика, так и из разнородных, в которых керамические материалы контактируют с металлическими поверхностями. В работах главным образом приводятся данные трения спеченных керамических материалов на основе оксидов и карбидов по стали [1–3]. Однако детали, полученные методами горячего прессования, зачастую обладают высокой хрупкостью и не могут полноценно заменить быстроизнашиваемые элементы пар трения, особенно в случаях работы с динамическими нагрузками. Поэтому на первый план выходят различные способы формирования износостойких керамических покрытий на металлических элементах конструкций, среди которых газотермическое напыление является наиболее эффективным и недорогим.

Износостойкость керамических покрытий можно повысить как оптимизацией процесса плазменного напыления, увеличением плотности покрытий и уменьшением пористости, так и оптимизацией состава и созданием гетерогенных структур. Из литературных данных [4] известно, что гетерофазные керамические материалы, в которых в качестве вторых фаз используются тугоплавкие соединения, обладают более высоким уровнем механических свойств, чем однофазные. Тот же принцип может быть применим и к керамическим плазменным покрытиям на основе Al_2O_3. К сожалению, покрытия данного типа отличаются высокой хрупкостью, и данный факт значительно снижает стойкость таких покрытий к износу.

Общая зависимость коэффициента трения от твердости для различных по составу керамик на основе оксида алюминия для всех температур испытаний представлена в [1] и имеет линейный характер, подтверждающий точку зрения о том, что коэффициент трения этих керамик зависит главным образом от их механических свойств, в частности, твердости материала. Для достижения высокой износостойкости керамических покрытий на основе Al_2O_3 необходимо добиться оптимального сочетания их высокой твердости и трещиностойкости, что возможно при использовании карбидов SiC, TiC, B_4C.

Задача данной работы состоит в исследовании триботехнических характеристик плазменных покрытий Al_2O_3-SiC, Al_2O_3-TiC, Al_2O_3-B_4C и оценке влияния содержания карбидов на их износостойкость при трении по стали.

Методика исследований. В качестве исходных порошков использовали оксид алюминия по ТУ 6-09-426-75 с размером частиц 40-60 мкм, и порошки карбидов SiC, TiC, B_4C с размером частиц 16–20 мкм.

Покрытия наносили методом плазменного напыления на подготовленные дробеструйной обработкой образцы с предварительно нанесенным Ni-Al подслоем с использованием установки УПУ-3Д с источником питания ИПН-160/600 и плазмотроном ПП–25 на режимах: I=420 А, U=85-90 В, L= 90 мм, р=0,6 МПа. Толщина слоя 0,6 мм.

При исследовании фрикционного взаимодействия керамической поверхности образца и металлического контртела необходимо выбирать схему вал – плоскость, при которой плоский керамический образец контактирует со стальным контртелом в начальный момент по линии, что позволяет избегать интенсивного микрорезания керамикой стали [3]. Данная схема была реализован на машине трения и износа типа Amsler A-135 с использованием неподвижного образца (колодки) и вращающегося контртела (диска). Образцы имели размеры 10х15х5, поверхность с покрытием полировалась алмазной пастой на чугунном притире до Ra=0,2 мкм. Материал контртела - закаленная сталь 45 (42-46 HRC), наружный диаметр 40 мм. Величина нагрузки варьировалась в пределах 20-150 Н, скорость скольжения в паре трения 1-6 м/с. Трение без смазки. Объемный износ покрытия рассчитывался исходя из ширины образца, радиуса контртела и хорды, образующейся в процессе изнашивания лунки.

Структуру поверхностных слоев керамических покрытий Al_2O_3-(5%, 10%, 15%)SiC, Al_2O_3-(5%, 10%, 15%)TiC, Al_2O_3-(5%, 10%, 15%)B_4C и стального контртела после трения исследовали в несколько этапов. Сначала изучали морфологию поверхности трения методом сканирующей электронной микроскопии, затем исследовали неоднородность состава поверхностных слоев с целью определения областей, обогащенных кислородом. Также был выполнен фазовый анализ поверхностных слоев.

Обсуждение результатов. Известно [5], что для плазменных покрытий из Al_2O_3 хрупкое выкрашивание и последующее дробление частиц приводит к образованию продуктов износа, способствующих усилению абразивного изнашивания пары трения. Происходит переход от адгезионного изнашивания в начале испытаний к абразивному, чем и объясняются высокие значения интенсивности изнашивания во всем диапазоне скоростей. По мере приработки образцов на поверхности покрытия из исходного порошка Al_2O_3 и на поверхности стального контртела образуются канавки и борозды в направлении движения. Образование защитной пленки из окислов между контактирующими поверхностями не происходит, что вызывает значительный износ контртела.

В свою очередь, покрытия Al_2O_3-B_4C и Al_2O_3-SiC обладают меньшей степенью износа и наибольшей микротвердостью (табл.1), что обусловлено мелкозернистой структурой и более высокой плотностью по сравнению с другими покрытиями. Карбидные включения равномерно распространены по всей толщине покрытия.

Образец с покрытием Al_2O_3-5B_4C имеет плотную и зернистую структуру с незначительным количеством пор. В среднем размер зерен α-Al2O3 составляет 3-4 мкм, зерна четко окристаллизованы и имеют четкую огранку. Предположительно, такая плотная и микрокристаллическая структура и определяет наилучшие трибологические характеристики покрытий Al_2O_3-B_4C (рис.1).

В отличие от данных композиций покрытия Al_2O_3-(5%, 10%, 15%) TiC имеют значительную пористость и несплошности. Указанные дефекты являются, вероятно, результатом недостаточной температуры прогрева частиц в плазменной струе или низкой скорости при подлете к основанию.

Таблица 1 – Физико-механические свойства плазменных покрытий

Тип покрытия	Микротвердость $HV_{(100)}$, МПа	Пористость общая, П,%	Прочность сцепления, σ, МПа
Al_2O_3 исходный	1052	5-8	9
Al_2O_3-5%SiC	970	8-9	12
Al_2O_3-10%SiC	1100	4-6	10
Al_2O_3-15%SiC	1160	4-6	11
Al_2O_3-5%TiC	980	9-12	8
Al_2O_3-10%TiC	956	8-9	10
Al_2O_3-15%TiC	830	8-9	11
Al_2O_3-5% B_4C	1120	2-3	15
Al_2O_3-10% B_4C	1300	3-4	12
Al_2O_3-15% B_4C	1430	3-4	14

Разрушение покрытий Al_2O_3-TiC начинается с появлением мелкой сетки трещин на дне дорожки износа, что обуславливает увеличение локальных напряжений и силы трения. При этом покрытие начинает быстро истираться. В свою очередь на контртеле формируется бороздчатый микрорельеф, характерный для всех керамических материалов, что соответствует абразивному типу изнашивания. На поверхности трения стального образца присутствуют множественные керамические включения.

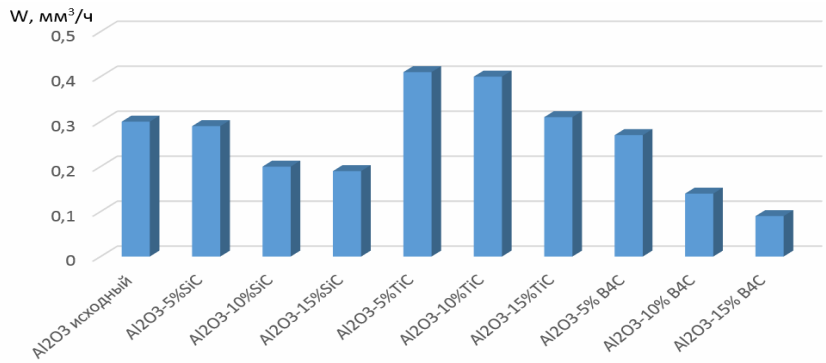
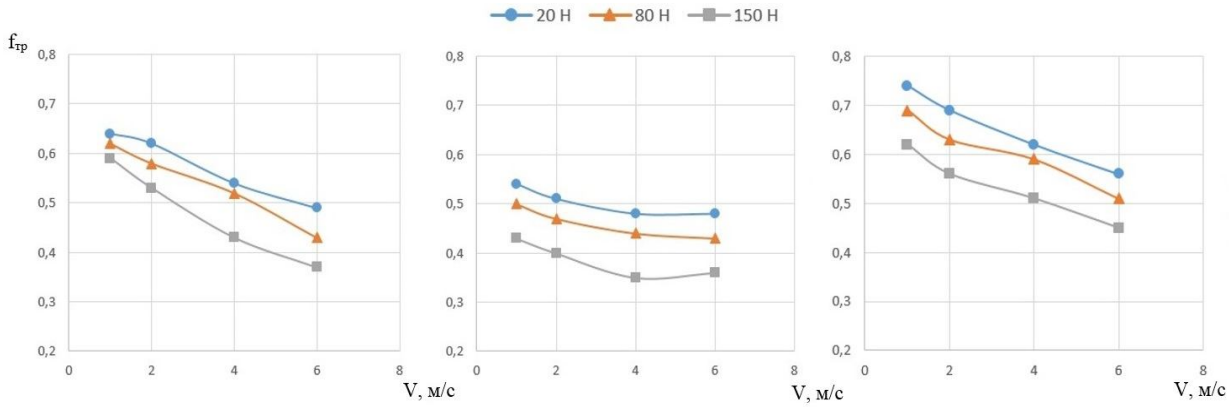


Рис. 1. Диаграммы сравнительного износа керамических покрытий, трение без смазочного материала по стали при нагрузке 80 Н, время испытаний 30 мин

Наибольшие значения коэффициента трения при всех скоростях скольжения зафиксированы при нагрузке 20 Н. Отмечена тенденция уменьшения коэффициента трения при повышении скорости относительного скольжения. Кроме того, коэффициент трения резко начинает снижаться с повышением нагрузки, особенно для покрытий Al_2O_3-B_4C.

Снижение коэффициента трения может быть объяснено тем, что рост температуры в зоне контакта по мере увеличения нагрузки и скорости скольжения способствует структурным и фазовым изменениям в поверхностны слоях. Установлено, что морфология поверхности трения покрытий Al_2O_3-B_4C представляет собой несплошные пленки вторичных структур, которые состоят из плоских элементов оксидов B_2O_3 толщиной от единиц до десятков миллиметров. На поверхности трения контртела образуются мелкие островки оксида железа Fe_3O_4, в основном в виде гладких участков, иногда рыхлых, полуразрушенных в процессе износа. Образование пленки дисперсных вторичных структур характерно для керамических материалов данного

состава [6]. Оксидные пленки предотвращают схватывание металла и керамики, а также облегчают относительный сдвиг контактирующих поверхностей. Разрушение в зоне контакта локализуются и не переходит в разрушение прилегающих слоев, что обеспечивает наибольшую износостойкость данных покрытий.



а) Al_2O_3-15SiC б) Al_2O_3-15TiC в) Al_2O_3-15B_4C

Рис. 2. Влияние приложенной нагрузки и скорости скольжения на коэффициент трения керамических покрытий

Покрытия Al_2O_3-SiC имеют коэффициент трения ниже, чем у Al_2O_3-B_4C во всем диапазоне скоростей и нагрузок. Однако, величина износа для данных образцов несколько выше, что объясняется иной спецификой протекания процесса. Поверхность трения гладкая, износ происходит по вершинам, во впадинах присутствуют мелкие включения Al_2O_3 и SiC. При увеличении нагрузки интенсификации износа не происходит, что объясняется высокой твёрдостью и прочностью покрытий. Мелкодисперсные включения карбида SiC в матрице покрытия из Al_2O_3 снижают хрупкость, препятствуют распространению трещин и выкрашиванию зерен.

Полученные результаты испытаний на износ при трении по стали указывают на высокие триботехнические свойства плазменных покрытий Al_2O_3-B_4C с содержанием карбида бора 10% и 15 % по массе, что объясняется образованием пленок вторичных дисперсных структур на поверхности трения, а также покрытий Al_2O_3-SiC с содержанием карбида кремния в количестве 10%, для которых характерно повышение прочности, снижение хрупкости при сохранении высокой микротвердости. Повышение износостойкости данных покрытий особенно проявляется при интенсификации изнашивания за счет увеличения относительной скорости скольжения.

Список литературы: 1. Кацура А. А., Семенов А. П. Высокотемпературное трение окисных керамик на основе корунда. – Наука, 1974. **2.** Rainforth W. M. The wear behaviour of oxide ceramics-A Review //Journal of materials science. – 2004. – Т. 39. – №. 22. – С. 6705–6721**. 3.** Гогоци Ю. Г., Ковальченко А. М., Косско И. А., Ярошенко В. П. Фрикционное взаимодействие керамики на основе неметаллических тугоплавких соединений со сталью//Трение и износ. – 1990.– 11, № 4.– С. 660–667. **4.** Эванс А. Г., Ленгедон Т. Г. Конструкционная керамика.– М.: Металлургия, 1980. – 255 с. **5.** Сачек Б. Я., Мезрин А. М., Зайцев А. Н. Экспериментальное исследование скоростной зависимости триботехнических характеристик некоторых плазменных оксидных покрытий при повышенных температурах//Трение и износ.– 2014.– Т.35.– № 3.– С. 267–275. **6.** Ткаченко Ю. Г., Варченко В. Т., Бритун В. Ф., Юрченко Д. З Влияние состава и структуры керамики B4C-Al2O3 на триботехнические характеристики при трении по стали //Порошковая металлургия.– 2005.– № 5/6.– С. 49–59.

КОРРЕКТРИРОВКА ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ВЫСШЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Джура С. Г., Чурсинов В. И, Якимишина В. В. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел/факс. +38 (062) 337-32-66; +38 (062) 304-12-78. E-mail: dzhura@roerich.com

Abstract: *On the basis of Gnostic knowledge and meta-sciences the analysis and synthesis of approaches to comprehension of the Truth in sociology, economy and philosophy is carried out. The prospects of use of methods of cross-disciplinary researches for achievement of ontologic prospects of creation of the Big Russian World in definition of a vector of development of a modern civilization and assessment of risks of the choice of a strategic course of evolution are shown.*
Keywords: *Gnostic knowledge, meta-sciences, ontology of the Big Russian World, strategic course of evolution, cross-disciplinary researches.*

Введение. Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ) трудится на острие битвы за Большой Русский Мир и именно здесь формируется новое мировоззрение, с которым тесно связано формирование идеологии Донецкой Народной Республики. Проблема состоит в том, что запрос мирового рынка труда – подготовка специалиста (бакалавра или магистра) без формирования идеологической направленности авторам не видится возможным. Нынешняя глобалистская тенденция старается сформировать обратное направление, готовя, по сути «винтик» или «гаечку» в мировую экономическую систему без мировоззренческого вектора и понятия о добре и зле (эволюции и инволюции). Такому подходу противостоит позиция как передовых мировых ученых, но, главное, ученых Российской Федерации [1].

Анализ проблемы. Для ДонНТУ ближе всего позиция и вектор развития ведущего технического вуза РФ – МГТУ им. Н. Э. Баумана. На конференции в Севастополе его много лет представлял ведущий ученый этого университета и ответственный за договор между ДонНТУ и МВТУ им. Н. Э. Баумана проф. Л. И. Волчкевич [2].

Его прекрасные и многогранные доклады всегда имели самую высокую оценку. Что он пытался довести? Это прежде всего:

1) Не рынок должен стать заказчиком главного «продукта» высшего образования, а государство.
2) Не «образовательные услуги», а образование от слова Образ.
3) Комбинация подходов, но акцент на государстве ибо целевая функция образования – это подготовка элиты государства и никак не иначе.

Аргументировал Леонид Иванович Волчкевич опытом своего вуза, который пытался удовлетворить рынок и даже ему (МГТУим.Н. Э. Баумана) не удалось это сделать силами своих преподавателей и им пришлось приглашать со стороны, но и, выпустив одну группу, МГТУ прекратил эти попытки и выработал для себя новую цель – подготовку именно элиты государства [2].

Авторы статьи полностью разделяют этот подход и хотели бы его расширить и показать перспективы его и аналогичные выводы, сделанные на электротехническом факультете ДонНТУ.

Аналогичность проблем в РФ и ДНР. Опыт преподавания различных дисциплин в ДонНТУ до гражданской войны показал, что элиты государства в ее высоком понимании в Украине нет как и запроса государства на формирование такой элиты. На одной из консультаций один из авторов статьи коснулся проблемы не верного курса Украины, на что получил ответ из студенческой среды, что преподаватель не верно видит курс государства, которое шло тогда по

националистическому курсу. Для авторов статьи это был очень серьезный удар, ибо с точки зрения чисто технических дисциплин к этому студенту не было никаких вопросов, но вот где он сейчас и не обстреливает ли свой родной город из разного вооружения – большой вопрос. То есть мы видим на лицо неверный курс и целевую функцию образования в Украине. Мы не молчали об этом и в то время [3,4].

Замечательно, что Донбасс уже сделал свой выбор и это уже Донецкая Народная Республика и полностью ориентирована во всех смыслах (в том числе и образовательном) на Большой Русский Мир, частью которого она является. В ДонНТУ сразу начали внедряться стандарты РФ, а именно «Государственный образовательный стандарт», в котором четко выделены:

1) Общекультурные компетенции;
2) Общепрофессиональные компетенции;
3) Профессиональные компетенции.

К первой категории относятся не только гуманитарные дисциплины, но и специальные, ибо мы полагаем, что на занятиях по этим дисциплинам обязательно нужно уделять внимание в первую очередь именно общекультурным компетенциям, ибо отсутствие их (даже в качестве постановки задачи) приводит к тому, что сейчас произошло на Украине.

Постановка задачи. К какому классу современных задач следует отнести педагогическую задачу? Мы полагаем, что это прерогатива задач оптимизации. Почему именно оптимизации? Потому что любой объект проектирования, да и сам процесс проектирования инженер старается провести оптимально. Любой человек старается прожить жизнь оптимально и оптимально в каждом ее аспекте (по сути, являясь архитектором и главным режиссером своей жизни). Для этого нужно правильно поставить эту задачу (то есть правильно выбрать целевую функцию своей жизни). Ибо, как известно, для корабля, не знающего своей цели любой путь неверный. Из технических дисциплин известно, что постановка любой задачи оптимизации содержит две составляющие: целевую функцию и ограничения. Решение состоит в поиске экстремума целевой функции (того, что желает получить исследователь) в границах ограничений. Это может быть, например, минимум стоимости и потребляемой мощности – обычный критерий для технических объектов или же максимум эксплуатационной надежности. Схематично это выражено на рис.4, где для примера показан поиск оптимального сечения кабеля. Здесь: С-стоимость кабеля, П-потери в кабеле. В постановку классической задачи оптимизации входит:
1) ЦФ: F (С, П) => min / max
2) ОГР: С1<С <С2, П1<П <П2, …

Оптимальное значение сечения кабеля соответствует минимуму потерь в кабеле и самой стоимости кабеля. Это типовая задача, которую мы решаем постоянно, не называя ее таковой и не проводя классификацию. Посмотрите сами, например, все мы едем на работу. И путь стараемся выбрать оптимально. Наш подход также отражает приведенный рисунок. На этом же графике «С» – стоимость проезда в разном транспорте, а «П» - пусть будет время проезда. Чем выше стоимость, тем ниже время. В границах ограничений (это в нашем случае бюджет поездки и технические возможности, которыми можем воспользоваться) ищем решение. Обычно это нечто среднее (золотая середина) и фактически компромисс между стоимостью и временем в нашем случае. Поскольку общей теории оптимизации не разработано, а есть более 700 методов оптимизации и несколько частных теорий оптимизации, то данное направление ждет своих исследователей. Авторам особенно близок один из методов решения задач оптимизации – золотого сечения, поскольку он особенно хорошо стыкуется с гуманитарными дисциплинами и основан на трансцендентном числе.

Однако мета-знание и здесь дает намек на решение и поиск общей теории оптимизации.

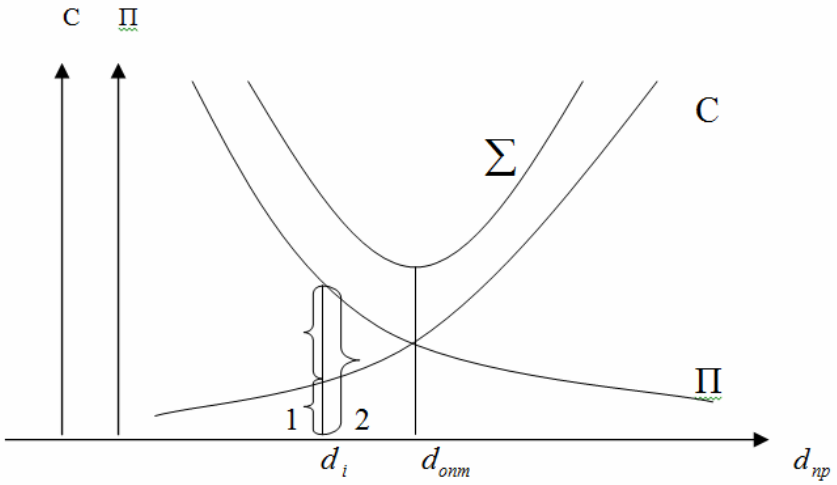


Рис. 1. Решение задачи оптимизации.

Решение задачи. Мы уже делали доклад в Государственном Эрмитаже РФ на тему выбора вектора развития общества в ДНР (Новороссии) [4] где показали, что помимо ракетно-ядерного щита государству обязательно нужен духовно нравственный щит. Отсутствие такого щита на Украине по нашему мнению и дало такой результат, ибо культурные компетенции отвечают за культуру будущего специалиста в целом, которая в свою очередь является иммунной системой общества. И здесь образование играет ключевую роль [5]. Постараемся обобщить указанное явление, чтобы получить голографическую картину в динамике**.**

Обощение решения задачи. Как известно, правильная постановка вопроса дает уже 50 процентов успеха. Современные докторские диссертации /6/ представляют такую схему постижения Истины поиск которой и есть задача ученого (рис. 2). Здесь не указана сама Истина, ибо она не изображаема, поскольку она является аналогом Бога в религиозной системе координат, а Сократ при подходе к этому понятию замолкал, дабы своими высказываниями не осквернить его.

Рис. 2. Схема этапов понимания в когнитивных науках.

Здесь можно сослаться на Спинозу о том, что «слова затемняют смысл» (как слово как модель явления сама является лишь упрощенным представлением реальности и поэтому «затемняет смысл» ибо есть потери в отражении и выражении этой самой реальности, а в нашем случае Истины).

Как сказано в мета-знании: «Высшее Сознание знает Истину, и Мы готовы оповестить эту Истину человечеству, но для этого человечество должно стать на высшую ступень. 9.10.1929» /7/. То есть здесь указан путь постижения этой самой Итины в совершенствовании себя, чтобы стать достойным этой Итины. Подтверждением это мысли является: «Явление высшей Истины можно дать только чистым сердцам и чутким духам. 20.01.1930» /7/. И здесь мы надеемся приблизиться к выполнению задачи Учителей Человечества: «**Главное задание человечеству – соединить материальный мир с духовным**» /7/. Выполнению этой задачи авторы посвятили свой труд «Этические алгоритмы мироздания» /6/, который передан в основные библиотеки РФ.

Выводы. Полагаем, что вектор образования и его целевая функция должны быть ориентированы прежде всего на формирования элиты государства, без которой построит страну не возможно. Главной движущей силой этого процесса являются дисциплины гуманитарные, но и в общетехнических дисциплинах нужен такой подход преподавать как общекультурную компетенцию, наряду с передачей общетехнических и технических компетенций. Обязательно на занятиях нужно уделать время именно общекультурным вопросам прошлого и будущего страны. Тогда не нужно будет восстанавливать ее из руин, как это предстоит Украине. Результаты социологических исследования по РФ не утешительны в этом смысле [8].

Советом Ректоров ДНР принято обобщить опыт дополнительного гуманитарного образования и рассмотреть возможность создания Института Культуры ДонНТУ на базе вузов ДНР [9]. Отчеты по годам можно посмотреть здесь [10]. Приглашаем к сотрудничеству по этому вопросу.

Список литературы: 1. Волчкевич Л. И. Отсечка контингента (о драматических последствиях тотальной болонизации российских технических вузов) // Независимая газета. Приложения. 23 марта 2011 г. — Режим доступа: http://www.ng.ru 2. Волчкевич Л. И., Волчкевич И. Л. Кредо бауманской научно-педагогической школы // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. - 2007. – № 4. – С. 109–115. **3.** Джура С. Г. Мы эмигратны в собственной стране // Вечерний Донецк, 17.04.2009. – Режим доступа: http://iic.roerich.com/russian/ovs/we.jpg **3.** Джура С. Г. Открытое письмо к согражданам // Журнал «Дельфис» №2(78), 2014. – Режим доступа: http://www.delphis.ru/journal/article/otkrytoe-pismo-sograzhdanam **4.** Джура С. Г., Чурсинов В. И., Якимишина В. В. Культура как иммунная система общества // Материалы международной конференции института культуры СПб. Режим доступа: https://roerich.com/spb_2016.pdf **5.** Джура С. Г., Чурсинов В. И., Якимишина В. В. Пакт Рериха в Новороссии. Выступление в Государственном Эрмитаже РФ. – Режим доступа: https://vimeo.com/142260205 **6.** Джура С. Г. Этические алгоритмы мироздания. – Saarbruken: Изд. дом LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 660 с. Режим доступа: http://www.roerich.com/zip3/dzhura_books.zip **7.** Грани Агни Йоги. Т.12. 1971 г. 100. (Фев. 15). Режим доступа: http://www.roerich.com/zip/grani_12.zip **8.** Джура С. Г. Культурная катастрофа или духовный Чернобыль (о манипуляции сознанием молодежи и не только). Режим доступа: http://iic.roerich.com/russian/ovs/duch_chernobil.pdf **9.** Институт культуры ДонНТУ. – Режим доступа: http://www.roerich.com[n_m_.htm **10.** Джура С. Г. Выступление на Совете Ректоров ДНР. – Режим доступа: https://vimeo.com/157705387

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО БЖД

Друзь О. Н., Житная С. В. *(ЛНУ им. В.Даля г. Луганск, ЛНР)*
Тел. 0506101139; e-mail: bgd.ot.dahl@yandex/ru

Abstract: *In this article methodology of realization of laboratory work is considered with filling the nospread function of accounting.*
Keywords: *laboratory work, protection and safety of vital functions, protocol, evaluation calculation.*

Дисциплины цикла безопасности в ЛНР претерпевают реформы связанные с интеграцией в образовательные стандарты РФ [1]. Новыми учебными планами предусмотрено проведение семи лабораторных работ, при этом общее количество учебных часов снизилось со 180 до 72. В связи с чем, проводить лабораторные работы с творческими заданиями стало невозможно. Сокращение времени занятий требует более сжатого изложения материала и ускоренного темпа проведения занятий, что в целом негативно сказывается на образовании студентов.

Выход из сложившейся ситуации авторы видят в проведении лабораторных работ в форме специального протокола (рис. 1) выполнения лабораторной работы.

Методику проведения лабораторных работ рассмотрим на примере занятия по теме «Исследование и оценка производственного шума». Занятие начинается с переклички и разбиения студенческой группы на подгруппы (5 минут); опрос студентов на соответствие уровня подготовленности к проведению измерений (10 минут); проведение измерений под руководством преподавателя с помощью прибора «Шумомера» (15 минут) с занесением данных в протокол; получение задания на проведение оценочного расчета (15 минут); перемена (5 минут); проведение оценочных расчетов с формированием выводов (25 минут); защита индивидуальных протоколов с выставлением в журнал итоговой оценки по лабораторной работе (20 минут).

Выводы: проведение лабораторных работ с итоговым отчетом в форме специального протокола позволяет более интенсивно провести занятия, предусмотренные учебным планом.

Протокол лабораторной работы

от "_____"_____20____г.

Тема: «Исследование и оценка производственного шума»

Ф.И.О._____ Группа_____ Вариант №____

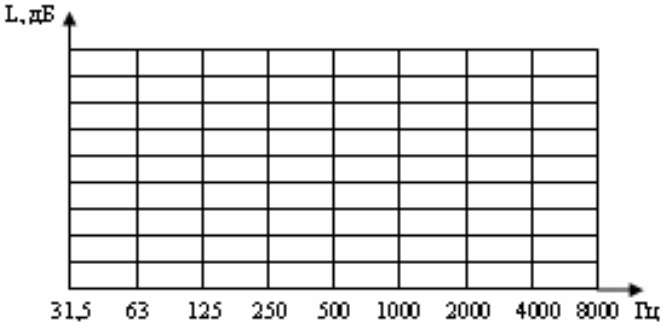
Исходные данные:

1. Вид трудовой деятельности: _____;
2. Рабочее место: _____;
3. Предельный спектр: _____;
4. Источник шума: _____.

Результаты измерений и расчетов уровней шума на рабочем месте.

ПАРАМЕТРЫ	Обозначение	Среднегеометрические частоты (f), Гц									дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Исследуемый спектр	$L_и$										
2. Предельный спектр (заданный)	$L_з$										
3. Поправка на тональность шума	ΔL_1										
4. Поправка на источник шума	ΔL_2										
5. Предельный корректир. спектр	$L_к$										

График спектров шума



Вывод:_____

_____

_____

_____

_____

_____

Работу выполнил:_____ Работу принял:_____

Рис. 1. Бланк протокола для выполнения лабораторной работы

Список литературы: 1. Сало В. И., Медяник В. А., Друзь О. Н. Актуальные вопросы интеграции дисциплин цикла безопасности в образовательные стандарты РФ. // Актуальные вопросы эффективности управления безопасностью труда [текст] : тезисы докладов. Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы эффективности управления безопасностью труда» 26 апреля 2017 г., г. Луганск. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2017. – С. 24-30.

КОМПЛЕКСНОЕ УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ВЫСОКОХРОМИСТОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ПП-20Х14М2Б

Еремин Е. Н., Лосев А. С., Бородихин С. А., Маталасова А. Е., Пономарев И. А., Филиппов М. Ю., Маркин А. А. *(ОмГТУ, г. Омск, Россия)*
Тел./Факс: +7 (3812) 652579; E-mail: weld_techn@mail.ru

Abstract: *Leakage of valves leads to an explosive hazard, as well as business losses. To improve the operational reliability of valves in the practice of using various methods of surface hardening, the main of which is surfacing, are used. For this purpose, a new composition of the cored wire was developed, that provides reception high-chromium steel weld metal alloying system Fe-C-Cr-Mo-Nb. The proposed cored wire provides a comprehensive strengthening of the weld metal due to the formation in the martensitic structure not only chromium carbide, niobium and molybdenum but also intermetallic phases such as Laves that provide this metal high wear resistance under abrasive wear and perception static pressure with high contact load. The results of field trials have shown a significant increase in the service life of valves of pipelines.*

Keywords: *stop valve; overlaying; flux-cored wire; structure; hardness; wear resistance.*

Проблема повышения межремонтного ресурса работы уплотнительных поверхностей запорной арматуры становится особенно актуальной, поскольку выход ее из строя существенно влияет на работоспособность и безопасную эксплуатацию трубопроводов в целом. Контактные поверхности запорной арматуры эксплуатируются в агрессивных средах и в условиях абразивного износа. В связи с этим появляется необходимость восстановления изнашивающихся деталей и узлов арматуры наплавкой износо- и коррозионностойкими материалами [1].

Применение импортных проволок, например, проволоки Castolin Eutectic Endotec DO*04, обеспечивает высокое качество получаемого наплавленного металла. Но стоимость этих материалов резко увеличивает затраты на восстановительный ремонт. Поэтому встает вопрос о замене импортных сварочных материалов на отечественные.

В связи с этим, была проведена работа по изысканию нового наплавочного материала для упрочнения контактных поверхностей трубопроводной арматуры. Для сравнительных испытаний были выбраны рекомендуемые для этого высокохромистые стали 20Х13; 13Х25Т, 10Х17Н9С5ГТ (ПП-АН133), полученные стандартными проволоками [2], и сплав, полученный наплавкой, разработанной порошковой проволокой ПП-20Х14М2Б [3]. Химический состав и твердость наплавленного металла, полученного исследуемыми материалами, приведены в табл.1.

Таблица 1 – Химический состав (в %) и твердость наплавленного металла

C	Mn	Si	Cr	Ti	Ni	Mo	Nb	S	P	Твердость HRC
проволока Св-20Х13										
0,14	0,56	0,38	12,18	–	–	–	–	0,027	0,023	40-42
проволока Св-13Х25Т										
0,11	0,71	0,54	22,49	0,21	–	–	–	0,022	0,018	22-28
проволока ПП-АН133										
0,10	1,44	5,62	17,71	0,14	8,47	–	–	0,031	0,024	28-34
проволока ПП-20Х14М2Б										
0,18	0,44	0,27	14,2	–	–	1,86	1,25	0,024	0,021	52-54

Наплавка выбранными проволоками осуществлялась автоматом АДГ-502 на образцы

из стали 20 размером 50 ? 200 ? 10 мм.

Исследование износостойкости наплавленного металла проводили на машине трения ИИ 5018 при сухом трении по схеме «диск – колодка» (материал диска – сталь У7, твердость 63 HRC; сила действующая на образец 600 Н, скорость вращения диска 0,26 м/с). Количественный износ оценивали по изменению массы образца с помощью аналитических весов с погрешностью 0,5 мг. Топографию поверхностей образцов после испытания на износостойкость исследовали с помощью оптического интерферометра Zygo NewVieW TM 7300.

Металлографические исследования наплавленного металла проводили на оптическом микроскопе Carl Zeiss AxioObserver A1m. Микроструктура выявлялась химическим травлением в реактиве состава: $CuSO_4$ – 4 г; HCl – 20 мл; H_2O – 20 мл. Электронно-микроскопические исследования осуществляли на фольгах с использованием просвечивающего электронного микроскопа JEM-2100 «JEOL» с энергодисперсионным анализатором Inca-250. Дюрометрические испытания проводили с помощью твердомера ТК-2.

Проведенные исследования износостойкости при сухом трении металла о металл показали, что износ металла полученного порошковой проволокой ПП-20Х14М2Б составляют 58±2 мг. При этом износ данного металла меньше износа металла полученного проволокой Св-20Х13 в 8,4 раза, проволоки Св-13Х25Т в 13,5 раз и порошковой проволоки ПП-АН133 в 7 раз (рис. 1).

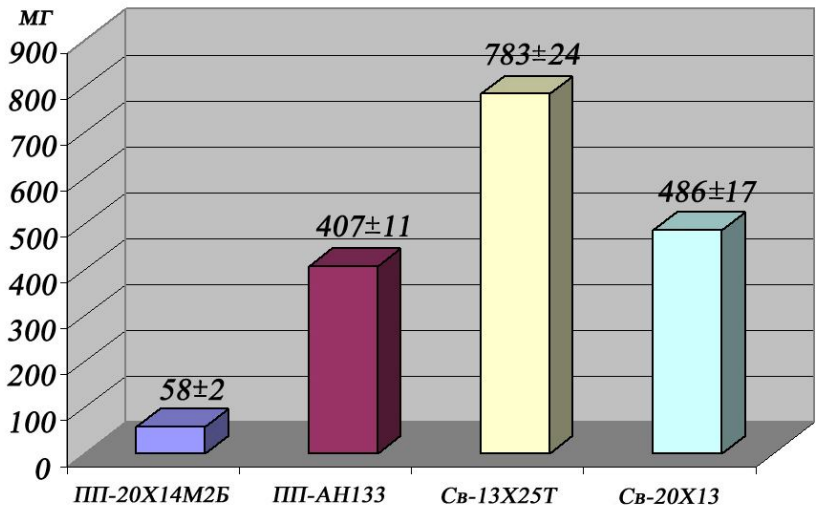
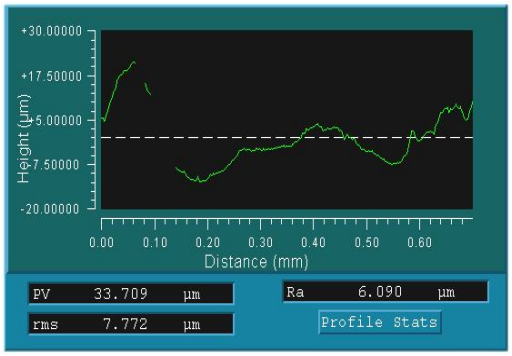


Рис. 1. Износ наплавленного металла при сухом трении металла о металл

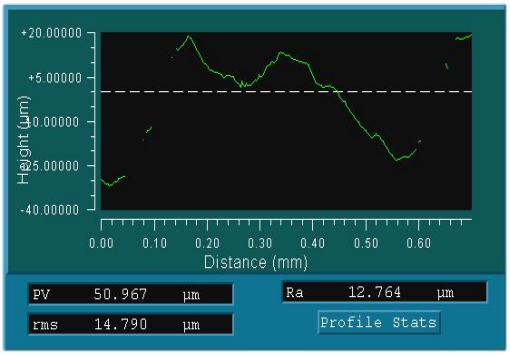
Изучение топографии поверхностей образцов после испытания показало, что преобладающий вид их изнашивания – абразивный. Отличительной чертой профилограмм изношенной поверхности образцов из металла, полученного порошковой проволокой ПП-20Х14М2Б, является наименьшее значение среднеквадратичной величины шероховатости –1,520 мкм (rms), что меньше по сравнению с другими образцами, полученными исследуемыми наплавочными материалами в 5, 10 и 5 раз соответственно (рис. 2).

Для выявления причин различия значений сопротивляемости образованию задиров и износостойкости наплавленного металла, полученного исследуемыми материалами, проведены металлографические исследования.

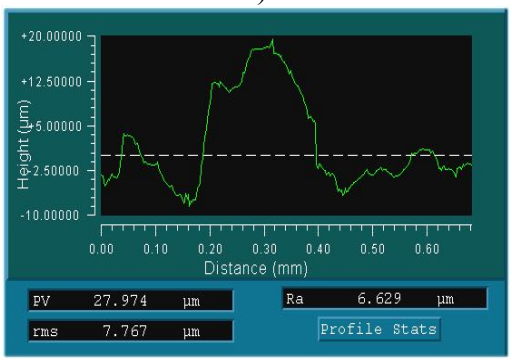
Они показали, что структура металла, полученного проволокой Св-13Х25Т представляет собой ферритную структуру (рис. 3, а). Данная структура обладает не высокой твердостью, что и определяет низкие показатели износостойкости.



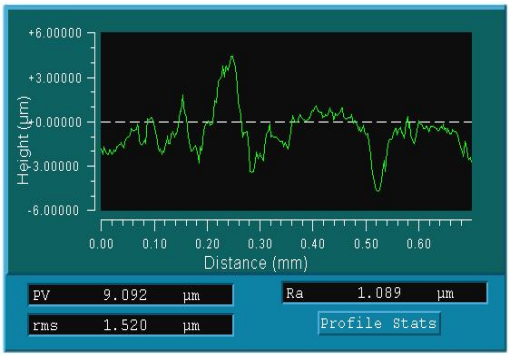
а)



б)

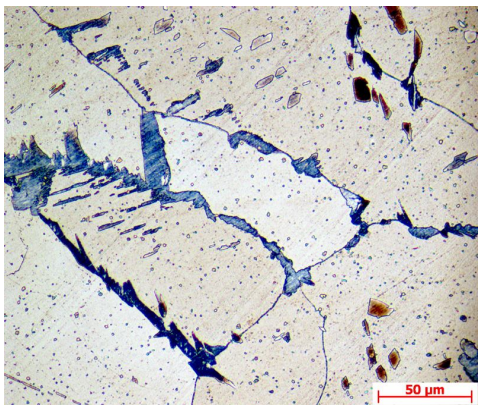


в)

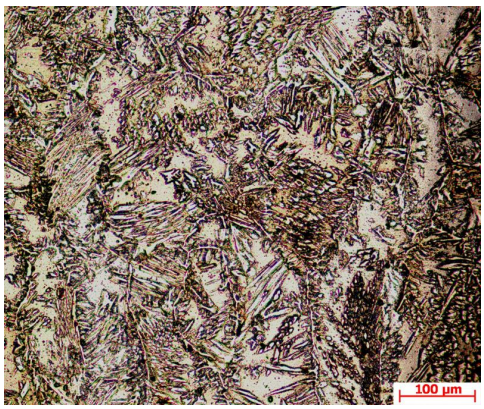


г)

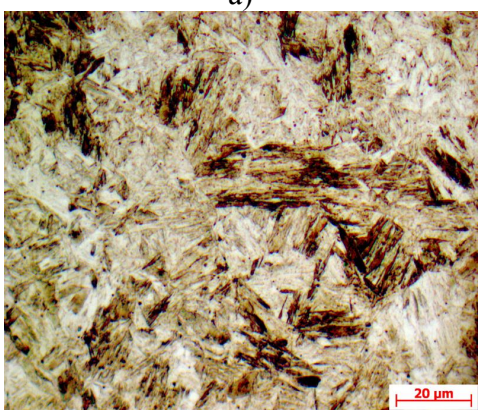
Рис. 2. Профилограммы изношенных поверхностей наплавленного металла проволоками Св-20Х13 (а); Св-13Х25Т (б); ПП-АН133 (в); ПП-20Х14М2Б (г)



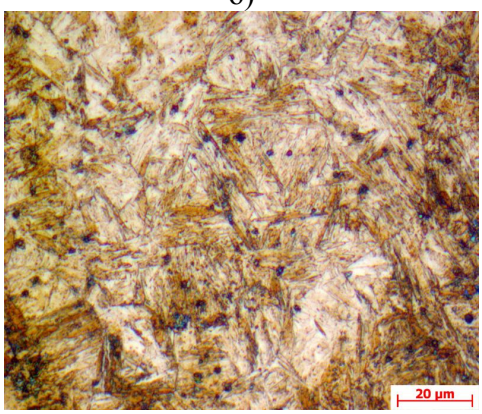
а)



б)



в)

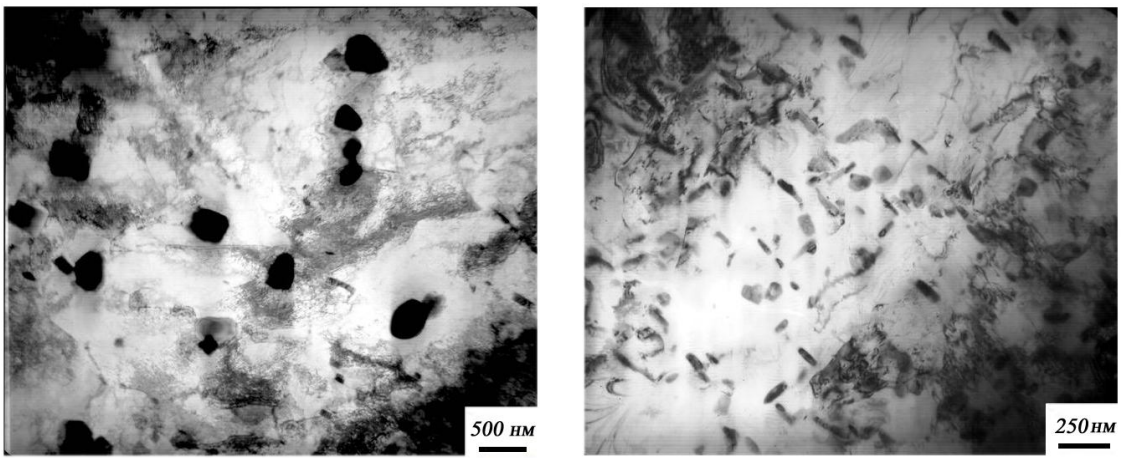


г)

Рис. 3. Микроструктура наплавленного металла проволоками Св-13Х25Т (а); ПП-АН133 (б); Св-20Х13 (в) и ПП-20Х14М2Б (г)

Металл, полученный порошковой проволокой ПП-АН133, имеет ферритную структуру с небольшим количеством аустенита, а внутри и по границам зерен присутствует большое количество силицидов (рис. 3, б). Такое структурное состояние данного металла обуславливает повышение износостойкости по сравнению с наплавленным металлом, полученным проволокой Св-13Х25Т.

Наплавленный металл, полученный проволокой Св-20Х13 и порошковой проволокой ПП-20Х14М2Б, имеет структуру высокохромистого мартенсита (рис. 3, в, г). Введение в состав новой порошковой проволоки ферониобия обеспечивает получение карбидов ниобия в процессе расплавления и кристаллизации наплавленного металла (рис. 4, а). Карбиды ниобия, равномерно распределенные в матрице нового типа наплавленного металла, обеспечивают ему высокую износостойкость в условиях абразивного изнашивания и высокого статического давления. Кроме того, ниобий обеспечивает стойкость наплавленного металла к межкристаллитной коррозии в состоянии после наплавки.



а) б)

Рис. 4. Тонкая структура наплавленного металла проволокой ПП-20Х14М2Б: выделение карбидов (а); интерметаллидные фазы (б)

Молибден введен в порошковую проволоку для повышения твердости и прочности, поскольку основной упрочняющей фазой для данного металла, наряду с карбидами является фаза Лавеса типа Fe_2Mo (рис. 4, б). Молибден также является поверхностно-активным элементом по отношению к железу, препятствует выделению карбидов и интерметаллидов по границам зерен, что, в свою очередь, повышает прочность и пластичность наплавленного металла.

Таким образом, высокую износостойкость металла, наплавленного разработанной порошковой проволокой можно объяснить комплексным упрочнением мартенситной матрицы карбидами NbC и интерметаллидными фазами типа Fe_2Mo. Результаты производственных испытаний показали, что ресурс работы запорной арматуры, наплавленной проволокой ПП-20Х14М2Б по сравнению с ранее использовавшейся проволокой Св-20Х13 повышается в 2-3,5 раза.

Исследования выполнены при финансовой поддержке грантов РФФИ №16-48-550523 р_а и РНФ № 17-19-01224.

Список литературы: 1. Степин В. С. Современные наплавочные материалы для уплотнительных поверхностей арматуры АЭС и ТЭС / В. С. Степин [и др.] // Арматуростроение. – 2006. – №2. – С. 55–56. **2.** Еремин А. Е. Структура и свойства высокохромистого металла запорной арматуры наплавленного серийно выпускаемыми сварочными проволоками / А. Е. Еремин, Е. Н. Еремин, Ю. О. Филиппов [и др.] // Омский научный вестник. – 2014. – №1 (127). – С. 55–58. **3.** Еремин Е. Н. Порошковая проволока. Патент RU 2356715 / Е. Н. Еремин, А. Е. Еремин, Ю. О. Филиппов, А. С. Лосев // Б.И. 2009. – №15. – 6 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРЕХНОЖЕВЫХ РЕЗАЛЬНЫХ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИН

Ерицян Л. В., Арутюнян М. Г. *(НПУА, Ереван, Армения)*
Tel.: +374 10 520-348; E-mail: mharut@seua.am, Yeritsyan.lil@gmail.com

***Abstract**: The stady of three knife trimmer and kinematic analysis of its front and lateral knife drive mechanisms show that the use of the high frequency vibrators along to improve of the technical parameters of the machine. The use of vibrations during the incision dwindles minimizes the friction force, cutting force and deformation of paper sheets, this brings to the higher cutting accuracy as well as smaller power required for cutting and reduces energy consumption.*

***Keywords:** three knife trimmer, kinematic analysis, high frequency vibrator.*

Введение. Послепечатный процесс является важной и трудоемкой частью производства полиграфической продукции [1-3]. С развитием рынка полиграфической продукции меняются требования предъявляемые к послепечатному оборудованию [1, 9]. Часто обрезка бумагорезальной машиной является последним этапом обработки полиграфической продукции и обеспечивает товарный вид изделия. Поэтому, точность резки является важным параметром для бумагорезальной машины [4].

Предметом исследования являются механизмы трехножевых резальных полиграфических машин и технология резания. Технологическая схема резальной машины [6] приведена на рис.1. Обрезка блока (4) с трех сторон осуществляется в одной позиции. На блок опускается прижим (3), последовательно опускаются боковые (2) и передний (1) ножи, которые обрезают блок с трех сторон. После подъема прижима (3) блок выводится на приемный транспортер.

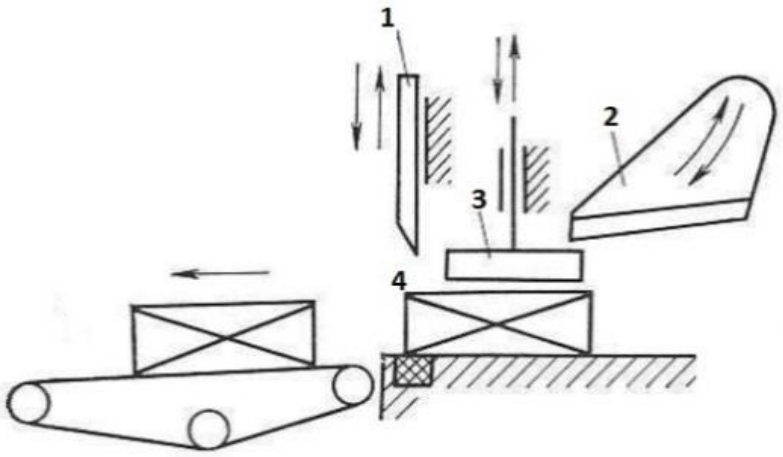


Рис.1. Технологическая схема трехножевой резальной полиграфической машины

Кинематический анализ приводного механизма ножей трехножевых резальных машин. Конструкция приводного механизма ножей должна обеспечивать необходимую последовательность и траекторию движения переднего и боковых ножей.

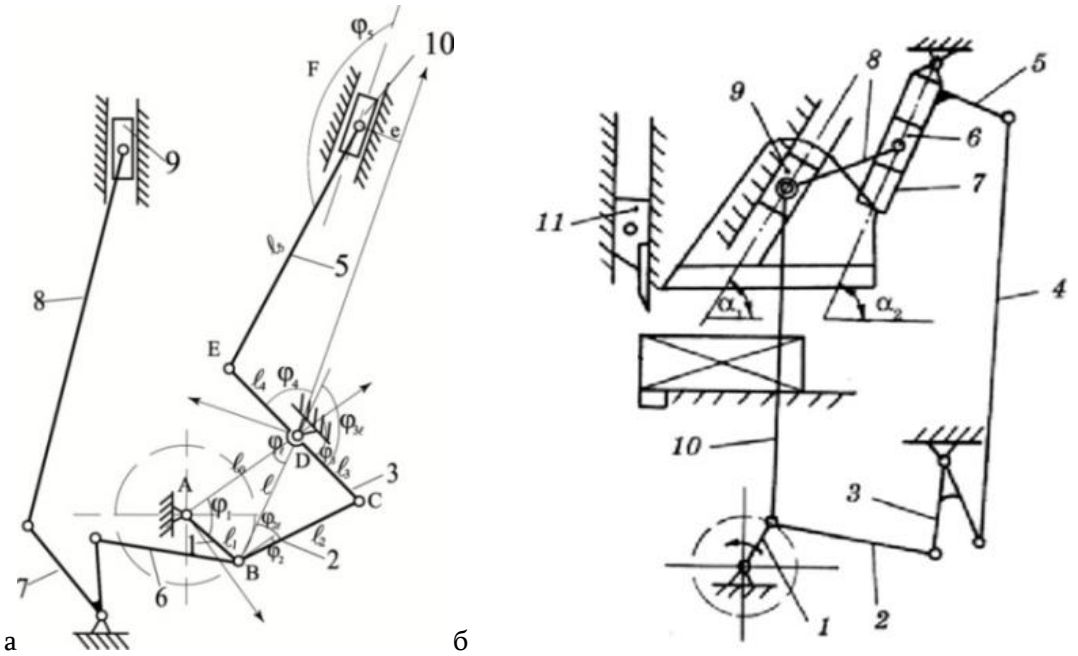


Рис.2. Механизмы привода переднего и боковых ножей

На рис.2. приведены механизмы боковых ножей (рис.2,б) и привода переднего и боковых ножей (рис.2,а) [6]. Ниже представлены основные соотношения для кинематического анализа механизма (см. рис.2,а) привода переднего и боковых ножей.

$$l_1\cos\varphi_1 + l\cos\varphi_1 = l_0, \qquad l_1\sin\varphi_1 + l\sin\varphi_1 = 0,$$

$$l_2^2 = l_3^2 + l^2 + 2l_3 l\cos\varphi_{3l}, \qquad l_3^2 = l_2^2 + l^2 + 2l_2 l\cos\varphi_{2l},$$

$$\varphi_3 = \frac{\arccos\left(l_2^2 - l_3^2 - l^2\right)}{2l_3 l} + \frac{\arctan(l_1\sin\varphi_1)}{l_1\cos\varphi_1 - l_0}, \quad \dot{\varphi}_3 = \frac{d\varphi_3}{d\varphi_1}\omega_1,\ \ddot{\varphi}_3 = \frac{d^2\varphi_3}{d\varphi_1^2}\omega_1^2$$

$$l_4\cos\varphi_4 + l_5\cos\varphi_5 = X_F, \qquad y_F = l_4\sin\varphi_4 + l_5\sin\varphi_5 - e = 0,$$

$$X_F = l_4\cos\varphi_4 + l_5\sqrt{1 - \left(\frac{e - \sin\varphi_4}{l_5}\right)^2}, \quad \dot{X}_F = \frac{dX_F}{d\varphi_4}\omega_1, \quad \ddot{X}_F = \frac{d^2X_F}{d\varphi_4^2}\omega_1^2.$$

Анализ процесса резания и проектирование ножей с высокочастотными вибраторами. В процессе резания (рис.3) на нож действуют одновременно сопротивление бумаги (Рв), сопротивление кромок обрезанных листов (T, S) и трение кромок обрезанных листов (N, F).

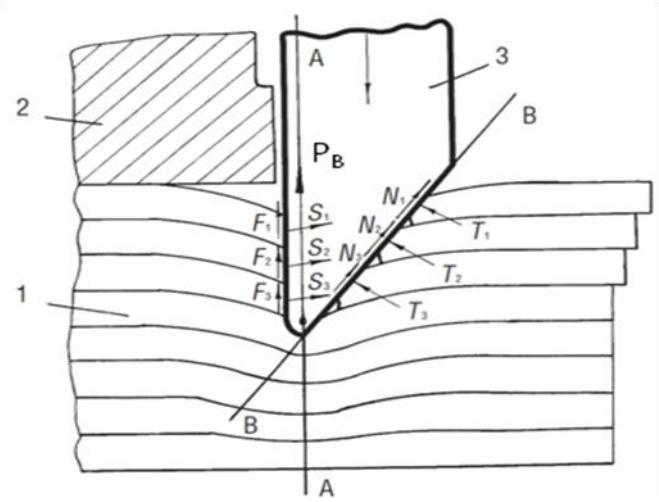


Рис.3. Процесс резания блока и действующие в контакте силы

При резке бумажного блока (1) нож (3) двигается вертикально вниз и в зоне контакта кромки ножа с листом возникают большие нормальные напряжения, вызывающие разрушение волокон бумаги. После резки прогнутые части листов пытаются выпрямиться и в зоне контакта возникают силы трения, которые создают давление на поверхности ножа. Равнодействующая сила суммарного сопротивления принимается за силу резания. Для расчета силы резания применяют формулугде p - погонное усилие резания, зависящее в основном от вида материала и остроты ножа, n - коэффициент, учитывающий возможное затупление ножа, L -ширина бумажного блока [5].

Эффективным способом снижения сил трения в зоне контакта ножа с бумажной стопой может послужить вибрация соприкасающихся поверхностей с применением высокочастотных вибраторов [8].

Коэффициент эффективности воздействия вибраций на трение (рис.4.) в зоне контакта рассчитывается формулой,, гдеи - коэффициенты трения без наложения и с наложенными вибрациями.

Применение высокочастотного вибратора позволит уменьшить силы трения, которые возникают при резании [7,8].

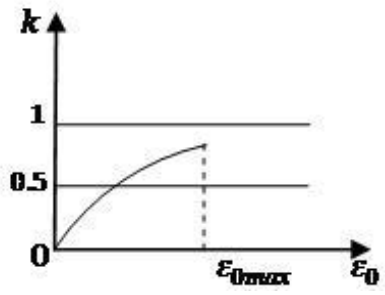


Рис.4. Зависимость коэффициента эффективности от амплитуды вибраций

Нами предложена схема резания (рис.5.), где вибраторы (4) прикреплены к поверхности ножа (3) и электрически подключены к блоку генератора высокочастотных вибраций и системе управления (5, 6, 7). Уменьшение сил трения приводит к снижению силы сопротивления в целом, а также, при этом уменьшается

деформация листов бумаги (1) от воздействия ножа. В результате уменьшается сила, необходимая для резки блока.

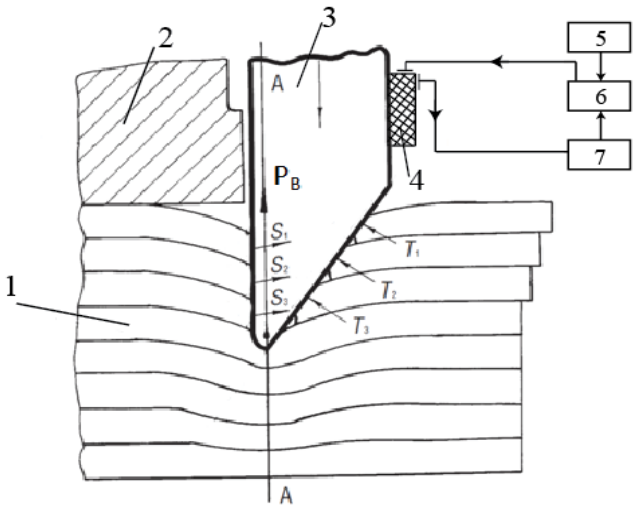
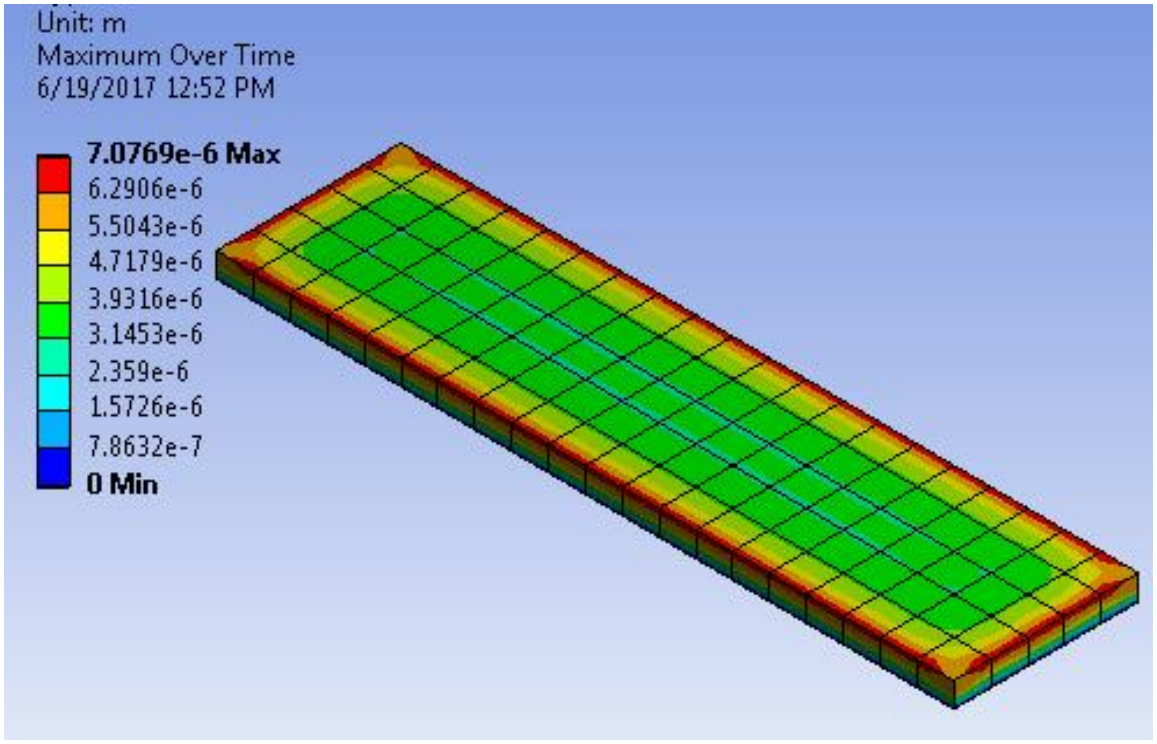


Рис.5. Процесс резания блока с применением высокочастотного вибратора

Моделирование динамики процесса резания с применением высокочастотных вибропреобразователей реализовано в компьютерной среде ***ANSYS***.

Результаты компьютерного моделирования высокочастотного вибратора приведены на рис.6а, а ножа с прикрепленными на нем вибраторами - на рис.6б, где показаны деформации ножа, возникающие в результате применения вибратора, при этом имеют место уменьшение сил трения в 5 раз и силы резания на 20%.

Описание и анализ системы: нож – прижим – бумажный блок, и полученные характеристики будут представлены в последующих публикациях.



а)

б)

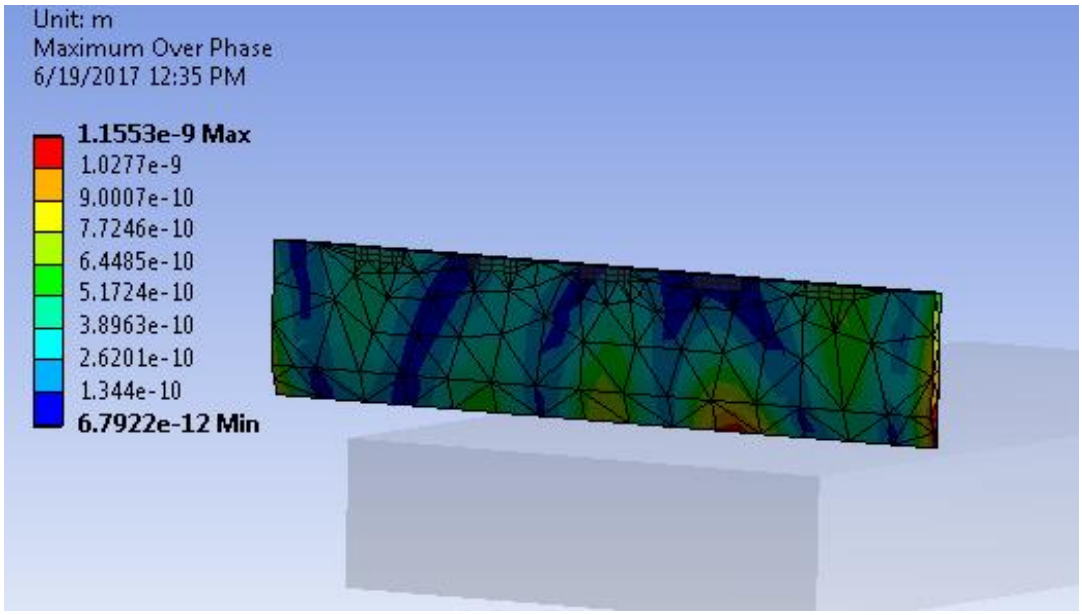


Рис.6. Деформации вибропреобразователя (а) и ножа (б) при применении вибраций

Выводы. Исследование механизмов трехножевых резальных полиграфических машин, кинематический анализ механизмов привода переднего и боковых ножей, применение высокочастотных вибропреобразователей обеспечивают улучшение технических параметров резальных машин: при резке уменьшаются силы трения в точке контакта, усилие резания и деформация листов бумаги, что приводит к повышению точности резки. Как следствие уменьшаются также необходимая мощность привода машин и энергозатраты.

Список литературы: **1.** Бобров В. И., Куликов Г. Б., Одинокова Е. В. Послепечатное оборудование. – М. : МГУП, 2000. – 132 с. **2.** Токмаков Б. В. Разработка и проектирование механизмов ножей скоростных резальных машин. – М. : МПИ, 2000. – 235 с. **3.** Пергамент Д. А. Переплетно-брошюровочное оборудование. М.: МПИ,1990. – 452 с. **4.** Вириченко А. И. Сивогорлый А. А. Брошюровочно-переплетное оборудование. М.: БГТУ, 2003. – 216 с. **5.** Хведчин Ю. И. Послепечатное оборудование. Часть I: Брошюровочное оборудование: Учебн. пособие. – М.: МГУП, 2003.– 465 с. **6.** Хведчин Ю. И. Послепечатное оборудование. Часть II: Переплетное и отделочное оборудование: Учебн.пособие. – М.: МГУП, 2009. – 452 с. **7.** Бансявичус Р. Ю., Бубулис А. К., Волченкова Р. А., Курило Р. Э., Рагульскис К. М. Вибрационные преобразователи движения. – М.: Машиностроение,1984. – 64 с. **8.** Рагульскис К. М., Банявичюс Р. Ю. Вибродвигатели. – В.:Мокслас, 1981. – 193 с. **9.** Куликов Г. Б. Конструирование и расчет брошюровочно-переплетного оборудования: Учебное пособие. М.: МГУП. 2003. – 77 с.

ВЛИЯНИЕ КРИОМЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ СПЛАВА В-9

Ермишкин В. А, Соловьева Ю. Б., Минина Н. А., Кулагин С. П., Томенко А. К.
(ИМЕТ РАН, Москва, Россия)
Тел./факс: +7(499)1359668/+7(499) 1358680 eva@imet.ac.ru; minina1951@rambler.ru

Abstract: *The purpose of the study was to test the possibility of increasing the crack resistance of a high-strength aluminum alloy B95 (7075) by using a combination of previously developed cryomechanical processing and coating techniques capable of stimulating the formation of finely dispersed precipitates based on aluminum compounds and coating metal. Crack resistance estimates were obtained both on the basis of linear fracture mechanics approaches and from photometric analysis of structural images. The obtained results showed that the combination of cryomechanical processing and coating with titanium, 30 μm thick, was most effective for a significant increase in crack resistance (more than 2 times compared to the material in the initial state).*

Введение. Проблема разработки упрочняющих технологий металлических материалов является одной из наиболее важной в современном физическом металловедении. Необходимость в таких технологиях с особой остротой ощущается в авиастроении. Оценки теоретической прочности металлических материалов, сделанные Френкелем и Маккензи [1], показывают большие расхождения с уровнем их реальных значений технической прочности, даже полученных по самым современным металлургическим технологиям. И это несмотря на то, что эти технологии основаны на использовании сразу нескольких механизмов упрочнения: легирования химическими элементами, дающими эффекты как твердорастворного и дисперсионного упрочнения, различные термические обработки и деформацию в широком интервале температур. Это обстоятельство показывает, что надежды на существенное повышение механических свойств материалов следует связывать с применением комбинации традиционных упрочняющих обработок, но с применением экстремальных режимов. Следует отметить, что для применения высокопрочных материалов существует естественное ограничение, связанное с повышением вероятности хрупкого разрушения по мере того, как повышается запас внутренней энергии, аккумулированной в нем. В связи с этим исследования по разработке новых технологий формирования в материалах высокопрочного состояния должны включать обязательную оценку их трещиностойкости. Настоящая работа выполнена с целью экспериментальной проверки разработанных в авторском коллективе схем упрочнения с оптимальной по критерию трещиностойкости. При этом в виду использования малогабаритных образцов с размерами, для которых нет убедительных доказательств их соответствия требованиям линейной механики разрушения, был применен метод фотометрического анализа структурных изображений (ФАСИ), разработанный в авторском коллективе. Ранее он был успешно применен для оценки различных физико-механических характеристик ряда сталей и сплавов и в том числе трещиностойкости [2]. Экспериментальная часть работы была выполнена на алюминиевом сплаве.

1. Материал и методики исследования. В качестве материала исследования был использован высокопрочный алюминиевый сплав В95 в холоднодеформированном и закаленном состояниях. Химический состав сплава согласно паспортным данным приведен в таблице №1[3].

Таблица 1 – Химический состав сплава В95

Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Al	Fe	Si	прочие	
								каждая	Σ
						не более			
5,0-7,0	1,8-2,8	1,4-2,0	0,2-0,6	0,1-0,25	основа	0,5	0,5	0,05	0,1

Из листа толщиной 6 мм. были вырезаны образцы с размерами 20×20×6 мм, на которые по вертикальной оси симметрии с помощью электроискровой резки были нанесены надрезы шириной 0,4 мм. и длиной 4 мм. У начала надреза снимались фаски с катетом 0,2 мм. Образцы нагружались внедрением клина в надрез со скоростью 1 мм/мин. Нагружение обрацов проводилось в испытательной мишине Инстрон-3382 путем внедрения стального клина в электроискровой надрез так, как это показано на рис. 1.

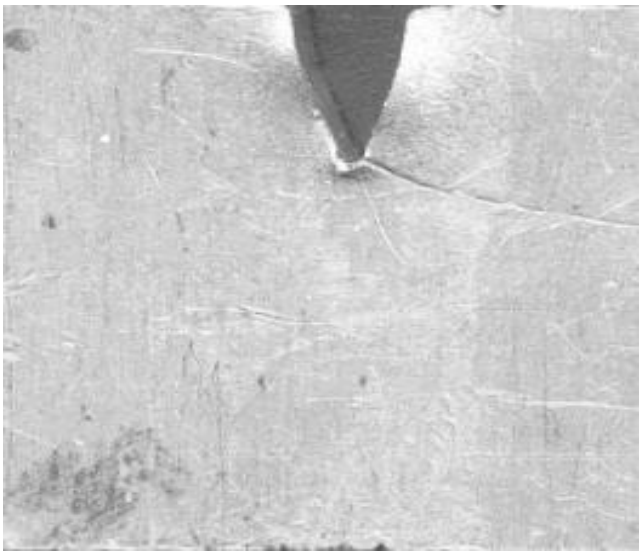


Рис.1. Образец под нагрузкой

Изменения состояния поверхности образца в процессе нагружения непрерывно записывался на видеокамеру. Были приготовлены образцы по технологическим вариантам, указанным в таблице №2.

Таблица 2 – Технологические варианты и режимы обработок образцов исследуемого сплава

№	Вариант обработки	Последовательность операций	Параметры обработки			
			D, мм	Δh, мкм	$T_з$ / t, °С/мин	$T_с$ / t, °С/мин
1	Исходное	Холодная прокатка	-	-	-	-
2	Исх.+Ст	Холодная прокатка + старение	-	-	-	45/30
3	КМО+ Cu-покрытие	Закалка + низко-НТД + Ст + Cu-покрытие	11	0,18	450/30	45/30
4	КМО+Ti-покрытие	Закалка + низко-НТД + Ст + Ti-покрытие	11	0,18	450/30	45/30

В таблице используются обозначения: Ст – старение, D – диаметр упрочняемой зоны, Δh – осадка в зоне упрочнения, $T_з$ – температура закалки, $T_с$ – температура

старения, t – время операции, НТД – низкотемпературная деформация при – 196ºС. В отсутствие мощного прессового оборудования зону упрочнения пришлось ограничитьдиаметром 11 мм. Термообработка образцов (закалка + старение) проводилась в вакууме (вакуумированные кварцевые ампулы). Покрытия из титана и меди были нанесены только с одной рабочей поверхности образцов распылением материалов покрытия, нагретых до температуры превышающей их температуры плавления в вакуумном универсальном посту (ВУП). Электроискровой надрез наносился на обработанные образцы после завершения полного цикла упрочнения. После испытания образцов видеозаписи их деформирования подвергались покадровому анализу с периодичностью 10 с. методом ФАСИ. Методика этого анализа неоднократно достаточно подробно описывалась в ряде публикаций [4–5], по этой причине можно ограничиться только краткой справкой о ее основных положениях. На рис.2. показаны результаты применения ФАСИ к задачам настоящей работы. Спектр яркости отражения представлен в координатах «I – яркость отражения, p(I) – спектральная плотность». Обе координаты измеряются в условных безразмерных единицах. На оси абсцисс нулевое значение соответствует полному поглощению падающего светового потока поверхностью объект, а единица – полному отражению света от нее. За спектральную плотность принято отношение числа пикселей с яркостью, в заданном интервале шкалы яркостей к общему числу пикселей, на которое разбито изображение фрагмента. По данным ФАСИ можно оценить степень изменения структурного состояния материала (Ds), описать ее меру формулой:

$$D_s = \frac{S_i(t) - S_i(0)}{S_{max} - S_{\min}} \quad (1)$$

где: $S_i(t)$ – площадь под спектральной кривой I – того фрагмента, отснятого в момент времени t, $S_i(0)$ – тоже самое, но в момент начала нагружения, S_{max} и S_{min} максимальное и минимальное значение площадей под спектральной кривой на временном интервале [0,t]. С помощью этого критерия определялось значение нагрузки, соответствующее

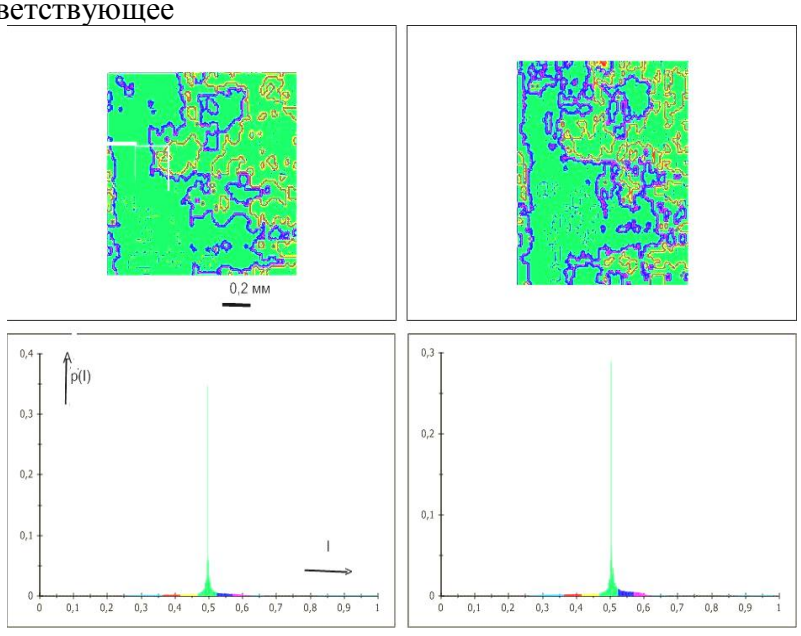


Рис.2. Изменения в структуре фрагмента поверхности образца в исходном состоянии и спектрах яркости отражения в процессе нагружения
слева при t = 0 с., справа при t = 70 с.

началу распространения трещины, необходимое для определения коэффициента интенсивности напряжений (КИН). Из рис. 3. видно как это можно сделать по зависимости $D_s = f(t)$. Из рисунка видно, что максимальному значению повреждаемости соответствует максимум на зависимости $D_s = f(t)$. Это свидетельствует о том, что моменту остановки трещины предшествует резкий рост поврежденности вследствие развития пластической деформации у вершины надреза. Интересно отметить, что этот момент невозможно зафиксировать на изображении области, окружающей вершину надреза при его 50 - кратном увеличении. Метод ФАСИ надежно регистрирует этот момент времени. По этому моменту времени из массива данных, регистрируемых компьютером испытательной машины, определяется требуемое значение нагрузки.

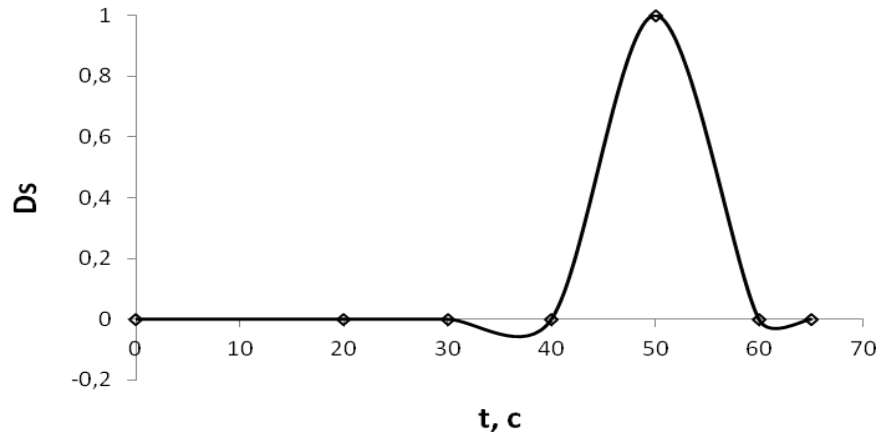


Рис.3. Временная зависимость поврежденности образца сплава В95, упрочненного КМО с покрытием из титана толщиной 30 мкм.

Аналогичным образом по зависимости $D_s = f(r)$ определяли величину подрастания трещины – надреза для момента соответствующего переходу к ее нестабильному распространению. Для построения такой зависимости впереди вершины трещины строится последовательность примыкающих друг к другу квадратных микрофрагментов с длиной стороны 0,66 мм. С помощью ФАСИ определялись площади под спектральными кривыми яркости отражения видимого света, отснятыми на этих фрагментах. На рис. 4. показан пример такой зависимости, полученной для испытанного образца в структурном состоянии, полученном с помощью старения после холодной прокатки.

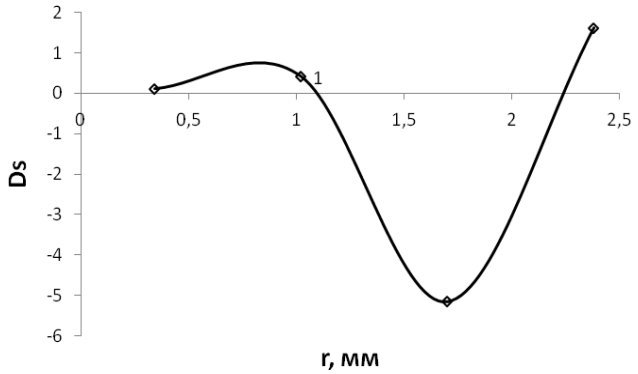


Рис. 4. Зависимость поврежденности материала у вершины образца состаренного после холодной деформации

Из рисунка видно, что поврежденность материала растет до момента подрастания трещины-надреза до достижения максимума зависимости $D_s = f(r)$, после чего впереди вершины надреза начинает формироваться пластическая зона, развитие которой тормозит распространение трещины, до момента достижения минимума на этой зависимости. Образцы исследуемого сплава обнаруживают аналогичное поведение, которое приводит к зависимостям, показанным на рис. 3. и 4.

2. Результаты и их обсуждение. На образцах, обработанных по вариантам, приведенным в таблице № 2, были определены значения КИН как по методу ЛМР, так и по данным ФАСИ. Нагружение образца внедрением клина в трещину-надрез можно свести к расчетной схеме подобной той, которая используется в стандартном методе линейной механики разрушения образцов, испытанных при внецентренном растяжении. При этом нагрузка, которая растягивает образец, выразится формулой:

$$P = \frac{F \cdot Sin\alpha}{4} \qquad (2)$$

где: F – усилие внедрения клина в надрез, α - угол раскрытия внедряемого клина. КИН определялся по формуле [6]

$$K_I = \frac{P}{tW^{\frac{1}{2}}} \cdot f(\alpha) \qquad (3)$$

где: где: P – нагрузка, соответствующая моменту страгивания трещины, t - толщина образца, W - расстояние между осью приложения нагрузки и сжатой стороной образца, f(α) - оэффициент, определяемый по формуле:

$$f(\alpha)=(2+\alpha)\cdot(0{,}8072+8{,}858\alpha-30{,}23\alpha^2+41{,}088\alpha^3-24{,}15\alpha^4+4{,}951\alpha^5)\cdot(1-\alpha)^{-3/2} \qquad (3')$$

где: α = a/W, a - длина трещины от ее вершины до оси приложения нагрузки. КИН по данным ФАСИ определялись по формуле [6]:

$$K_I = \sigma_{y}\cdot\sqrt{2\pi l} \qquad (4)$$

где: r – расстояние от вершины до центра соответствующего микрофрагмента. Результаты проведенных экспериментов были проанализированы с позиций линейной механики разрушения и по данным фотометрического анализа структурного анализа и итоговые результаты этого анализа приведены в таблице №3.

Таблица 3 – Итоговые результаты исследования сплава В95, обработанных по разработанным технологиям

№	Вариант обработки	t, с	F, кг	Δl,мм	K_I, МПам^{0,5}			
					ЛМР	ФАСИ 1	ФАСИ 2	ФАСИ 3
1	Исходное	13,3	165,6	0,67	14,71	4,06	7,66	40,37
2	Исх. + Ст	29,2	207,84	1,77	18,53	8,6	10,18	115,83
3	КМО + Cu-покрытие	27,2	208,32	1,22	18,52	13,12	24,82	108,32
4	КМО + Ti-покрытие	50	357,22	0,23	32,8	68,19	24,3	143,12

В таблице оценка по ЛМР получена по формуле (3) и по данным испытаний, оценки по ФАСИ получены по формуле (4) и данным измерений ФАСИ: 1 – по данным в столбцах F и Δl, 2 – по данным оценки напряжений, действующих в образцах в момент старта трещины, 3 – по данным оценки напряжений, определенных методом ФАСИ и оценкам Δl из зависимости $D_s=f(r)$. Из таблицы видно, что наиболее перспективными по критерию трещиностойкости являются образцы, обработанными по технологии КМО с дополнительным нанесением покрытий из элементов, способствующих выделению дисперсных фаз.

ВЫВОДЫ:

1. Разработаны технологические варианты упрочнения образцов сплава В95, значительно повышающих трещиностойкость сплава по сравнению с исходным состоянием.
2. Разработанные способы оценки трещиностойкости по данным ФАСИ показали свою способность получать оценки, которые коррелируют с оценками по методике ЛМР.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 17-08-00098а).

Список литературы. 1. И. И. Новиков, В. А. Ермишкин. Микромеханизмы разрушения металлов. М.: Наука. 1991. 366 с. **2.** Ермишкин В. А., Кулагин С. П., Минина Н. А., Соловьева Ю. Б. Сравнительный анализ трещиностойкости сплава В95 в холоднодеформированном и закаленном состояниях методом фотометрического анализа. Прогрессивные технологии и системы машиностроения № 3(54)’2016 с. 41-48. **3.** Справочник по авиационным материалам п/р Туманова А. Т. ч.1 М.: Машиностроение. 455 с. **4.** Ермишкин В. А., Мурат Д. П., Подбельский В. В. Информационные технологии фотометрического анализа усталостного повреждаемости материалов. Информационные технологии. 2007. №11, с. 65–70. **5.** Ермишкин В. А., Мурат Д. П., Подбельский В. В. Система фотометрического анализа структурных изображений и ее применение для исследования материалов в условиях усталости. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. №10, с. 38–44. **6.** Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений. п/р Ю. Мураками, М.: Мир, 1990, 448 с. **7.** Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974, 640, с. 33.

УСЛОВИЯ РАВЕНСТВА ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПРИ МАКРОСКОПИЧЕСКОМ И МИКРОСКОПИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К ЕЕ ИЗМЕРЕНИЮ

Ермишкин В. А, Соловьева Ю. Б., Минина Н. А., Кулагин С. П.
(ИМЕТ РАН, Москва, Россия)
Тел./факс: +7(499)1359668/+7(499) 1358680; eva@imet.ac.ru; minina1951@rambler.ru

Abstract: *The aim of the paper is to discuss the problem of comparability of fracture toughness assessment methods on the basis of macroscopic and microscopic approaches using the example of experimental research results carried out on an aluminum alloy B95 (7075). The conditions for the coincidence of the fracture toughness estimates obtained on the basis of the brittle fracture mechanics and the photometric analysis of structural images (PHASI). The technique of determination of crack resistance according to FASI is considered.*

Введение. Процесс разрушения материалов в настоящее время принято рассматривать как двухстадийный, включающий стадию зарождения трещин и стадию их распространения. Трещиностойкость характеризует склонность материалов к распространении трещин. Ее критерии сформулированы в механике разрушения применительно к макромасштабным хрупким и упруго-пластическим разрушениям [1]. В рамках этого подхода материал представляется как сплошная бесструктурная и, как правило, изотропная среда, упругое поведение которой описывается двумя независимыми константами: нормальный модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν. При хрупком разрушении в качестве критерия трещиностойкости принят коэффициент интенсивности напряжений K_i (КИН), где индекс «i» принимает значения I, II, III для обозначения разных мод разрушения: нормальный отрыв, продольный и поперечный сдвиги. Моды разрушения характеризуют взаимную ориентацию линии приложения нагрузки, плоскостей трещин и их фронтов. Современная методология экспериментального определения характеристик трещиностойкости построена на механике хрупкого разрушения. Преимуществом этой методологии является возможность выразить характеристики напряженного состояния (компоненты тензора напряжений) через КИН и геометрические характеристики исследуемой локальной области. Эти данные удобно использовать в инженерной практике расчетов на прочность. Ясно, что испытания образцов с надрезом, который имитирует трещину, не позволяют оценить энергию зарождения трещин, но может дать оценку предельных условий тела с трещиной. Однако в рамках механического подхода не удается объяснить наблюдаемые фрактографические картины изломов, элементарные механизмы разрушения и установить кристаллографические особенности поверхности излома. Кроме того, существуют размерные ограничения, накладываемые на образцы, и требуется мощное испытательное оборудования для корректного определения КИН. По этим причинам становится актуальным исследование микроскопических аспектов разрушения. Исследования механизмов разрушения методами электронной микроскопии очень содержательны при изучении качественной стороны разрушения. Однако, при этом невозможно установить параметры разрушения, которые можно было бы сопоставить с макроскопическими характеристики разрушения. Целью настоящей работы явилось разработать методику оценки характеристик трещиностойкости по данным микроскопических измерений и сравнить результаты определения КИН методами макромеханики и микромеханики разрушения. Экспериментальная часть работы была выполнена на высокопрочном сплаве В95. В этих исследованиях были использованы малогабаритные образцы из листов исследуемого сплава, которые были испытаны внедрением клина в надрез на образце.

1. Материал и методика экспериментов. Образцы для исследований трещиностойкости приготавливались из листов сплава В95 толщиной 5 мм. в холоднодеформированном состоянии. Образцы имели форму квадратов со стороной 20 мм. Посредине одной из сторон наносился электроискровой надрез шириной 0,4мм. и длиной 4 мм. Образцы нагружали внедрением клина, закрепленного в захвате образца, в надрез, в верхней части которого были нанесены фаски. Схема нагружения была аналогична той, которую ранее использовал Гилман [2].

Образцы нагружали до появления максимума на кривой деформирования в захватах испытательной машина типа «Инстрон-3382» со скоростью 1 мм./мин. В процессе деформирования поверхность образцов непрерывно записывалась на видеокамеру синхронно с записью кривой деформирования. На рис.1. показана кривая нагружения одного из испытанных образцов в координатах «нагрузка P - стрела прогиба f» и нанесена линия тренда для линейного участка кривой деформирования.

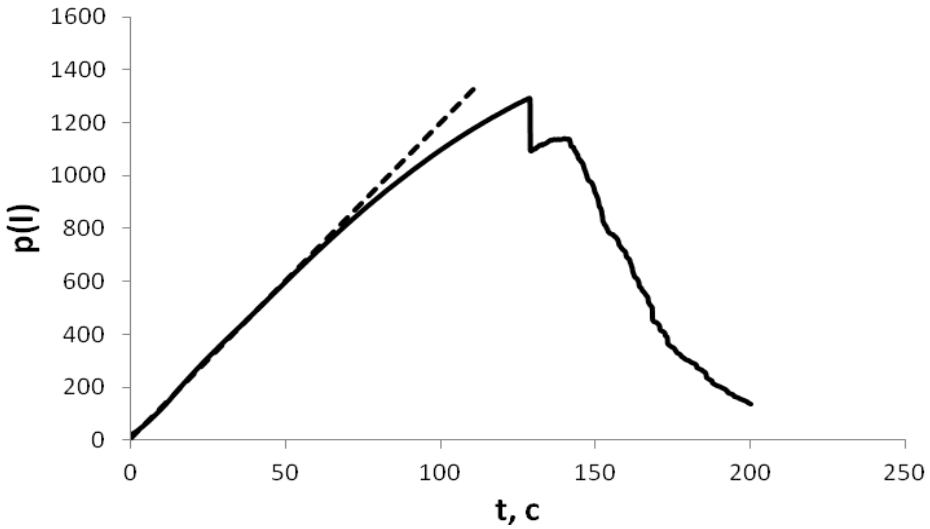


Рис.1. Кривая деформирования образца сплава В95, нагружаемого внедрением клина в надрез образца

Методами фотометрического анализа структурных изображений (ФАСИ) с периодичностью 10 с. была проанализирована поверхность исследуемого образца вблизи вершины трещины – надреза. ФАСИ представляет собой программно-аналитический комплекс, в котором выполняется сравнительный анализ по дифференциальной схеме изображений фрагментов исследуемого объекта и спектров яркости отражения от них видимого света, отснятых до и после начала деформирования. Достаточно подробное изложение принципа работы ФАСИ и его методических возможностей содержится в [3], поэтому здесь ограничимся только краткой информацией об измерениях с ее помощью. В ФАСИ сравнение спектров яркости отражения проводится в координатах «спектральная плотность яркости отражения p(I) – интенсивность яркости отражения I». Под спектральной плотностью понимается отношение числа пикселей с интенсивностью I_i – $n(I_i)$ к общему числу пикселей, на которое разбито изображение – N:

$$p(I) = \frac{n(I_i)}{N} \qquad (1)$$

Интенсивность яркости отражения измеряется в условных единицах линейной шкалы, в которой за нуль принято состояние поверхности фрагмента, при котором происходит полное поглощение падающего на него видимого света, а за единицу - ее состояние с полным отражением света от него. На рис.2 показан пример результата сравнения структуры фрагмента вместе со спектрами яркости отражения от них видимого света до нагружения образцов и после него в момент времени t=10с.

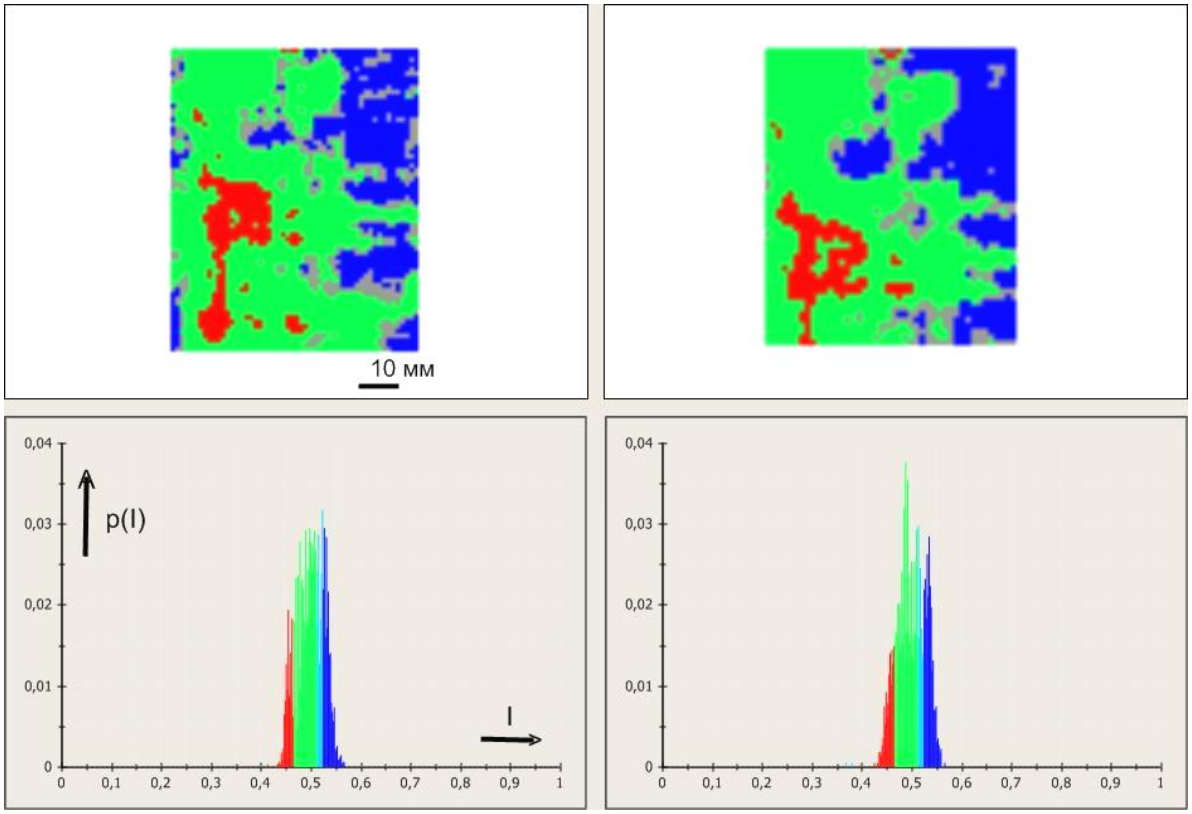


Рис.2. Результат сравнения методом ФАСИ фрагментов видеозаписи и спектров яркости отражения от них для моментов времени t = 0 (до нагружения) с t = 10с.

Проведенные эксперименты позволили на образцах, использованных в настоящей работе, определить КИН по стандартной методике и с помощью данных, полученных методом ФАСИ. Определить КИН на основе подходов механики разрушения можно, адаптировав к условиям наших экспериментов методику, разработанную для образцов для внецентренного растяжения [4]. В условиях растяжения таких образов образец подвергается изгибу, а область, окружающую вершину надреза при этом испытывает действие растягивающих напряжений. Внедрение клина в надрез приводит к аналогичной схеме нагружения образца. КИН на образцах для внецентренного растяжения определяется по формуле, полученной по методу конечных элементов [5] в виде:

$$K_I = \frac{P}{tW^{\frac{1}{2}}} \cdot f(\alpha) \qquad (2)$$

где: где: P – нагрузка соответствующая моменту страгивания трещины, t – толщина образца, W – расстояние между осью приложения нагрузки и сжатой стороной образца, f(α) – коэффициент, определяемый по формуле:

$$f(\alpha) = (2+\alpha)\cdot(0{,}8072+8{,}858\alpha-30{,}23\alpha^2+41{,}088\alpha^3-24{,}15\alpha^4+4{,}951\alpha^5)\cdot(1-\alpha)^{-3/2} \quad (2')$$

где: α=a/W, a – длина трещины от ее вершины до оси приложения нагрузки. ФАСИ позволяет оценить энергию, отраженного от поверхности образца света (E) в условных единицах, которая численно равна площади под спектральной кривой. Согласно [6] энергия, излучаемая телом, связана с его внутренней энергией (U) формулой:

$$U=AE \quad (3)$$

где: A – коэффициент, отражающий вероятность спонтанного излучения света телом, которое подвергается энергетическим воздействиям соответствующей физической природы. Значение коэффициента A определялось из уравнения (3) после подстановки в него значения упругой энергии для заданного момента времени и ее выражение в условных единицах по измерениям методом ФАСИ. Соответствующее уравнение баланса энергий можно выразить в виде:

$$\Delta U = U_\sigma - U_o = \frac{\sigma^2}{2E} \quad (4)$$

где: E – нормальный модуль исследуемого материала. Разрешив уравнение (4) относительно напряжений с помощью (3) имеем:

$$\sigma = \sqrt{2AE\Delta U} \quad (5)$$

В вершине надреза выделяли линейную последовательность примыкающих друг к другу микрофрагментов. В их центрах из уравнения (5) определяли действующие напряжения, а далее по формуле (6) [7]:

$$K_I = \sigma_y\sqrt{2\pi r} \quad (6)$$

где: r – расстояние от вершины до центра соответствующего микрофрагмента.

2. Результаты экспериментов и их обсуждение. Как видно из рис.1., определить напряжение, соответствующее старту трещины, весьма проблематичны. По этой при чине была построена временная зависимость КИН на интервале 0-40с., которую можно видеть на рис. 3. (кривая – 1).

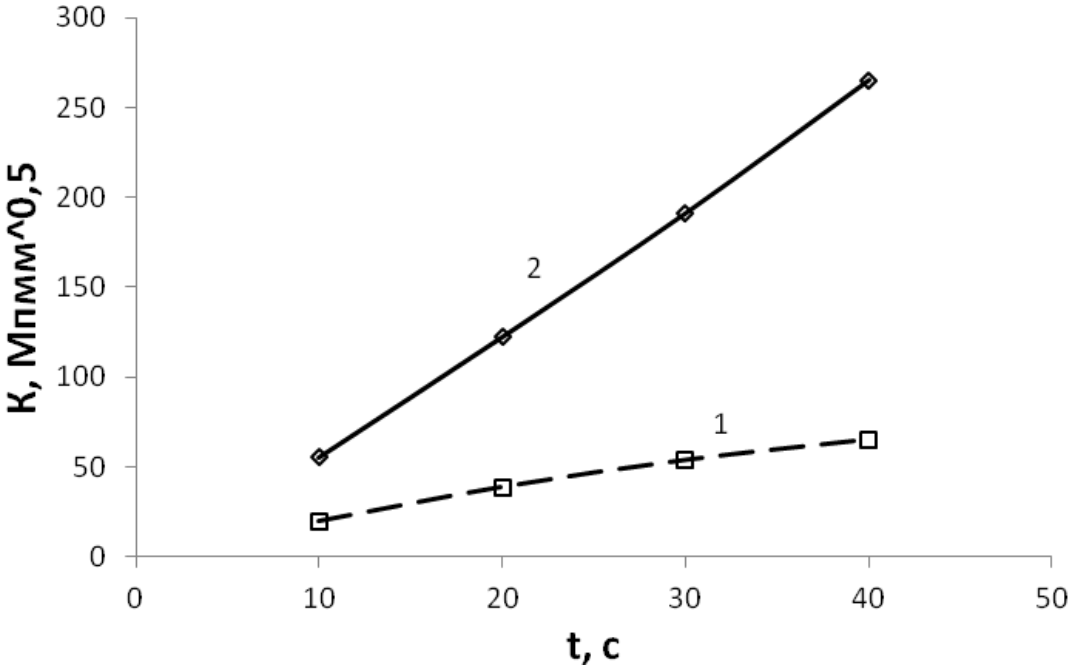


Рис. 3. Временные зависимости K_I на интервале [0,40с]: 1 – по формуле (2), 2 – по формуле (6) и данным ФАСИ.

Для определения константы А в формуле (3) напряжение в области, сопряженной с вершиной надреза, было определено по формуле для изгиба балки [8], после чего по формуле (5) были определены напряжения в центрах микрофрагментов, использованные для оценки КИН по формуле (6). По этим данным была построена зависимость $K_I = f(r)$, которая представлена на рис.4. и зависимость $K_I = f(t)$ при r = 1,165 мм. Последняя зависимость нанесена на рис.3. (кривая – 2). Точки, нанесенные на рис.4., соответствуют значениям нагрузки, достигнутым в моменты времени 10, 20, 30, 40 с.

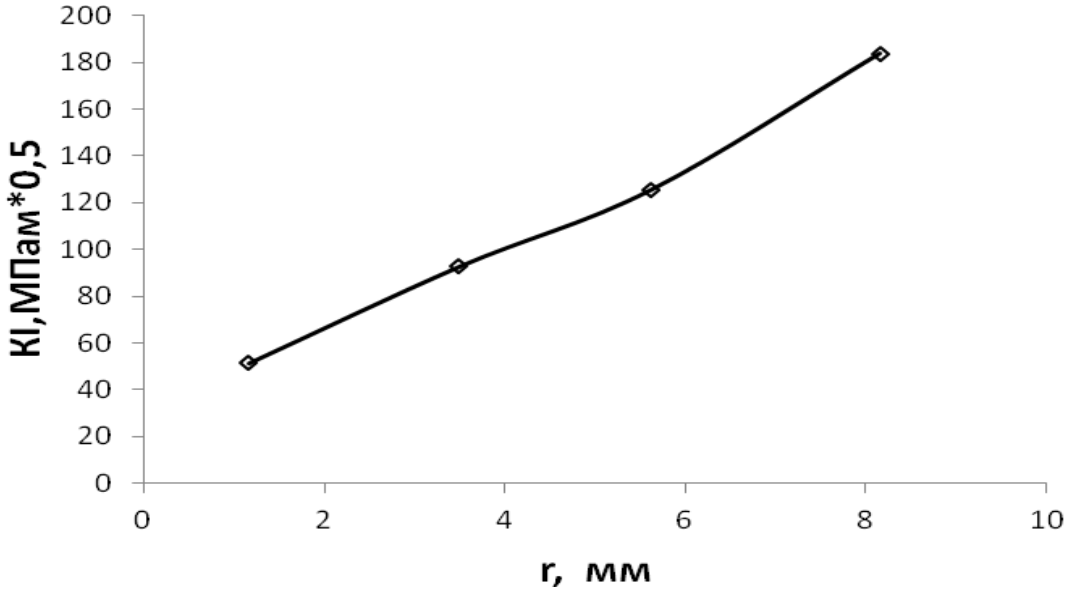


Рис.4. Зависимость КИН от расстояния при r = 1,165 мм.

Расчетные зависимости, показанные на рис. 3. были аппроксимированы аналитическими формулами, которые приведены в таблице №1.

Таблица 1 – Формулы, аппроксимирующие расчетные зависимости $K_I = f(t)$

Формула для оценки K_I	Аппроксимирующие выражения	Критерий значимости
(2)	$K_I = 2{,}7277 \cdot t^{0{,}8702}$	0,9943
(6)	$K_I = 6{,}9875 \cdot t - 16{,}063$	0,9995

Ранее [4] мы установили условие, при котором значение КИН, определенное по данным ФАСИ, оказывалось близким к его значению, определенному на стандартном образце, с формой и размерами удовлетворяющим требованиям линейной механики разрушения. Для сплава В95 это значение КИН оказалось равным 49,12 МПам^{0,5} для стандартного метода и 51,32 МПам^{0,5}. Проведенные эксперименты показали, что при определении КИН для сплава В95 значение 49,12 МПам^{0,5} достигается за 28,20 с., тоже значение при определении по данным ФАСИ за 9,33 с. Обе временные зависимости КИН практически представляют собой линейные зависимости от времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 17-08-00098а).

ВЫВОДЫ:

1. Разработан метод оценки определения КИН на малогабаритных образцах, дающий реалистические значения данного параметра.
2. Выявлены условия, при которых определение КИН по данным ФАСИ дает совпадающий результат с его значением, определенным методами механики разрушения.
3. Временные зависимости КИН носят линейный характер с параметрами, которые могут быть определены из аппроксимации экспериментальных данных.

Список литературы. 1. Нотт Д. Ф. Основы механики разрушения. М.: Металлургия, 1975. 256 с. **2.** Гилман Д. Скол, пластичность и вязкость монокристаллов. Сб. Атомный механизм разрушения. М.: Гос. из-во по черной и цветной металлургии, 1963, с. 220–253. **3.** Ермишкин В. А., Мурат Д. П., Подбельский В. В. Информационные технологии фотометрического анализа усталостного повреждаемости материалов. Информационные технологии» 2007. №11, с. 65–70. **4.** Ермишкин В. А., Соловьева Ю. Б. Энергии зарождения трещин по данным фотометрического анализа разрушения образцов конструкционных материалов Севастополь Международная научно-практическая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века» сентябрь 2016 г., Россия, Севастополь с. 120–127. **5.** Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений. п/р Ю. Мураками, М.: Мир, 1990, 448 с. **6.** Астапенко В. А Взаимодействие излучения с атомами и наночастицами. Долгопрудный: Ид Интеллект. 2010. 492 с. **7.** Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974, 640 с. **8.** Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. М.: Из-во МГТУ им. Н. Э. Баумана.1999. 589с.

ПУЛЬСИРУЮЩЕЕ ДВИЖЕНИЕ МЕЛЯЩИХ ТЕЛ В СТЕРЖНЕВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Жумагалиева Г. Б.[1], Аль-Саади Д. А. Ю.[2], Першин В. Ф.[2]
([1] Западно – Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана; [2] Тамбовский государственный технический университет)

Abstract. *The motion of grinding bodies and material from rod mills is considered. The advantages of rod mills over ball mills are grounded. The movement of a single rod was originally studied, the results of this study were used in the analysis of the motion of several rods. Particular attention is paid to the movement of the rods with slip relative to the inner surface of the drum. The assumption is made that the most intensive grinding occurs under shearing effects on particles. It was found that when the rods and the material were moved together, the number of grinding zones due to shear forces did not decrease.*

Стежневые барабанные мельницы широко используются при измельчении исходного сырья в различных отраслях промышленности и в частности при производстве керамики. На наш взгляд, стержневые мельницы имеют ряд преимуществ по сравнению с шаровыми. В отличии от шаровых мельниц, в которых контакты между шарами, а также между шарами и внутренней поверхностью барабана осуществляются в точках и зоны измельчение имеют форму круга, в стержневых мельницах эти контакты осуществляются по линиям и зоны измельчения имеют форму прямоугольника. Таким образом при одинаковой загрузке мелящих тел в барабан при использовании стержней существенно увеличивается суммарная площадь зон измельчения и, следовательно увеличивается производительность. Кроме этого в стержневых мельницах, по сравнению с шаровыми, больше вес мелящих тел, приходящийся на единицу объема, при одинаковых коэффициентах заполнения.

Интенсивность измельчения и качество готового продукта существенно зависят от характера движения мелящих тел в барабане. Обычно на практике используют следующие режимы движения: периодические обрушения; циркуляционый; водопадный; закритический [1,2]. Именно эти режимы экспериментально и теоретически исследованы. При тонком измельчении, особенно при измельчении до наноразмеров, на наш взгляд, наиболее эффективными являются режимы, при которых происходит проскальзывание мелящих тел относительно друг друга и относительно внутренней поверхности барабана. В этом случае на измельчаемые частицы действуют не ударные, а сдвиговые усилия. Это касается как сухого, так и мокрого способов измельчения в барабанных мельницах. Сдвиговые воздействия на обрабатываемый материал возникают при циркуляционном режиме, при котором часть материала движется вместе с обечайкой барабана, а часть – скатывается вниз в зоне прилежащей к открытой поверхности материала [3, 4]. Таким образом, материал движется по замкнутому циркуляционному контуру. Сдвиговые воздействия на частицы материала возникают из-за градиента скоростей частиц и мелящих тел в скатывающемся слое. Данный режим достаточно хорошо исследован и получены зависимости для расчета параметров распределения материала и скоростей частиц в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана.

Сдвиговые воздействия на измельчаемые частицы возникают также при малых степенях заполнения барабана мелящими телами и материалом, экспериментальным исследованиям этих режимов посвящена данная работа.

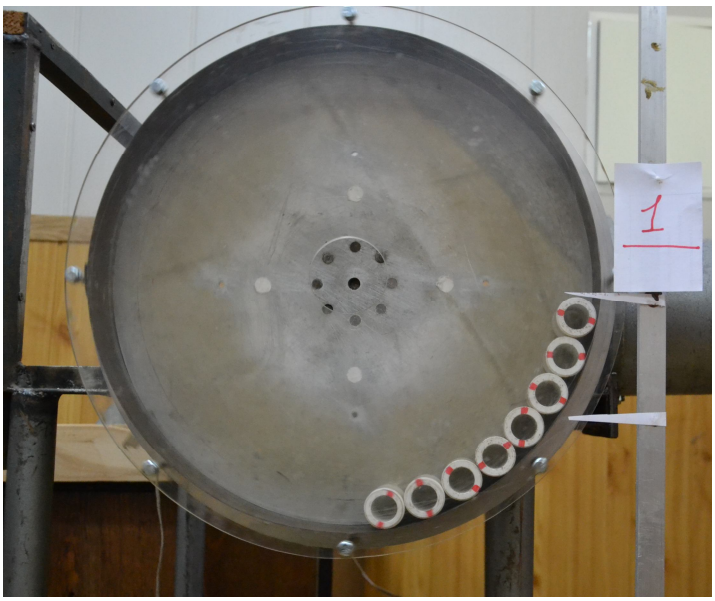
Исследования проводили на лабораторной установке с диаметрами барабанов 110, 500 и 1000мм. Скорость вращения барабанов изменялась в диапазоне (0,1–2,0) $\omega_{КР}$,

где $\omega_{КР}$ – критическая скорость вращения барабана равная $(g/R)^{0,5}$, g – ускорение свободного падения, R – внутренний радиус барабана.

В экспериментах использовались стержни от 5 до 30 мм. Прозрачный торец барабана позволял визуально наблюдать за движением стержней, а также проводить видео и фото съемку. Исследования проводились в три этапа. На первом этапе исследовалось движение одиночного стержня, на втором – движение нескольких стержней, а на третьем – совместное движение стержней и измельчаемого материала. В качестве измельчаемых материалов использовали: частицы поваренной соли; речной песок; опоку Таскалинского месторождения Республики Казахстан.

В неподвижном барабане одиночный стержень занимает положение в самой низкой точке барабана. При скоростях вращения барабана примерно до $0,05\omega_{КР}$ стержень вращается относительно собственной оси и незначительно перемещается относительно исходного положения по направлению вращения барабана. В данном случае проскальзывание стержня относительно обечайки барабана не наблюдается. При увеличении скорости вращения барабана примерно до **2,0** $\omega_{КР}$ стержень продолжает вращаться, но линейная скорость точки принадлежащей стержню в зоне контакта с внутренней поверхностью барабана становится меньше, чем линейная скорость точки принадлежащей обечайке. Возникает проскальзывание поверхности стержня относительно поверхности барабана. Кроме этого периодически стержень начинает скользить вниз по обечайке барабана, по инерции он проходит исходное положение и отклоняется в сторону противоположную направлению вращения барабана. При этом вращение стержня относительно собственной оси практически прекращается. На частицы материала, которые попадут в зону контакта стержня и обечайки барабана, будут действовать сдвиговые усилия, которые приведут к интенсивному измельчению этих частиц. Таким образом, на всех стадиях движения стержня существуют зоны, в которых действуют сдвиговые усилия.

Аналогичная ситуация складывается и при движении нескольких стержней в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана. На рис.1 представлены характерные снимки движения восьми стержней диаметром 30мм в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана диаметром 1000мм при угловой скорости вращения равной $0,4\omega_{КР}$. На рис.1а показаны стержни в верхнем положении при достижении которого начинается перемещение стержней в нижнее положение (рис.1б).



а)

б)

Рис.1. Пульсирующее движение стержней в барабане

Следует отметить, что при переходе из нижнего положения в верхнее все стержни вращаются относительно собственных осей и одновременно проскальзывают относительно обечайки барабана из-за разницы линейных скоростей в точках контакта. В зависимости от положения стержней меняются направления их вращения. При вращении в одну сторону максимальные сдвиговые усилия возникают в зоне контакта между стержнями, а при вращении в разные стороны – в зоне контакта между обечайкой барабана и стержнем, вращающимся в направлении противоположном направлению вращения барабана.

Исследования совместного движения стержней и материала показали, что число зон измельчения за счет сдвиговых воздействий не уменьшилось. В экспериментах наблюдалась интенсивное перемещение частиц материала, т.е. в зоны измельчения постоянно поступали новые порции материала.

Анализ результатов проведенных исследований позволил сформулировать задачи дальнейших исследований. В частности, необходимо экспериментально определить удельные энергетические затраты по измельчению разных материалов при разных режимах движения мелящих стержней и материала.

При пульсирующих режимах движения стержня очень низкий коэффициент заполнения барабана материалом, но при этом очень интенсивное измельчение и малое потребление энергии.

Необходимо также обратить внимание на строение материала, подлежащего измельчению. На наш взгляд, за счет сдвиговых воздействий интенсивно будут измельчаться слоистые материалы типа графита.

Известно, что в планетарных мельницах из графита получают графен. Вполне возможно, что положительный результат больше зависит от характера воздействия на частицы материала, чем от величины или силы этих воздействий.

Список литературы: **1.** Першин В. Ф. Машины барабанного типа: основы теории, расчета и конструирования / В. Ф. Першин – Воронеж: Изд-во ВГУ. – 1990. 168 с. **2.** Першин В. Ф., Однолько В. Г., Першина С. В. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа. М.: Машиностроение, 2009. 220 с. **3.** Першин В. Ф. Экспериментальное исследование характера движения сыпучего материала вдоль оси барабанного смесителя В. Ф. Першин, Ю. Т. Селиванов, А. В. Орлов Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2002, Т.8, №2, С.265–271. **4.** Першин В. Ф. Расчет распределения сыпучего материала в гладком вращающемся барабане / Химическое и нефтегазовое машиностроение, 1988, № 1. С. 16-20.

ОДНОКОВШОВЫЕ ЭКСКАВАТОРЫ – ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАРЬЕР

Иванов И. Ю., Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Телиман И. В. (*ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет (УГГУ)», г. Екатеринбург, Россия*)

Abstract: *It is shown that the power of the drive motors of single bucket excavators is determined depending on the weight of the excavator. A scheme of working equipment with internal closure of workloads is provided, which provides a significant increase in the power-to-weight ratio and productivity of excavators.*
Keywords: *one-bucket excavators, energy barrier, internal closure of workloads.*

Одним из основных направлений развития горнодобывающей промышленности является создание высокопроизводительных и ресурсосберегающих комплексов машин и оборудования.

Вместе с тем, как показывает практика проектирования и эксплуатации одноковшовых экскаваторов, с ростом производительности и массы машин удельные показатели и, в целом, эффективность рабочего процесса практически остаются на одном уровне (табл. 1 и 2).

Таблица 1 – Технические характеристики мехлопат (прямая лопата) [1]

Модель	Вместимость основного ковша*, $м^3$	Максимальный радиус копания, м	Масса, т	Мощность приводного двигателя, кВт	Удельная мощность, кВт/т
ОАО «Уралмашзавод» (РФ)					
ЭКГ-5А	5,2	14,5	196	250	1,3
ЭКГ-12	12	21	600	1250	2,1
ЭКГ-20	20	23,4	1050	2250	2,1
P&H Mining Equipment (США)					
2300 XPC	25,5	21,3	911	2000	2,2
2800 XPC	35,7	24,2	1310	2500	1,9
4100 XPC	58,6	23,9	1650	3750	2,3

* Основной ковш предназначен для разработки взорванных пород.

Это обусловливается особенностью схемы нагружения одноковшовых экскаваторов. В традиционных конструкциях экскаваторов сила сопротивления копанию, действующая на ковш, передается через рабочее оборудование на металлоконструкцию машины, ходовое оборудование и замыкается реакцией грунта. Действующий на экскаватор опрокидывающий момент внешних сил уравновешивается моментом сил тяжести поворотной платформы и ходового оборудования.

В результате, при известной схеме замыкания силового потока, основные параметры экскаватора определяются его массой.

Таблица 2. Технические характеристики гидравлических экскаваторов (обратная лопата) [2]

Модель	Вместимость основного ковша, $м^3$	Максимальный радиус копания, м	Масса, т	Мощность приводного двигателя, кВт	Удельная мощность, кВт/т
LIEBHERR					
R 9250	13	15,2	250	960	3,8
R 9350	15,3	16,3	302	1120	3,7
R 995	24	17,8	441	1600	3,6
R 996 B	32	19,0	672	2240	3,3
R 9800	38	20,1	793	2984	3,8
TEREX (O&K)					
RH-20-E	15	15,1	285	1008	3,5
RH-170	20	18	383	1492	3,9
RH-200	28	19,4	535	1880	3,5
RH-340	34	18,9	547	2240	4,1

Это свидетельствует о наличии энергетического барьера, т. е. зависимости установленной мощности приводного двигателя от массы экскаватора.

Кардинальное решение проблемы повышения технического уровня одноковшовых экскаваторов может быть достигнуто за счет изменения силовой схемы машины [3, 4].

Известно [5], что силовая схема является рациональной, если внешние нагрузки замыкаются на минимально коротком участке элементами, работающими предпочтительно на растяжение или сжатие.

В предлагаемой конструктивной схеме рабочего оборудования рабочий орган состоит их двух оппозитно расположенных ковшей и механизма замыкания (рис. 1).

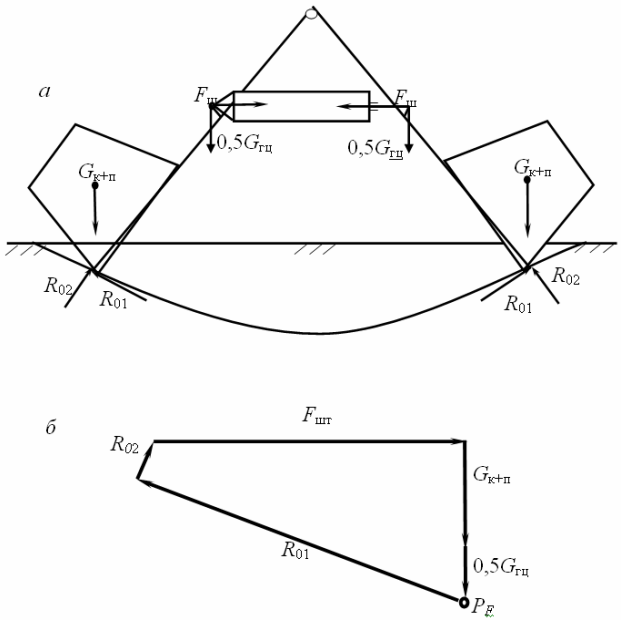


Рис. 1. Схема нагружения рабочего органа: *а* – схема действующих сил;

Действующие на ковш составляющие сил сопротивления копанию R_{01} и R_{02} уравновешиваются силой на штоке гидроцилиндра замыкания и силами тяжести ковшей и породы.

Основным элементом рабочего оборудования является механизм замыкания, обеспечивающий выполнение следующих функций – экскавацию горной породы, заполнение рабочего органа и разгрузку.

Работоспособность предлагаемой конструкции рабочего оборудования проверена на стенде, разработанном на кафедре горных машин и комплексов УГГУ (рис. 2).

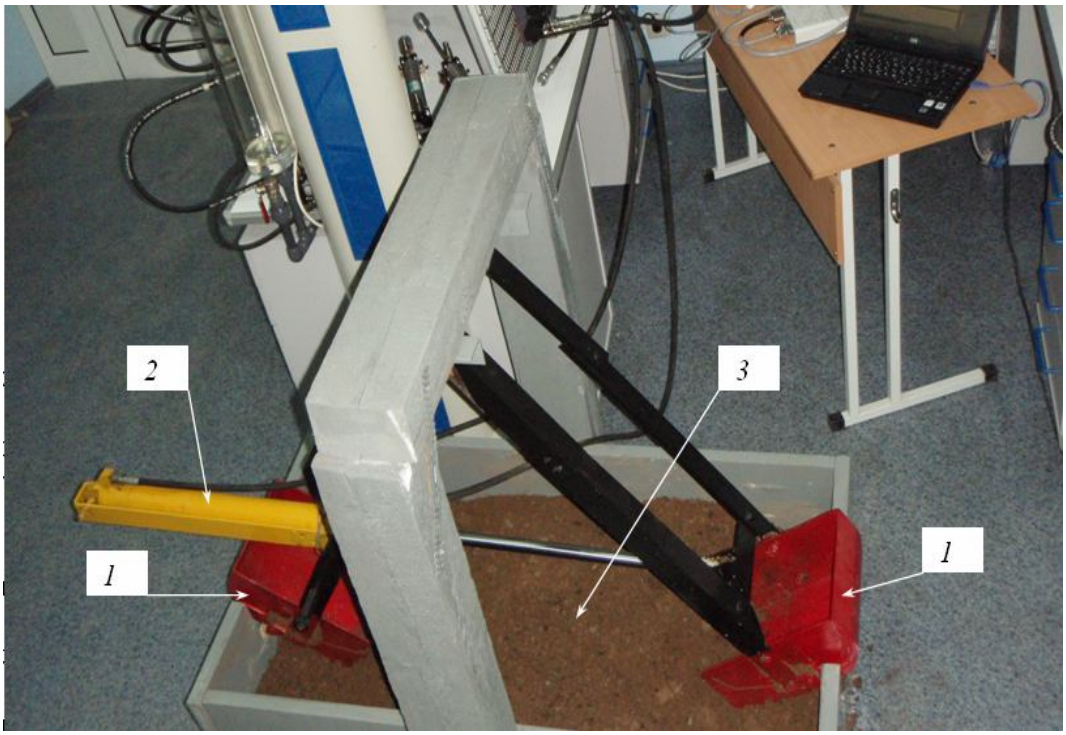


Рис. 2. Экспериментальная установка *1* – рабочий орган, *2* – гидроцилиндр, *3* – забой

Замена существующих средств выполнения указанных функций в базовых схемах рабочего оборудования (гидроцилиндров поворота стрелы, поворота рукояти и поворота ковша) механизмом замыкания позволит существенно повысить эффективность использования установленной мощности силового оборудования, а также повысить качество управления рабочим процессом.

При замыкании нагрузок сила сопротивления копанию рабочим органом равна силе сопротивления копанию отдельного ковша, т. е. уменьшается в два раза относительная (отнесенная к вместимости рабочего органа) сила сопротивления копанию и, соответственно, уменьшается нагруженность и масса рабочего органа. Кроме того, существенно уменьшается энергоемкость процесса экскавации горной массы.

Рабочего оборудования с замыканием рабочих нагрузок позволит реализовать принципиально новый способ экскавации, заключающийся в захвате горной массы при замыкании ковшей как выше, так и ниже уровня стояния, т. е. реализуется как прямое, так и обратное черпание (рис. 3).

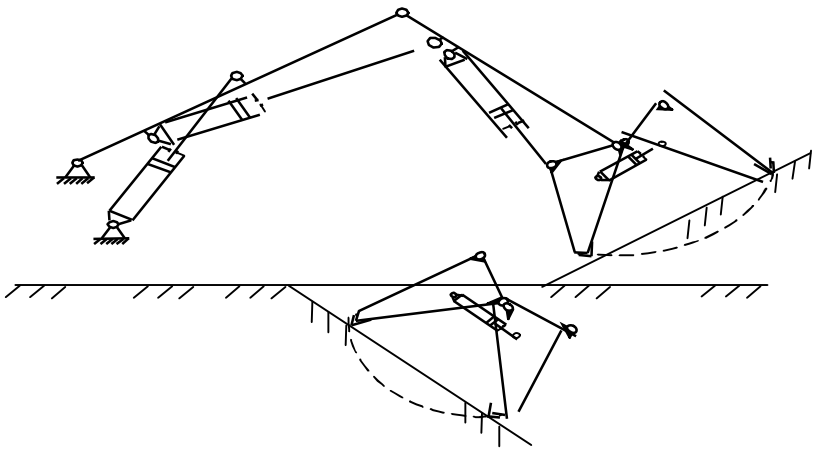


Рис. 3. Схема рабочего оборудования с замыканием нагрузок

На рис. 4 показана схема рабочего оборудования с замыканием нагрузок в горизонтальной и наклонной плоскостях.

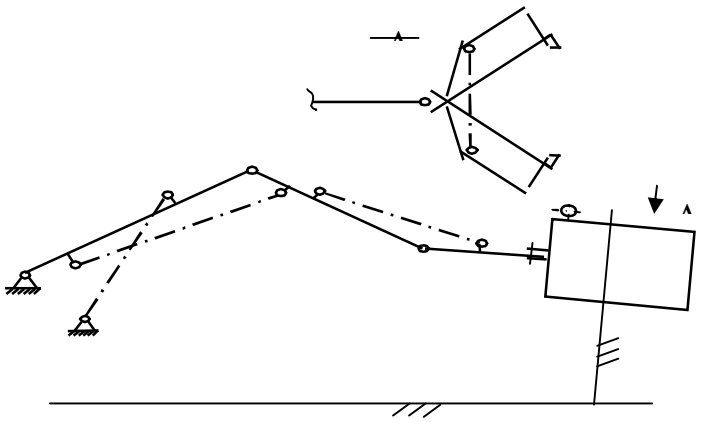


Рис. 4. Схема рабочего оборудования с замыканием нагрузок

Предлагаемая схема рабочего оборудования позволит повысить технологическую гибкость экскаватора и обеспечить разработку месторождений полезных ископаемых различных типов (пластовых, крутонаклонных и при селективной разработке).

Ввиду исключения воздействия рабочих нагрузок на экскаватор повышается устойчивость машины и при той же массе могут быть увеличены размеры рабочей зоны (максимальный радиус черпания) или существенно увеличена вместимость рабочего органа (в два и более раз), а также сила, действующая на штоке гидроцилиндра замыкания, что позволит разрабатывать более крепкие породы.

Реализация принципа внутреннего силового замыкания в конструкциях рабочего оборудования обеспечивает существенный рост энерговооруженности и, в целом, технического уровня экскаватора.

Список литературы: 1. Подэрни Р. Ю. Механическое оборудование карьеров. М.: Изд-во МГГУ, 2007. 680 с. **2.** Горная техника. Каталог-справочник. Вып. № 1(9). 2012. **3.** Повышение технического уровня выемочно-погрузочного оборудования / А. П. Комиссаров [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. 1992. № 7. С. 91–95. **4.** Машиностроение. Энциклопедия. М.: Машиностроение. Горные машины. Т. IV-24 / Ю. А. Лагунова, А. П. Комиссаров, В. С. Шестаков и др.; под. Общ. ред. В. К. Асташева, 2011. – 496 с. **5.** Орлов П. И. Основы конструирования. М.: Машиностроение, 1977. Кн. 1. 340 с.

ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ ШАХТНЫХ ПОДВЕСНЫХ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

Игнаткина Е. Л. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел.: +38 (062) 3010787; E-mail: gztl@fimm.donntu.org

Abstract: *The main components of the monorail roads are: monorail, traction means, rolling stock with load-lifting and other auxiliary devices. An important technical element of any managed object is a brake device. It is one of the main factors ensuring traffic safety and efficiency of cargo transportation. In the process of operation of suspended monorail roads, various systems are used that provide maneuver parking and emergency braking. The productivity of the brake system can be affected by various factors. To increase the efficiency of the braking system of suspended monorail roads, it is necessary to reduce dynamic loads, which affect the rolling stock, the monorail track and the support of the mine workings.*
Keywords: *suspended monorail, rolling stock, braking, **p**roductivity, emergency, device, load.*

Основными элементами монорельсовых дорог являются: монорельсовый путь, средства тяги, подвижной состав с грузоподъемными и другими вспомогательными устройствами. Одним из важнейших элементов любого управляемого технического объекта является тормозное устройство. Многие ученые и изобретатели предлагали различные устройства, позволяющие использовать кинетическую энергию самой машины для торможения.

Особенность тормозных устройств заключается в том, что процесс напряжения замкнутого кинематического контура происходит непосредственно в режиме торможения и зависит от ряда параметров самого технического объекта. В процессе эксплуатации подвесных монорельсовых дорог применяют различные системы, обеспечивающие маневровое стояночное и аварийное торможение.

Рабочее торможение производится по необходимости машинистом в процессе движения подвижного состава тем самым, управляя его скоростью. Стояночный тормоз, предназначен для удержания транспортного средства в неподвижном состоянии относительно опорной поверхности. Для рабочего торможения стояночного режима характерно использование тормозного усилия для удерживания подвижного состава в постоянном режиме стоянки. Ситуация зависит от дороги и реакции машиниста, стояночное торможение определяется машинистом при полной остановке – постоянно, без подвода какой либо энергии (пневматической, гидравлической). Аварийное торможение осуществляется автоматически при выходе из строя рабочей тормозной системы. Этот вид торможения не обходится без автоматизированной системы управления в связи с тем, что предполагается отсутствие возможности влияния мускульной силы машиниста.

С точки зрения управляемого технического объекта важным является процесс управления (регулирования) скорости, остановки и удержания каждой единицы подвижного состава в заданном положении. При этом важно не только удержание на монорельсе, но самого монорельса, который подвешивается на цепных подвесках, деформируемых от воздействия формирующихся во время движения статических и динамических нагрузок.

Основное функциональное назначение устройств системы автоматизированного управления торможением заключается в формировании программной траектории движения подвижного состава, слежении за фактической скоростью и воздействии на тяговые и тормозные средства [1–5].

Как правило, тормозные системы подвесных монорельсовых дорог состоят из нескольких устройств, связанных между собой и управляемых совместно или

раздельно. Это предъявляет дополнительные требования к синхронизации режимов работы, быстродействию, снижению динамических нагрузок. Физическая сущность работы любой тормозной системы – гашение (перевод в другой вид) кинетической энергии машины или ее элементов в результате взаимодействия внутренних и внешних по отношению к ней сил. Количество подлежащей гашению энергии может быть определено по формуле:

$$Э = \frac{MY^2}{2} + \sum J \frac{\omega^2}{2} - W_0(y) \pm iPy \ ,$$

где M – масса поступательного движущихся частей машины; Y – скорость поступательно движущихся частей; J – полярный момент вращающихся частей; ω – угловая скорость вращающихся частей; W_0 – основное сопротивление движению; i – величина уклона пути для линейных транспортных средств; P – сила тяжести транспортного средства; y – путь торможения.

Существуют тормозные системы, которые можно разделить по типу силы, размыкающей тормоз: ручные, электромагнитные, пневматические, гидравлические, электрогидравлические. В свою очередь тормозные органы делятся на типы по способу реализации тормозной силы:

– с реализацией тормозного усилия через ходовые колеса путем приложения к ним тормозного момента (тормозное усилие зависит от коэффициента сцепления колес с рельсами и тормозной массы);

$$F \le mg\psi$$

– путем прижатия тормозного фрикционного органа к рельсам (тормозное усилие обусловлено коэффициентом трения фрикционного тормозного органа о рельс и тормозной массой);

$$F \le mg\varphi$$

– за счет взаимодействия специального электромагнитного тормозного органа с рельсом (тормозное усилие определяется суммарной силой подмагничивания башмаков к рельсу)

$$F \le \sum K\varphi$$

В первом случае торможение будет эффективным, если отношение тормозного усилия к произведению тормозной массы, ускорения свободного падения и коэффициента сцепления тормозных колес с рельсом будет близко к единице.

При втором способе торможения тормозную силу можно увеличить, подобрав фрикционный материал башмака или его конструкцию, повышающие коэффициент трения.

Подвижной состав, оборудованный электромагнитными тормозами, может развивать большое тормозное усилие, достаточное для экстренной остановки, независящее от его тормозной массы.

Расчетную схему, отображающую систему локомотив - тормозной вагон в режиме служебного или экстренного торможения можно представить в виде системы дифференциальных уравнений:

$$m_0\ddot{x}_0 = c(x_1' - x_0) - F_0 - W_0;$$

$$m_1'\ddot{x}_1' = c(x_1' - x_0) + c_1(x_1 - x_1') + \sum F_{mp} + R;$$

$$m_1'\ddot{x}_1' = -c(x_1 - x_0') - \sum F_{mp} - R - F_1 - W_1;$$

где m_0, m_1, m_1' – массы локомотива, вагона, сквозной продольной тяги со сцепкой соответственно;

c – жесткость сцепки вагона с локомотивом;

c_1 – приведенная к силовому гидроцилиндру жесткость возвратных пружин; F_0 и F_1 – усилия торможения локомотива и вагона соответственно;

W_0 и W_1 – силы сопротивления движению локомотива и вагона соответственно;

$\sum F_{mp}$ – силы трения в гидроприводе; R – позиционная нагрузка.

При составлении уравнений были приняты следующие допущения: отсутствие зазора в сцепке; подвижной состав находится на прямолинейном, горизонтальном участке пути; отсутствие трения между рамой вагона и подвижной тягой; пренебрежение утечек в системе управления, силовом и рабочем оборудовании; неизменность показателей температуры, вязкости и плотности рабочей жидкости в гидросистеме; упругость основания и силового воздействия не оказывает существенного влияния на динамику силовых и рабочих гидроцилиндров, соответственно отсутствие колебаний поршней цилиндров [6–8].

От функционирования тормозных устройств зависит производительность, скорость движения, расход энергии. При этом, для тормозных систем монорельсовых дорог характерным является потребление значительных объемов энергии, превращаемых в тепловую, приводящих к дополнительному износу взаимодействующих элементов, что приводит к дополнительным проблемам для обслуживания подвижного состава (тормозных устройств подвесных монорельсовых дорог), повышает сложность конструкции и увеличивает их стоимость.

Безопасность движения на транспорте является одним из основных факторов, обеспечивающих эффективность работы процесса транспортирования. Любая авария на транспорте приводит к большим материальным, техническим и даже людским потерям.

В связи с увеличением скорости движения современных подвесных монорельсовых дорог и массы перевозимых грузов, повышается требование к эффективности управления и безопасности. Поэтому возникает потребность в постоянном совершенствовании тормозных устройств, работающих под управление машиниста или автоматизированных систем [9–11].

Дальнейшее направление исследования будет направлено на повышение эффективности торможения так как существует необходимость увеличения показателей безопасности и производительности подвесных монорельсовых дорог, уменьшения износа конструктивных элементов и деталей участвующих непосредственно в процессе торможения, что влечет за собой экономические затраты.

Список литературы: 1. Проектирование транспортных систем энергоемких производств / В. А. Будишевский, В. О. Гутаревич, А. А. Пуханов [и др.]; под ред. В. А. Будишевского, А. А. Сулимы; – Донецк: Друк-Инфо, 2008. – 454 с. **2.** Техника и технология погрузки, разгрузки, транспортирования и складирования в энергоемких производствах: учебное пособие для вузов / В. А. Будишевский, В. О. Гутаревич, В. Н. Маценко [и др.]; под ред. В. А. Будишевского, А. А. Сулимы; – Донецк: ДонНТУ, 2000. – 350 с. **3.** Гутаревич, В. О. Обоснование оптимального режима пуска и торможения шахтной подвесной монорельсовой дороги / В. О. Гутаревич, Е. Л. Игнаткина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Москва, 2016. – № 9. – С. 29–36. **4.** Игнаткина Е. Л. Динамические характеристики подвесного пути шахтной монорельсовой дороги // Е. Л. Игнаткина // Вестник ДонНТУ. – 2016. –№6(6). – С. 3–6. **5.** Гутаревич, В. О. Динамика шахтных подвесных монорельсовых дорог: монография / В. О. Гутаревич. – Донецк: ЛАНДОН-XXI, 2014. – 205 с. **6.** Инерционные тормозные устройства на основе замкнутых кинематических контуров / В. С. Исаков; – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. Вузов. Сев.-Кавк. Регион», 2005. – 140 с. **7.** Gutarevych, V. Research on the Influence of Dynamic Load on Suspended Monorail / V. Gutarevych [et al.] // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 806. – P. 23-29. **8.** Naeimi M. Dynamic interaction of the monorail–bridge system using a combined finite element multibody-based model / M. Naeimi [et al.] // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics – 2015. – Vol. 229. – P. 132–151. **9**. Becker Mining Systems [Electronic resource]: website. – Friedrichsthal, 2017. – Режим доступа: http://becker-mining.com, свободный. – Загл. с экрана. **10.** Ferrit. Global Mining Solution [Electronic resource]: website. – Frydlant nad Ostravici, 2015. – Режим доступа: http://ferrit.cz/ru/produkty/podvesnoj-transport, свободный. – Загл. с экрана. **11.** SMT Scharf AG [Electronic resource]: website. – Hamm, 2016. – Режим доступа https://smtscharf.com/deutsch/smt-scharf-gruppe/index.html, свободный. – Загл. с экрана.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК ТРАНСПОРТНОЙ УПАКОВКИ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ И ХРАНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Калинин А. В.[1] , **Мельникова Е. П.**[2] *([1]Донецкая академия транспорта, г. Донецк, ДНР) Тел.: +38 (0957896986; E-mail: daatkav@mail.ru, ([2]Автомобильно-дорожный институт «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка, ДНР) Тел.: +38 (050) 534 25 41; E-mail: melnikova_adi@mail.ru*

Abstract: *In studying the efficiency of the use of vehicles, from the point of view of the technical and operational indicators of the work of road transport, they are divided into two types: the structural features of the rolling stock (operational and technical indicators) and the organization of technical operation of the vehicle (transport and operational indicators). When analyzing the efficiency of using a vehicle in the transportation of certain types of cargo, depending only on the design features, the purpose of the research is the most optimal improvement of the bodywork structures in the direction of specialization and a general increase in their efficiency. As the final indicators of the evaluation of the efficiency of the use of the vehicle, supporters of this direction are mistaken for the instrument, productivity and cost of transportation.*

Keywords: *vehicle, efficiency, transportation, storage, factor, universal container, technological solution.*

Усовершенствование технологического процесса перевозок и повышение качества транспортного обслуживания неразрывно связаны с широким внедрением прогрессивных технологий в организации транспортного процесса. Для оценки эффективности технологических процессов необходимо проводить анализ и аттестацию используемых технологий. Прогрессивные технологические процессы должны основываться на практическом применении специализированных транспортных средств, в том числе универсальных контейнеров и специализированных фургонов с использованием дополнительного оборудования. Усовершенствование технических возможностей транспортных средств, направлено на повышение их производительности в транспортном процессе при перевозке грузов, а также повышение качества транспортного обслуживания участников логистической цепи за счет повышения производительности роботы транспортных средств и сохранности груза.

Внедрение и использование эффективных технических разработок транспортной упаковки для транспортировки и хранения, является актуальной задачей в машиностроительной отрасли, особенно в процессе перевозок грузов с низким коэффициентом использования грузоподъемности. Использование специализированных транспортных средств для перевозки изделий машиностроения позволяющих увеличить фактическую загрузку, тем самым повысить производительность, является основой эффективного планирования перевозок [1].

Применение специализированных транспортных средств, приспособленных для перевозки легковесных изделий машиностроения, позволяет более эффективно организовать транспортный процесс, а именно уменьшить количественные и качественные потери груза в процессе перевозки, а также, уменьшить переменные затраты на перевозку [2, 3].

Перевозчики и посредники, а также производители стремятся использовать дополнительное оборудование и технические средства, позволяющие

максимизировать фактическую загрузку транспортных средств. Данные мероприятия направлены на снижение себестоимости перевозок и увеличение производительности.

Наиболее трудно решаемой задачей, особенно при перевозке изделий машиностроения с максимальным коэффициентом использования грузоподъемности, является перемещение и укладка их в кузове автомобиля с максимальной фактической загрузкой. Но технология проведения этих операций тесно взаимосвязана с технологиями проведения операций погрузки и разгрузки тары-оборудования в кузов автомобиля и из него [1].

Известно применение в данных целях специализированных кузовов-фургонов для перевозки грузов, содержащих размещенное в два яруса направляющее устройство для горизонтального перемещения груза [4] и кузова-фургоны с устройствами, для горизонтального перемещения груза по направляющим при использовании силовых цилиндров для вертикального перемещения [5, 6]. Недостатками данных устройств является их значительная сложность, трудоемкость изготовления, материалоемкость, дороговизна, а также неэффективность использования полезной вместимости подвижного состава, относительно большое время погрузки-разгрузки и отсутствие фиксирующих устройств для подвижных контейнеров при транспортировке.

Известно применение контейнеров [7] с использованием опорной площадки в виде трех шарнирно-соединенных частей, которые, перемещаясь горизонтально, имеют возможность раскладываться. Недостатком данной конструкции является возможность применения на малотоннажных контейнерах для ограниченного списка грузов.

Также известно изобретение [8], предлагаемое для транспортирования и хранения изделий машиностроения как на поддонах, так и без их использования.

С целью обеспечения сохранности груза и повышения фактической загрузки в 1,5–2 раза (но не более) предлагается использовать специализированные транспортные средства, позволяющих осуществлять максимальную фактическую загрузку за счет возможности погрузки в два яруса. В контейнере устанавливается несколько складывающихся полок с учетом его внутренних и внешних геометрических параметров. Груз укладывается в два яруса, по два поддона с грузом на ярус. Сам контейнер расположен в полуприцепе, перевозимым тягачом. Складывающиеся полки должны быть достаточно прочными для того, чтобы выдерживать пакеты весом до 1200 кг. Высокой прочности полок будет соответствовать их масса, а соответственно и снижение грузоподъемности автомобиля.

Рассмотреть особенности и отличия конструктивных особенностей специализированных транспортных средств, позволяющих увеличить фактическую загрузку кузова. Изучить достоинства и недостатки существующих конструкций транспортных средств, и предложить новую, позволяющую повысить производительность транспортных средств для перевозки изделий машиностроения.

Для разрешения проблемы повышения производительности транспортных средств при перевозке тарно-штучных грузов, необходимо более детально изучать параметры транспортного процесса.

Достаточно часто авторы [1–9] подтверждают тот факт, что увеличение фактической загрузки автомобиля в первую очередь, влияет на увеличение производительности. Увеличение производительности роботы транспортного средства, можно достичь за счет более полного использования его номинальной грузоподъемности. Данную цель можно достичь посредством применения дополнительного оборудования, либо его модернизации. Реализация технических решений в модернизации конструкции транспортного средства, особенно актуально,

при перевозки изделий машиностроения. Изделия машиностроения имеют свою особенность в технологии перевозок. А именно, средний показатель коэффициента использования грузоподъемности настолько низок, что в данном случае, фактическая загрузка кузова составляет лишь 20–30%, как от общего объема кузова, так и от общего значения номинальной грузоподъемности транспортного средства. Технические решения в вопросе увеличения загрузки кузова, позволили бы решить задачу, как увеличения провозной способности транспортного средства, так и сокращение сроков доставки запланированного объема груза с обеспечением их максимальной сохранности в пути следования.

Как известно, номинальная грузоподъемность является не только одним из основных параметров автомобилей и автопоездов, но и одной важнейшей составляющей производительности роботы [2, 9]. Действительно, в зависимости от величины номинальной грузоподъемности, согласно нормативных значений прейскуранта 13-01-02, до 1994 г., рассчитывались нормы времени на выполнение погрузочно-разгрузочных работ [10]. При расчете себестоимости перевозок также учитывается как номинальная грузоподъемность транспортного средства так коэффициент использования грузоподъемности [9].

Появляются такие виды грузов, перевозить которые необходимо только на универсальных специализированных транспортных средствах, с целью повышения качества доставки до конечного потребителя с высокой производительностью и оптимальной себестоимостью перевозок. Анализ зарубежных литературных источников показывает [9], что по мере более полного насыщения стран грузовыми автомобилями все большее развитие получают специализированные автомобили и автопоезда. Объясняется такое положение тем фактом, что параметры и конструкции специализированных автомобилей и автопоездов в наибольшей степени отвечают чрезвычайно разнообразным условиям эксплуатации, учитывая при этом интересы грузоотправителей и грузополучателей [9].

В изучении эффективности использования автотранспортных средств, с точки зрения технико-эксплуатационных показателей работы автомобильного транспорта, их разделяют на два вида: особенности конструкции подвижного состава (эксплуатационно-технические показатели) и организация технической эксплуатации транспортного средства (транспортно-эксплуатационные показатели). При анализе эффективности использования транспортного средства в перевозке отдельных видов груза, зависящей только от особенностей конструкции, целью исследований является наиболее оптимальное совершенствование конструкций кузовов в направлении специализации и общего повышения их эффективности. В качестве итоговых показателей оценки эффективности использования транспортного средства, сторонники этого направления принимают за инструмент, производительность и себестоимость перевозок.

Применение рационального транспортного средства для каждого вида перевозок, отвечающего по своим конструктивным параметрам в конкретных дорожных условиях перевозок, обеспечивает снижение транспортных затрат на их выполнение и повышение производительности труда в транспортной отрасли [9]. Для усовершенствование технологического процесса перевозок изделий машиностроения предлагается выполнить за счет применения универсальных контейнеров со складывающимися полками [8]. Предлагаемое изобретение относится к транспортной технике, в частности к универсальным контейнерам для транспортирования, хранения и сохранности изделий машиностроения. Повышения производительности

технологических перевозок продукции можно достичь за счет более полного использования грузоподъемности подвижного состава, путем применения предлагаемого специализированного транспортного средства со складывающимися полками для перевозки изделий машиностроения. Складывающиеся полки выполнены достаточно прочными для того, чтобы выдержать пакеты весом до 1000 кг и более. В предлагаемом контейнере были решены следующие технические задачи: обеспечение удобного размещения, сохранности грузов и более полного использования емкости контейнера с сохранением его универсальности, а также облегчение подготовительно-заключительных работ при удобстве и простоте погрузки-разгрузки. Предлагаемый контейнер выполнен на базе универсального крупнотоннажного контейнера 1 АА (ГОСТ 18 477-79), номинальной грузоподъемностью 30 тонн, усиленного дополнительным каркасом для обеспечения прочности конструкции и возможности крепления элементов полки. В данном контейнере стационарно установлены складывающиеся полки. В контейнере устанавливается несколько складывающихся полок с учетом длины контейнера. Груз, например пакетированный на поддонах, укладывается в два яруса, по два поддона на ярус. Недостатками данной конструкции является снижение грузоподъемности (примерно на 1500 кг для контейнера 1АА), повышение центра тяжести полуприцепа с контейнером, уменьшение внутреннего объема контейнера (около 5 %).

Достоинством данной конструкции является возможность осуществлять перевозку груза в два уровня. Рассматривая модель производительности транспортного средства [8] с учетом применением дополнительного оборудования можно выделить такие основные параметры перевозочного процесса, как фактическая загрузка автомобиля и время погрузки-разгрузки**.**

Выявлены достоинства и недостатки существующих конструкций специализированных транспортных средств, и предложена новая конструкция, позволяющая повысить их производительность при перевозки и хранения изделий машиностроения.

Список литературы: 1. Проблемы совершенствования перевозок грузов и механизации погрузочно-разгрузочных работ: Сб.науч.тр./Гос.НИИ автомоб. трансп. (НИИАТ).-М., 1986.-190 с. **2.** Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. – Киев: Вища школа, 1986. – 447с. **3.** Автомобильные перевозки. Афанасьев Л.Л. и др. М.:Изд-во «Транспорт, 1973. – 320с. **4.** Авторское свидетельство СССР № 510399, кл. В 60 Р 1/24. **5.** Авторское свидетельство СССР № 660865, кл. В 60 Р 1/46. **6.** Авторское свидетельство СССР № 806494, кл. В 60 Р 1/44, В 60 Р 3/00. **7.** Авторское свидетельство СССР № 574361, кл. В 65 D 19/02 Авторское свидетельство СССР № 806494. кл. В 60 Р 1/44. **8.** Авторское свидетельство Украины № 81681. **9.** Чеботаев А. А. Специализированные автотранспортные средства: выбор и эффективность применения. – М.: Транспорт, 1988.— 159 с. **10.** Прейскурант № 13-01-02 «Тарифы на перевозку грузов и другие услуги выполняемые автомобильным транспортом». Киев 1989 г.

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Дьяченко О. В., Кардаполова М. А., Николаенко В. Л.
(БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)
Тел./Факс: +375 (17) 3310045; E-mail: scvdmed@bntu.by

Abstract: *The article presents a comparative analysis of the hardness and tribological characteristics of coatings based on iron after laser treatment and after melting flame of a gas burner. It is showntht micro hardness of coatings increases with the change in the speed of laser processing by 15-20%, the coefficient of friction is influenced by the method of melting and the use of lubricants.*

Keywords: *Laser melting, gas flame fusing, micro hardness of the coating, friction coefficient.*

В общей задаче повышения надежности и долговечности машин важное место занимают вопросы создания на рабочей поверхности деталей износостойких покрытий, существенно изменяющих физико-механические свойства упрочненного слоя и сводящие к минимуму безвозвратные потери металлов и сплавов [1].

Экономически целесообразным решением возникшей проблемы является лазерное упрочнение непрерывным лазером предварительно нанесенных плазменным напылением слоев. [1, 2].

Методы лазерного оплавления широко используются для формирования поверхностей с повышенными эксплуатационными характеристиками. Они позволяют упрочнять обрабатываемые поверхности путем закалки или дополнительного легирования [3–5].

Цель работы: сравнительный анализ твердости и триботехнических характеристик покрытий на железной основе после лазерной обработки и после оплавления пламенем газовой горелки.

Основные элементы порошковой смеси, такие как железо, марганец, углерод, кремний, бор и другие легирующие элементы используются для создания износостойких покрытий. Эти элементы образуют эвтектики и другие высокопрочные компоненты (карбиды, бориды, сложные легированные фазы), которые взаимодействуют между собой при температуре формирования эвтектики. Такие компоненты также обеспечивают высокую твердость и износостойкость, а также относительно высокую пластичность покрытия. В результате в процессе кристаллизации формируется квазиэвтектическая дисперсная структура. Это в значительной степени и предопределяет преимущества покрытий на основе железа по сравнению с другими материалами, используемыми для напыления.

Методика. Для получения покрытий использовали порошок ПР-Х4Г2Р4С2Ф системы Fe-Cr-B-Si, легированный Mn, C, V (таблица 1).В качестве материала подложки использовали сталь 45.

Таблица 1 – Химический состав порошка ПР-Х4Г2Р4С2ФР

Элементы (t%)								
Fe	B	Cr	Si	Mn	C	V	Al	Cu
Основа	3,3–4,3	3,5–4,5	2,0–2,5	2,0–2,5	1,0–1,2	0,5–0,9	0,05–0,5	0,05–0,5

Для плазменного нанесения покрытий был использован блок плазменного напыления УПС-3Д. Это устройство обеспечивает напыление в широком диапазоне различных порошковых материалов: карбиды, силициды, оксиды, самофлюсующихся сплавы

и т. д. В качестве плазмообразующего газа использовался азот под давлением 0,0006 ГПа. Напыление проводили в следующих условиях: ток 280 А и напряжение 70 В. Толщина покрытия составляла 0,6 мм.

Исходные поверхности образцов были приготовлены с использованием пескоструйной обработки, с гранулами 1,2 – 2 мм под давлением воздуха 0,0005 ГПа (5 бар). Образцы (ролики) устанавливали с оправкой в патроне токарного станка, а дистанция плазменного напыления составляла150 мм.

После напыления образцы оплавляли пламенем газовой горелки или лазерным лучом. Температуру пламени контролировали визуально или пирометром.

Оплавление осуществляли с помощью непрерывного лазера ЛГН-702 мощностью N = 800 Вт при диаметрах лазерного луча $d_1 = 1{,}0x10^{-3}$ м, $d_2 = 3{,}0x10^{-3}$ м, со скоростями перемещения $v_1 = 0{,}83 \cdot 10^{-3}$ м/с, $v_2 = 1{,}67 \cdot 10^{-3}$ м/с, $v_3 = 3{,}33 \cdot 10^{-3}$ м/с, $v_4 = 5 \cdot 10^{-3}$ м/с $v_5 = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ м/сс коэффициентами перекрытия $k_1 = 0{,}8$ и $k_2 = 1{,}2$ с целью получения единого фазового состава и заданных свойств по всей толщине покрытия.

Методика трибологических характеристик

Обсуждение результатов. С увеличением скорости сканирования лазерного луча, микротвердость покрытия возрастает и достигает наибольших значений при максимальных скоростях[6]. Это объясняется последовательными изменениями микроструктуры из равновесного состояния в метастабильное - пересыщенную карбидо-боридную фазу.

Минимальные значения микротвердости наблюдали в покрытиях после переплава пламенем горелки. Это связано с тем, что структура покрытия в этом случае является равновесной глобулярной [2].

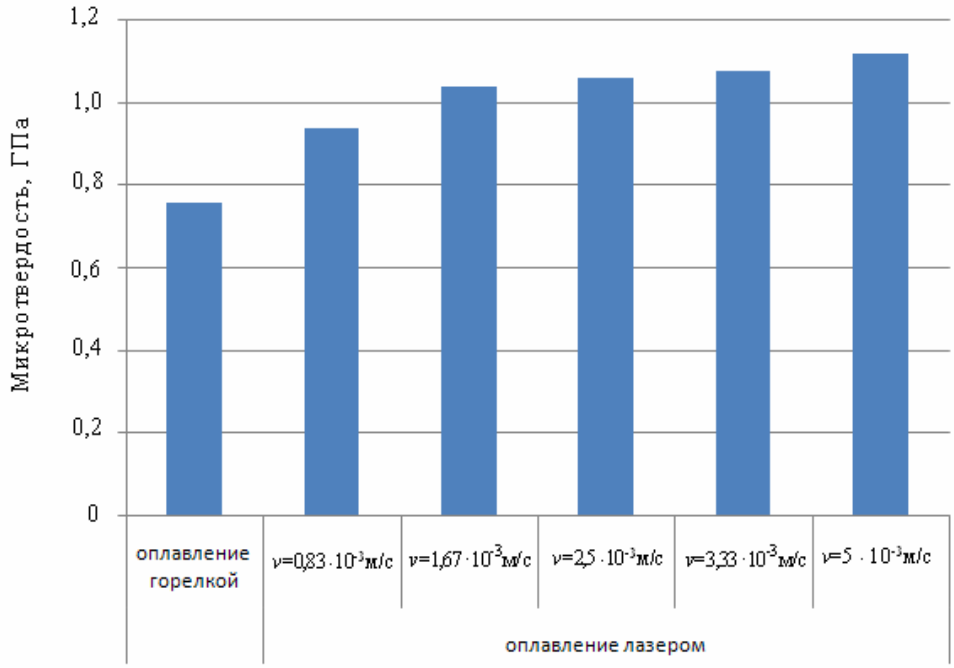


Рис. 1. Микротвердость покрытий после оплавления в пламени горелки и лазерного оплавления без легирования

Результаты анализа влияния технологических режимов получения покрытий после оплавления в пламени газовой горелки и лучом лазера при скорости сканирования

v= 3,33 · 10^{-3} м/см/с в условиях их работы со смазочным материалом для средних значений коэффициентов трения показаны на рисунке 2. При этом скорость стабилизации износа покрытий обеспечивается достаточно высокой их микротвердостью (рисунок 1). Как видно из рисунка 2 по сравнению с покрытием, оплавленным газовой горелкой, при лазерном переплаве покрытий без легирования коэффициент трения снижается незначительно. Коэффициент трения снижается также при наличии смазки.

Анализ влияния технологии нанесения покрытий и смазки на весовой износ для покрытий, обработанных пламенем горелки и лазером на скорости сканирования 3,33·10^{-3} мм/с приведены на рисунке 3. В случае переплава пламенем горелки использование смазки имеет небольшое преимущество. В случае лазерного переплава степень весового износа не изменяется для различных условий смазки.

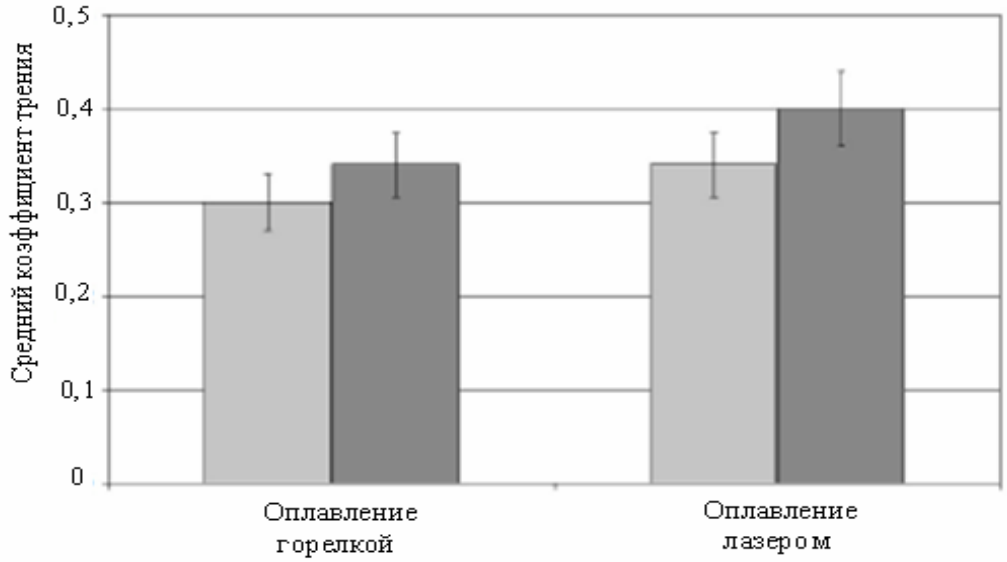


Рис. 2. Средние коэффициенты трения в зависимости от технологии обработки покрытия и условий смазки

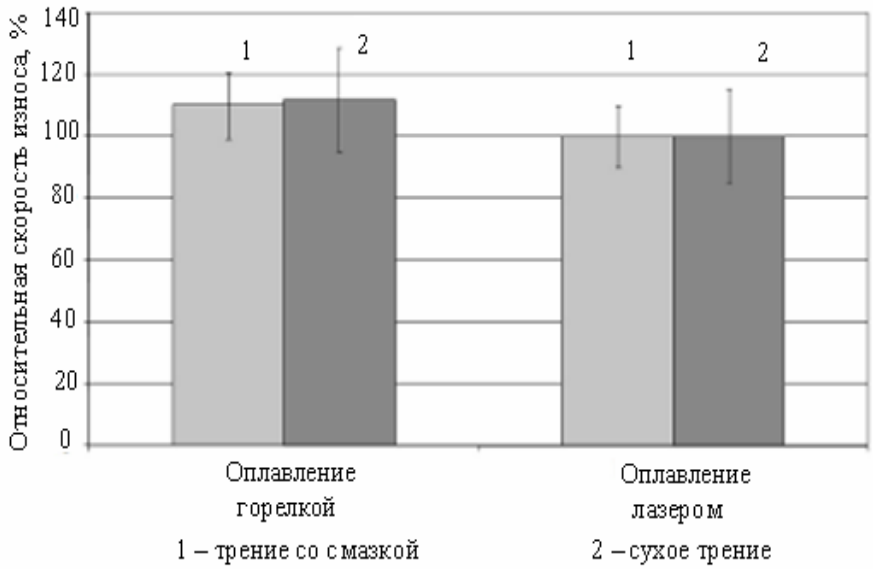


Рис. 3. Относительные темпы весового износа в зависимости от технологии обработки покрытия и условий смазки

Выводы. При оплавлении покрытий пламенем горелки покрытие находилось в расплавленном состоянии и охлаждалось достаточно долго,что и привело к получению равновесной глобулярной структуры.Микротвердость покрытий составляла 7,8 ГПа.

Лазерное оплавление, особенно на повышенных скоростях, приводит к образованию метастабильных, а следовательно, и более твердых микроструктур.

Микротвердость покрытия после лазерного оплавления увеличивается с 9,4 при $v= 0{,}83 \cdot 10^{-3}$ мм/с до 11,2 ГПапри $v = 5 \cdot 10^{-3}$ мм/с.

Лазерный переплав вызывает в среднем незначительное снижение коэффициентов трения, а также относительную скорость износа покрытия. Относительная величина скорости износа не изменяется при различных условиях смазки после лазерной обработки. Однако в случае оплавления пламенем горелки использование смазки имеет небольшое преимущество.

Список литературы: 1. Витязь, П. А. Основы нанесения износостойких, коррозионно-стойких и теплостойких покрытий / П.А. Витязь, А. Ф. Ильющенко, А. И. Шевцов – Минск: – Беларускаянавука – 2006. – 363 с. **2.** Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки: Учебное пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров / Под ред. А. Г. Григорьянца – М.: изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2006.– 664 с. **3.** Fauchais, P. and Vardelle, A. (2012) ‘Thermal sprayed coatings used against corrosion and corrosive wear’, in Jazi, H. S. (Ed.): Advanced Plasma Spray Applications, pp.3–38, InTech, Rijeka. **4**. Otsubo, F., Era, H. and Kishitake, K. (2000) ‘Structure and phases in nickel-base self-fluxing alloy coating containing high chromium and boron’, Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 9, No. 1, pp.107–113. **5.** Akebono, H., Komotori, J. and Suzuki, M. (2006) ‘The effect of coating thickness on fatigue properties of steel thermally sprayed with Ni-based self-fluxing alloy’, International Journal of Modern Physics B, Vol. 20, No. 25, pp. 3599–3604 **6.** Дьяченко, О. В. Повышение физико-механических свойств газотермических покрытий системы Fe–Cr–B–Si лазерным легированием / О. В. Дьяченко // Инженерно-физический журнал. – 2003 г.–Т. 76, № 6. – С. 188–190.

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ

Коваленко В. И., Шахова И. А. *(ДонНТУ, г. Донецк)*
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

***Abstract**: The change of some parameters of a drill (geometrical values of angles, depth of a removed layer) along a cutting edge of the tool on the basis of both references and data obtained by authors is adduced.*
***Keywords**: drill, factor, stability, radial force, calculation*

Работа сверла во многом определяется его конструкцией, в частности, геометрическими углами, характеризующими режущие свойства инструмента. В обычной практике инженерных расчетов значения геометрических параметров углов принимаются постоянными. В то же время более углубленное рассмотрение вопроса показывает, что некоторые из геометрических углов изменяют свои значения вдоль режущей кромки инструмента, что может оказать существенное влияние на процесс резания, в том числе на силы резания, а значит, и на точность обработки.

Целью работы является определение изменений некоторых параметров сверла (геометрических значений углов, толщины снимаемого слоя), полученных как при анализе литературных источников, так и в рассмотренном в работе примере.

Известно [1, …, 3], что некоторые параметры, характеризующие процесс резания, являются переменными в зависимости от положения произвольной точки А режущей кромки сверла, в которой они измеряются. Величина угла μ (рис. 1) определяется зависимостью

$$\sin\mu = r_c / r_x , \qquad (1)$$

где r_c и r_x – соответственно радиус сердцевины сверла и текущий радиус произвольной точки режущей кромки. На рис. 1 также обозначено: r – номинальный радиус сверла.

Необходимые для последующего анализа расчетные зависимости геометрических параметров λ, φ и γ_N определяют на основании данных работ [3, 4].

Угол наклона главной режущей кромки:

$$\sin\lambda = [(r_c / r)\sin\varphi'] : (r_x / r) , \qquad (2)$$

где φ' – угол при вершине сверла.

Углы φ и φ' связаны соотношением:

$$tg\varphi = tg\varphi' \sqrt{1 - \left(\frac{r_c / r}{r_x / r} \right)^2} \text{ ; или } \qquad tg\varphi = tg\varphi' \sqrt{1 - \left(\frac{r_c}{r_x} \right)^2} . \qquad (3)$$

Толщина срезаемого слоя при сверлении является переменной величиной и также зависит от положения анализируемой точки на режущей кромке сверла [3,4]:

$$a = 0{,}5s \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{ctg\varphi}{\cos\mu} \right)^2}} , \qquad (4)$$

где s – подача инструмента.

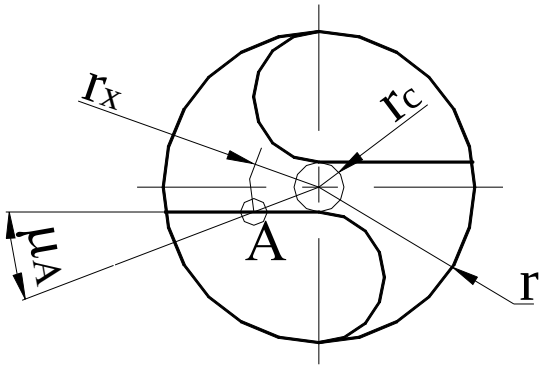


Рис. 1. К определению угла μ.

Передний угол в нормальной секущей плоскости (рис. 2) определяется из выражения

$$\gamma_N = \gamma_2 - \gamma_3 , \qquad (5)$$

где углы γ_2 и γ_3 определяются на основе некоторых других конструктивных параметров сверла. Выражение для определения угла γ_2 зависит от вида передней поверхности сверла.

Например, для плоской передней поверхности

$$tg\gamma_2 = \operatorname{tg}\gamma_1 / \sin\varphi' ; \qquad (6)$$

для передней поверхности, выполненной в виде винтовой канавки

$$tg\gamma_2 = \frac{(r_x/r)\cdot tg\omega\cdot\cos\mu}{\sin\varphi' - (r_x/r)\cdot tg\omega\cdot\sin\mu\cdot\cos\varphi'} . \qquad (7)$$

Угол γ_3 от вида передней поверхности не зависит:

$$tg\,\gamma_3 = \operatorname{tg}\mu\cdot\sin\varphi' . \qquad (8)$$

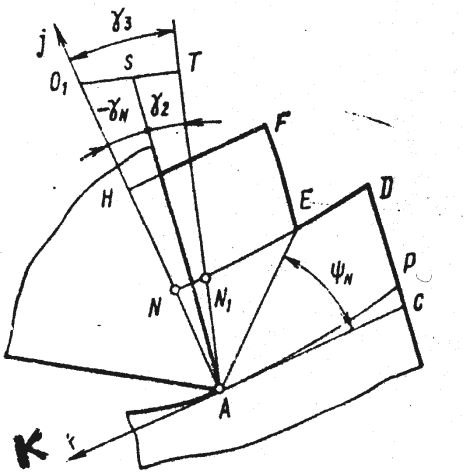


Рис. 2. Элементы резания в нормальной секущей плоскости; ψ_N- нормальный угол сдвига.

Для определения количественных значений исследуемых параметров рассмотрим конкретный пример. Пусть выполняется сверление отверстия D = 23,6 мм длиной l = 60 мм в чугуне НВ 187 – 196 (σ_B = 150 МПа) твердосплавным сверлом с плоской передней поверхностью, имеющим следующие конструктивные параметры: двойной угол при вершине сверла $2\varphi'$ = 118°; ω = 30°; γ_1 = 6°; r_c = 0,15r.

В соответствии с рекомендациями «Справочника» [1] получаем следующие элементы режимов резания: глубина резания t = 11,8 мм, подача s = 0,31 мм/об. Для указанных значений исходных данных, по вышеприведенным выражениям, определены числовые значения конструктивных параметров сверления, приведенные в табл. 1. В этой же таблице, для сопоставления, помещены также аналогичные значения параметров, принятые по литературным источникам [3, 4].

Таблица 1 – Значения некоторых параметров процесса сверления.

r_x / r	μ		λ			φ	
	[3]	*	[3]	[4]	*	[4]	*
1,0	8°30’	8°37’	-7°30’	-9°15’	-7°23’	58°30’	58°43’
0,8	10°50’	10°48’	-9°20’	-	-9°15’	-	58°33’
0,6	14°30’	14°24’	-12°30’	-	-12°22’	-	58°11’
0,4	22°	22°02’	-19°	-	-18°45’	-	57°03’
0,2	48°30’	48°36’	-40°30’	-47°30’	-40°00’	46°10’	47°45’

r_x / r	γ_3	γ_N		a			
	*	[4]	*	[2]	[4]	*	
1,0	4°28’	1°30’	2°31’	0,43 s	0,426 s	0,426 s	0,132 мм
0,8	5°37’	-	1°22’	-	-	0,426 s	0,131 мм
0,6	7°34’	-	-0°35’	0,43 s	-	0,419 s	0,130 мм
0,4	11°46’	-	-4°47’	-	-	0,410 s	0,127 мм
0,2	30°17’	-32°10’	-23°18’	0,38 s	0,33 s	0,294 s	0,091 мм

Примечание. Звездочкой (*) помечены значения параметров, полученные в настоящей работе.

Выводы.

Анализ данных табл. 1 показывает, что числовые значения анализируемых параметров, полученные в настоящей работе, сопоставимы с соответствующими данными, полученными из литературных источников. В качестве замечания отметим, что в этих источниках отсутствуют некоторые сведения по изменению параметров вдоль режущей кромки сверла, например, при вычислении значений углов λ, φ, γ_N и a. В то же время в данной работе аналогичные значения получены по всем значениям отношения (r_x / r); кроме того, приведены также числовые значения по параметру γ_3 , которые отсутствуют в вышеназванных работах.

Полученные результаты могут рассматриваться как исходный материал для последующих расчетов - например, для определения действующих в процессе сверления сил резания (в том числе неуравновешенной составляющей радиальной силы резания), увода оси отверстия, погрешностей формы обработанной поверхности в продольном сечении.

Список литературы: 1. Справочник инженера-технолога в машиностроении / Бабичев Анатолий Прокофьевич [и др.]; А. П. Бабичев, И. М. Чукарина, Т. Н. Рысева, П. Д. Мотренко. – Ростов н/Д : Феникс, 2006. – 541с. **2.** Баранов А. В. Расчет режимов резания при обработке отверстий осевым инструментом. // Вестник машиностроения. 2002, № 2, с. 45 – 48. **3.** Бородина Н. В. Теория резания металлов Текст: конспект лекций / Н.В. Бородина. Екатеринбург: Изд-во ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2010. 131 с. **4.** Холмогорцев Ю. П. Оптимизация процессов обработки отверстий. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНОСФЕРА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Кругликов П. А., Смолкин Ю. В., Сухоруков Ю. Г.
(ОАО «НПО ЦКТИ», г. Санкт-Петербург, Россия)

Annotation: *The state and existing limitations affecting the implementation of programs for the large-scale development of nuclear energy in the world and in Russia are considered. The main development trends and their diversity in different countries are indicated. Conclusions are made on the need for the state to support the development of domestic nuclear power and power engineering.*

Keywords: *nuclear power plant, NPP development programs, cost indicators, installed capacity.*

Электроэнергетика России, в настоящее время все еще не достигла уровня производства электроэнергии 1991 г. Производство ее в дореформенный период составляло 1 100 млрд. кВт час, в период наибольшего провала (1998 г.) ~825 млрд. кВт час, а в 2016 г. выросло, по сравнению с 2015 г., на 2,1% и составило 1072 млрд. кВт час.

Особую роль в этих колебаниях производства электроэнергии играла атомная энергетика, которая, несмотря на общие процессы стагнации, заняла свою нишу в электроэнергетике страны. Бурный рост атомной энергетики во 2-ой половине XX века породил большие надежды и ожидания. Возникали многочисленные программы и прогнозы, предсказывавшие блестящее будущее этому направлению в энергетике. И до определенного момента указанные ожидания сбывались. Если в 1970 г. доля АЭС в общем мировом производстве электроэнергии составляла 2%, то уже в 1996 г. достигла исторического пика 17,6%. Необходимо отметить, что в 2005 г. доля производства АЭС в электроэнергетике составила только 16% [1], хотя и выросла по абсолютной величине, а в период 2012–2016 г.г. составляла не более 11% [6].

Эйфория по поводу широкомасштабного развития атомной энергетики не миновала и Россию. Еще в 2005 г. в Правительство РФ была представлена программа «25+25», цифры которой означали достижение на АЭС 25% производства электроэнергии от общего объема ее выработки в стране к 2025 г. Предполагалось, что с 2008–2010 г.г. будет вводиться ежегодно не менее 2 ГВт атомных мощностей, а после 2012 г. их ввод увеличиться до 3 ГВт [2]. За этот же период планировалось получить соответствующие заказы на 40–60 ГВт мощностей за рубежом.

Указанный сценарий оказался не реалистичным. В РФ за период 2008–2015 г.г. введено всего 3,8 ГВт атомных мощностей. Планы по увеличению энерговыработки на АЭС России требуют трезвого анализа путей повышения энергоэффективности действующих АЭС, возможностей создания новых мощностей, а также проблем и рисков . связанных с реализацией подобных планов.

Рассмотрим конспективно существующие условия и ограничения для выполнения широкомасштабной атомной программы.

1. Научный и проектный задел. Высокий уровень проектных и технологических разработок удается сохранить благодаря опережающим разработкам прошлых лет. Применительно к АЭС разработаны перспективные отечественные технологии, реализующие воспроизводство ядерного топлива и принципы

естественной безопасности с одновременным повышением конкурентоспособности и технологической безопасности АЭС. К числу таких проектов относятся:

– энергоблоки с ВВЭР ТОИ, мощностью 1200–1500 МВт;
– АЭС с реактором БН-1200;
– опытно-промышленная установка БРЕСТ-ОД-300;
– ядерные установки малой мощности (до 200 МВт) на базе судовых технологий;
– АЭС средней мощности (до 1000 МВт) на повышенные параметры (до 8 МПа).

2. Кадровый потенциал.

Рост мощностей АЭС на ~2 ГВт в год потребовал бы ежегодного притока в отрасль эксплуатационного персонала различной квалификации порядка 2000 чел. Возраст ведущих специалистов в НИИ, КБ и проектных организациях в лучшем случае предпенсионный, а количество и качество студентов, обучающихся соответствующим специальностям, оставляет желать лучшего.

3. Проблема захоронения отходов ядерного топлива (ОЯТ) и консервации АЭС.

Из заявлений руководителей атомной отрасли в открытой печати следует, что станционные хранилища ОЯТ заполнены в среднем на 80%, а новые станционные хранилища находятся в стадии проектирования или начале строительства [3] .

Стоимость консервации АЭС, отработавших свой срок, по экспертным оценкам составляет не менее 30% стоимости строительства новой АЭС. Пока решение этой проблемы в большинстве случаев удается откладывать, благодаря продлению срока службы оборудования до 60 лет.

4. Топливообеспечение, включая геологоразведку, добычу, обогащение урана и переработку ОЯТ.

Потребление урана на отечественных АЭС (~8,5 тыс.т в год) превосходит его добычу и обогащение в РФ. Используется значительная часть урана из складских запасов, сделанных еще во времена СССР, которые при существующих темпах потребления урана могут закончиться после 2020 г. Чтобы довести уровень добычи урана до нужных потребностей, понадобится реализовать дорогостоящие разработки труднодоступных залежей, разведанных в РФ (Якутия), создание совместных предприятий для добычи урана в странах СНГ и закупкой урановых месторождений за рубежом. Эту программу в настоящее время и реализовывает Росатом, в частности его дочка «Атомредметзолото» (АРМЗ), создавшая СП с мировым игроком Cameco и ведущее переговоры с рядом стран Африки, Монголией, Австралией. Проблема спроса на уран чрезвычайно остра и в мировом масштабе, по ряду оценок общий спрос на уран превышал его мировую добычу в 2010 г. в ~1,3 раза [1].

Современная атомная энергетика основана на использовании реакторов на тепловых нейтронах (ВВЭР – за рубежом PWR, и РБМК – за рубежом BWR). Эти реакторы позволяют использовать не более 1% потенциальной энергии природного урана. Поэтому значительные масштабы развития атомной энергии могут быть ограничены мировыми запасами относительно дешевого природного урана. В настоящее время в мире установлено около 400 млн. кВт электрической мощности АЭС. Для обеспечения их работы нужно добывать ежегодно не менее 40 000 т

природного урана. Для 60 лет эксплуатации существующих АЭС понадобится не менее 2,4 млн. т урана. Известные мировые запасы урана около 5,5–7,0 млн. т.

В настоящее время стоимость ядерного топлива, примерно, в 4 раза меньше органического топлива. Но по мере разработки все более дорогих месторождений она будет увеличиваться.

Поэтому при известных мировых запасах природного урана невозможно рассчитывать на значительное развитие атомной энергетики.

Поэтому в мире, и первое место здесь занимает Россия, серьезное внимание уделяется развитию атомных реакторов на быстрых нейтронах, которые позволяют теоретически использовать 100% потенциальной энергии природного урана (БН-1200, БРЕСТ-ОД-300).

5. Возможности энергомашиностроения и строительной базы.

Существующая в РФ энергомашиностроительная база в настоящий период также не может быть признана адекватной масштабу задач, стоящих перед атомной отраслью. Использование импортного оборудования на АЭС следует признать неприемлемым, поскольку такой путь чреват уничтожением собственного машиностроения и попаданием в жесткую технологическую а, следовательно, и политическую зависимость от стран-поставщиков.

Проблема энергетической безопасности заключается не только в поддержке и расширенном воспроизводстве энергомощностей, но и в сохранении отечественного энергокомплекса как суверенного для внешнего мира субъекта. За рубежом, несмотря на декларируемую либерализацию экономики, чрезвычайно жестко отстаивают свою энергетическую безопасность. Попытка итальянской корпорации Enel купить компанию Suez, контролирующую до 15% французского рынка электроэнергии, вызвала изменение законодательства Франции и слияние ее с национальной компанией Gar de France. Намерение немецкого концерна EON купить испанскую энергокомпанию Endesa было отклонено правительством, вследствие запрета крупных зарубежных инвестиций в энергетику. Высказанное отечественным Газпромом желание приобрести британскую газораспределительную компанию Centrica, вызвало изменение закона о предпринимательстве, поскольку сделка затрагивала государственные интересы. Очевидно, что при возникновении угрозы энергетической безопасности либеральные экономические принципы, вопреки декларациям, понимаются избирательно.

Таким образом, чрезвычайно актуальной задачей является расширение и обновление технологической базы энергомашиностроения России, определенность и гарантированность будущих серийных заказов, позволяющие снизить цены на продукцию машиностроения и сократить производственный цикл. Пока резерв технологических мощностей отечественного машиностроения способен увеличить рост производства на десятки процентов, но не в разы, как это предполагалось ранними программами развития.

6. Инвестиционные возможности сооружения АЭС.

Кризис в экономике 2008–2014 г.г. в сочетании с фукусимской аварией в 2011 г. привел к резкому удорожанию стоимости сооружения АЭС. Эта тенденция касается не только России, в связи с резким обвалом рубля, но и прослеживается в мировой атомной энергетике.

Например, для энергоблока с реактором EPR-1650 нового поколения, сооружаемого во Франции с 2007 г., неоднократно переносится дата пуска (сейчас уже

на конец 2018 г.) и объем инвестиций уже превысил 5 тыс.евро/кВт установленной мощности. Стоимость пущенного в России энергоблока с БН-800 в переводе на современный курс рубля составила более 3 тыс.долл./кВт. Межправительственное соглашение РФ и Египта о строительстве АЭС с ВВЭР-1200 предусматривает выделение кредита, соответствующего стоимости установленного кВт на уровне 5 тыс.долл.

К вышеуказанным ограничениям по развитию атомной электроэнергетики следует добавить определенную настороженность населения в местах строительства АЭС и существующие риски возникновения крупномасштабной аварии типа Чернобыльской и Фукусимской.

Отмеченные сложности и ограничения, влияющие на судьбу атомного развития в РФ, отмечаются и в мировой атомной энергетике. Несмотря на то, что АЭС стали традиционной отраслью энергетики и в 2016 г. 31 страна их эксплуатировала (общей мощностью 391,8 ГВт), доля производства электроэнергии на АЭС в мировом масштабе снизилась с 17,6% в 1996 г. до 10,9% в 2015 г., хотя абсолютная мощность их возросла [5]. В мире существуют различные тенденции относительно развития атомной энергетики. Доля энергопроизводства на АЭС в национальном энергокомплексе Франции превышает 77%, в энергобалансах Украины, Словакии, Венгрии соответственно, 57%, 56%, 53%. В 13 странах эта доля превышает 30%. Италия закрыла все имевшиеся АЭС, а такие страны как Германия, Испания, Бельгия, Швейцария осуществляют долгосрочную политику по отказу от ядерной энергетики. Остановлены ядерные программы, и планируют отказ от ядерной энергетики Австрия, Нидерланды, Швеция, Литва, Польша и ряд других стран.

В то же время реализовываются крупномасштабные программы развития АЭС в КНР, Индии. Южной Корее. При этом КНР является одним из лидеров по установленной мощности АЭС, однако они дают только около 2,5% электричества страны. Уже к 2020 г. КНР планирует увеличить мощность АЭС до 58 ГВт эл.

Одним из основных аргументов в пользу развития АЭС в Китае является стремление улучшить экологическую ситуацию, вызванную использованием угля на электростанциях.

Одним из важнейших преимуществ атомной энергии считается полное отсутствие выбросов двуокиси углерода. Более того, выбросы радиоактивных элементов АЭС при нормальной работе в несколько раз меньше, чем угольной электростанции.

Годовая выработка АЭС Китая в 2016 г. составила уже 210 млрд. кВт*ч, что превышает выработку электроэнергии на АЭС в России.

Мировым лидером по установленной мощности являются США, однако их ядерная энергетика составляет лишь 20% в общем энергобалансе страны, при установленной мощности 99,9 ГВт.

Окончание эйфории по поводу крупномасштабного и всеобъемлющего развития атомной энергетики в РФ, по сути, зафиксировано во вновь разработанной программе «Энергостратегия-2035» [4.]

Отмечается отставание производств электроэнергии в РФ атомными станциями даже от пессимистического варианта предыдущей программы «Энергостратегия-2030». Предусматривается, что в общем балансе производства электроэнергии доля АЭС

будет составлять к 2035 г. 18?17% по оптимистичному и консервативному сценарию соответственно.

По сути, уже не предусматривается опережающий рост АЭС в электроэнергетике. Предусматривается синхронизация вводов новых блоков с выводом устаревших, при этом рост мощностей АЭС за период 2015–2036 г.г. составит ~8 ГВт. Уделяется внимание «развитию технологий вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС». Одной из важнейших задач провозглашается достижение экономической конкурентоспособности новых АЭС путем снижения удельных затрат на их сооружение при сохранении приоритета безопасности. Предполагается утверждение новой «Энергостратегии» Правительством осенью 2017 г.

Выводы.

1. Атомная энергетика является одной из высокотехнологичных отраслей, в которых Россия сохраняет технологическое лидерство.
2. Развитие атомной энергетики важно не только для обеспечения устойчивой работы энергосистемы и сохранения технологического лидерства, но и для обеспечения энергетической и политической безопасности страны.
3. Развитие атомной энергетики РФ и ядерного топливного цикла требует неотложного решения ряда актуальных задач:

– повышения конкурентоспособности перспективных проектов АЭС путем снижения их стоимостных показателей без ущерба безопасности;

– совершенствование и удешевление технологий консервации АЭС отработавших свой срок и переработки ОЯТ;

– развитие энергомашиностроительного комплекса, включая политику импортозамещения и государственную поддержку отечественного машиностроения.

Список литературы: 1. Перспективы атомной энергетики в мире. 2016.ИЭИ РАН. www.eritas.ru/files/forecast_2016_rus_presentation.pdf. **2.** Энергетика и промышленность России 17.07.2006 г. **3.** Новые известия 13.07.2006 г.: Независимая газета 17.07.2006 г. **4.** Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. Минэнерго. Проект (февраль 2017 г.). **5.** Атомная энергетика по странам. https://ru.wikipedia.org/wiki. **6.** Значимость атомных электростанций www.atomic-energy,ru/news/2016.

ПОВЫШЕНИЕ РОЛИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ ОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОФИЛЯ

Кузнецова О. П., Юмаев Е. А., Макаров В. В., Тищенко Н. И.
(Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия)
E-mail: egorumaev@gmail.com

Abstract. *The quality of engineers training is steadily increasing in the regional flagship Omsk State Technical University due to the creation of innovative scientific and educational environment of the world level. The article presents key directions where the University has achieved notable successes in motivating pupils and students to master engineering specialties. Based on the results of the study, one suggested developing professional trainings for engineering students, expanding the educational activities of the basic chairs, launching the "Omsk Irtysh Land Personnel Reserve" information system.*
Keywords: *educational services, higher education, competitive specialists, graduate employment, high-tech industry, professional trainings, students' portfolio, the Omsk region.*

В разных регионах мира подходы к организации обучения специалистов инженерного профиля существенно разнятся. Отличия состоят, прежде всего в учебных программах, структуре профессорско-преподавательского состава, особенностях финансирования научных исследований [3]. Общемировыми трендами в подготовке инженеров являются «конкретная и прагматичная» педагогика, последовательное уменьшение доли теоретической подготовки, гибкая адаптивность к изменяющейся среде, возможность студенту «конструировать» наполнение своей образовательной программы [4].

Принципиально важно мотивировать студентов непрерывно повышать свой образовательный уровень в течение всей жизни. Скорость устаревания знаний такова, что без постоянной «подпитки» новыми компетенциями отлично подготовленный сегодня инженер завтра не сможет найти работу, соответствующую полученному образованию [1].

В региональном опорном Омском государственном техническом университете реализован комплексный подход к формированию мотивации у будущих специалистов к обучению. Работа начинается еще до поступления будущих студентов в университет и продолжается даже после получения диплома о высшем образовании.

В ОмГТУ работает 17 научно-образовательных ресурсных центров [3], оснащенных уникальным оборудованием. Помимо использования в образовательном процессе и проведении научных исследований, центры выполняют важную роль в развитии интереса школьников средних и старших классов к инженерным специальностям, в профориентационной работе с молодежью. Экскурсии школьников в ресурсные центры стали резонансным новшеством ОмГТУ в масштабах региона.

Новейшее оборудование, демонстрация его возможностей неизменно вызывает огромный интерес у школьников. После посещения экскурсий в ОмГТУ они делают осознанный выбор будущей инженерной профессии и заблаговременно начинают к ней готовиться.

Знаковым событием для всей Омской области станет открытие в университете Политехнического музея, в число приоритетных задач которого войдет популяризация

инженерного образования среди школьников. Музей станет крупной площадкой для проведения научно-познавательных мероприятий регионального, всероссийского и международного масштаба, позволит вовлекать молодежь в научно-техническое творчество, выявлять наиболее перспективных ребят и оказывать им поддержку.

В ОмГТУ широко развита система занятий со школьниками в тематических кружках, которые также выполняют важную роль в первичной профориентации будущих инженеров, позволяют ребятам сформировать комплексное представление о различных инженерных профессиях.

За последние несколько лет в Омском государственном техническом университете прошла масштабная реновация учебного оборудования, было открыто значительное число новых лабораторий. Университет идет в ногу со временем и делает все необходимое, чтобы соответствовать вызовам сегодняшнего дня. На основе анализа новейших тенденций ОмГТУ на сегодняшний день располагает самым современным оборудованием, какого нет даже на промышленных предприятиях региона. Молодые выпускники, приходящие на производства, распространяют информацию о возможностях новейшего высокотехнологичного оборудования, побуждая руководство предприятий к обновлению технологической базы. Таким образом Омский государственный технический университет вносит свой вклад в процесс технологического обновления промышленности Омской области.

Высокую эффективность в деле повышения мотивации студентов ОмГТУ к обучению показывают:

– приглашение опытных практиков для преподавания дисциплин, наиболее близко соотносящихся с получаемой инженерной профессией;

– проведение выездных занятий по отдельным темам учебных дисциплин непосредственно на промышленных предприятиях;

– увеличение числа интерактивных занятий за счет широкого использования возможностей мультимедийного оборудования, которым оснащается все большее число лабораторий и учебных аудиторий;

– с целью формирования дополнительных практических навыков у студентов кафедры ОмГТУ изыскивают возможность запуска проектов по дополнительному образованию, в том числе приглашая для реализации этих программ специалистов-практиков промышленных предприятий. Речь идет о формировании компетенций сверх обычной программы, что повышает ценность выпускников для промышленных предприятий;

– в последние годы в ОмГТУ все чаще приглашаются специалисты-практики, представители науки, органов власти для выступления на научно-практических семинарах, во время которых студенты имеют возможность узнать новейшую информацию о тенденциях в той или иной отрасли, задать вопросы авторитетным специалистам.

Для подготовки разносторонне образованных специалистов инженерного профиля Омский государственный технический университет взаимодействует с крупнейшими промышленными предприятиями, научно-исследовательскими институтами по вопросу открытия на их территории совместных базовых кафедр. К середине 2017 г. Омским государственным техническим университетом создано 17 базовых кафедр на предприятиях и в организациях Омской области.

Для успешного карьерного роста каждому студенту важно найти свою дорогу и дело по душе. Профессиональные склонности человека во многом определяются его врожденным психологическим типом, сильными и слабыми сторонами личности.

Для того, чтобы развить навыки самопрезентации и самостоятельной работы над повышением конкурентоспособности на рынке труда, целесообразно проводить профессиональные тренинги со студентами инженерных специальностей, начиная с первого курса обучения. Студентам необходимо объяснять, как позиционировать себя на рынке труда, как правильно ставить карьерные цели и как разработать план для достижения этих целей.

Необходимо разработать различные тренинги. Например, профессиональный тренинг «Как найти работу в условиях кризиса». На нем студенты узнают, как найти работу своей мечты, диагностировать карьерный кризис, где искать вакансии, как переходить в другую отрасль в связи с изменениями на рынке труда и как преодолеть риски этого перехода, как правильно составлять резюме и сопроводительное письмо, проходить собеседование, получить повышение по заработной плате и должности. Будут рассматриваться вопросы переезда за карьерой в другой город и как это сделать максимально эффективно. Будут освещены общие аспекты экономического кризиса, в том числе его стадии, изменения на рынке труда.

Важным элементом системы подготовки высококвалифицированных специалистов являются, по нашему мнению, эффективные формы содействия трудоустройству выпускников. С начала мирового экономического кризиса 2008 г. Россия сталкивается со все новыми проблемными вопросами, одним из которых является занятость населения, поэтому для помощи молодежи в успешном карьерном старте необходим поиск новых подходов.

Решить проблему поможет создание на базе официального интернет-портала www.omgtu.ru информационной системы «Кадровый резерв Омского Прииртышья». Новая информационная система позволит студентам представить свои достижения, навыки, знания и профессиональный опыт. Работодатели получат возможность самостоятельно отобрать успешных выпускников и молодых специалистов для прохождения практики, стажировки и, конечно же, приема на работу. Информационная система будет носить открытый характер, т.е. каждый студент сможет просмотреть портфолио своего одногруппника, сокурсника и т.д. В ее составе появятся такие разделы, как «Соискателю», «Работодателю», «Достижения студентов», «Компании-партнеры», «Мониторинг трудоустройства» и др.

Информационная система «Кадровый резерв Омского Прииртышья» не ограничится банком резюме студентов и выпускников, но предоставит студентам широкие возможности в своем позиционировании на рынке труда. В базе данных будет накапливаться информация о компетенциях студентов, полученных в процессе обучения и в дальнейшем. Оценив их, работодатель может пригласить студента/выпускника на практику, стажировку, собеседование. Для обеспечения контроля входящей информации от студентов/выпускников целесообразно предусмотреть загрузку материалов портфолио выпускающей кафедрой, а также введение внутреннего экзамена для определения уровня владения иностранным языком с опубликованием результатов в информационной системе.

Целесообразно рассматривать систему «Кадровый резерв омского Прииртышья» как социальную сеть закрытого типа, участниками которой будут студенты как

проходящие обучение, так и окончившие университет, сотрудники университета, работодатели. Можно пойти еще дальше и расширить круг участников за счет абитуриентов, – это позволит усилить возможности Омского государственного технического университета по привлечению талантливой и перспективной молодежи.

Выпускники в течение неограниченного времени после окончания университета смогут продолжать улучшать и обновлять свои резюме, получая все новые предложения от работодателей. В будущем необходимо стремиться к тому, чтобы студенты и выпускники получили возможность выбрать лучшую работу из целого ряда поступивших от промышленных предприятий и организаций заявок. Работодатели получат возможность написать студентам или выпускникам с предложением обсудить вопросы возможного трудоустройства.

Таким образом, Омский государственный технический университет находится в непрерывном поиске новых эффективных форм активизации научно-познавательной деятельности будущих инженеров, что позволяет ему уверенно чувствовать себя на рынке образовательных услуг России и ближнего зарубежья.

Список литературы. 1. «Большие вызовы» – стимул для развития науки [Электронный ресурс] // Петербургский международный экономический форум. URL: https://www.forumspb.com/ru/2016/sections/62/materials/309/sessions/1441 (дата обращения 14.06.2017). **2.** Об университете [Электронный ресурс] // Омский государственный технический университет. URL: http://www.omgtu.ru/general_information/ (дата обращения 14.06.2017). **3.** Formation d'ingenieur: France ou Etats-Unis? [Electronic resource] // La Jaune et la Rouge. Polytechnique. URL: http://www.lajauneetlarouge.com/article/formation-dingenieur-france-ou-etats-unis#.WUD0gGjyiUk (дата обращения 14.06.2017). **4.** Que fait-on vraiment en ecole d'ingenieurs? [Electronic resource] // L'Etudiant. URL: http://www.letudiant.fr/etudes/ecole-ingenieur/que-fait-on-vraiment-en-ecole-dingenieurs-19902.html (дата обращения 14.06.2017).

ТЕПЛООБМЕН И АЭРОДИНАМИКА НЕТРАДИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОНВЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА СВП

Курбанов Х. К. , Гурбанова М. Х. , Ходжаев Дж. Н. *(ТГАСИ, ТГИТ и С, ТГЭИ. г. Ашхабад, г. Ашхабад, г. Мары, Туркменистан)*
Тел/Факс: 8-0012 46-46-10; 8-0012 21-19-35; +993 64-02-40-10;
E-mail: hojatpi@mail.ru

Abstract*: The article deals with heat transfer of convective heating surfaces in boilers economizers. Convective surfaces are made of glass pipes.*

Для исследования теплообменных и аэродинамических характеристик пучков стеклянных труб, пучков Z-образных труб при различных их компоновках при участии авторов были созданы 6 экспериментальных лабораторных установок.

Кроме того, было выполнено исследование прочностных свойств стеклянных труб на установке разработанной и изготовленной в ТГАСИ.

В данной статье описаны конструкции, использовавшиеся в опытах, лабораторных установках и методика проведения исследований.

Проведение в промышленных условиях измерения аэродинамических сопротивлений пучков СВП как по газовой, так и по воздушной стороне показало, что полученные значения отличаются от расчетных по нормам. Значения сопротивлений по воздушному тракту (внутри труб) для различных воздухоподогревателей с одинаковой длиной труб и одинаковыми скоростями воздуха различаются при этом достаточно сильно. Видимо, это связано с влиянием местных сопротивлений на входе в трубы, когда последние значительно выступают за плоскость доски. Кроме того, расчеты по нормам вызывают затруднение, так как шероховатость для стеклянных труб рекомендуется выбирать в пределах от 0,0015 до 0,01.

Для уточнения методики аэродинамического расчета воздухо-подогревателей из стеклянных труб целесообразно было бы провести стендовые исследования различных типов пучков труб Ф 45х4 и 37х2,5мм с различными шагами в пучке с поперечным и продольным омыванием внутри труб. [1]

Исследования аэродинамического сопротивления пучка стеклянных труб при продольном и поперечном обтекании потоком воздуха производились на разомкнутой аэродинамической трубе. Труба имела прямоугольное поперечное сечение размером 0,27х0,30 м и общую длину 3,4м.

Стенки были изготовлены из авиационной фанеры толщиной 0,012 м, внутри отшлифованы и покрыты лаком. Выходной конец трубы имел суживающуюся насадку с очертанием профиля на лемнискате (что способствует получению равномерных скоростей потока воздуха в трубе). Выходной конец трубы при помощи железного раструба соединялся с всасывающим патрубком вентилятора низкого давления, где был установлен шибер, при помощи которого производилось измерение расхода воздуха. Продольный разрез аэродинамической трубы с установкой в ней пучка труб и соплом для измерения расхода воздуха показан на рис. 1.

Стеклянные трубы собирались в трубных досках, изготовленных из авиационной фанеры. Трубные доски с собранным пучком труб стягивались деревянными планками, что обеспечивало жесткости пучка и сохраняло его рабочую длину 0,595 м. Исследуемый пучок стеклянных трубок имел3 поперечных ряда с коридорным расположением труб и шагами, соответствующими размещению их в воздухоподогревателе. Собранные пучки размещались в аэродинамической трубе с таким расчетом, чтобы трубные решетки были заподлицо с нижней и верхней стенками трубы. [2]

При испытании производились замеры следующих величин: расхода и температуры воздуха, аэродинамического сопротивления пучка, статического давления в измерительном сопле.

Расход воздуха измерялся при помощи прямоугольного сопла с лемнискатным входом, которое устанавливалось в хвостовой части трубы.

Для подсчета расхода воздуха измерялись в сопле динамический напор воздуха и его статическое давление.

Измерения скоростного (динамического) напора в измерительном сопле и сопротивление паучка измерялось при помощи трубки Прандтля манометром Аскания с ценой деления 0,1 Па. При квалифицированном пользовании миниметром можно обеспечить точность замеров ±0,2 Па.

В наших опытах значения динамических напоров в сопле находились в пределах от 100 до 1300 Па. Следовательно, погрешность замеров в данном случае составляла величину 0,2…0,02%. Сопротивление пучка изменялось от 20 до 1080 Па. Погрешность замера в данном случае находилась в пределах 1,0…0,02%.

Статическое давление (разрежение) измерялось U – образным манометром.

Температура воздуха в сопле принималось равной температуре воздуха за пучком. Температура воздуха до и после пучка замерялась лабораторными термометрами с ценой деления $0{,}1^0$C. Сопротивление пучка определялось как разность статических давлений до и после пучка. Импульсы для замера перепада давления отбирались от всех четырех сторон трубы, объединялись и подводились к миниметру.

Все измерения проводились при изотермическом режиме.

Расход воздуха, проходящего через пучок, определялся на основании данных измерений из следующего выражения

$$G = f_c \times \mathrm{K} \times W \times \rho_B, \quad \text{г/с} \quad (1)$$

где f_c – площадь живого сечения сопла,

K – коэффициент расхода сопла;

ρ_B – плотность воздуха в сопле, кг/м^3;

W – скорость воздуха, м/с.

Коэффициент K на основании тарировок сопла равен 1, а скорость воздуха рассчитывалась из выражения:

$$W = \sqrt{\frac{2gh}{10\rho_B}}, \quad \text{сек} \quad (2)$$

где h – разность динамического и статического давления, Па;

g – ускорение свободного падения, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

При обработке опытных данных в безразмерных критериях расчета числа R_e выполнялся из следующего выражения:

$$R_e = \frac{\rho_B W d}{\mu}$$

где ρ_B – плотность воздуха, кг/м^3.

W – скорость воздуха, м/с.

μ – коэффициент динамической вязкости, кг/$^{сек \cdot м}$;

d – внутренний диаметр трубы (сечение для прохода воздуха), м.

Схемы исследованных пучков при продольном и поперечном обтекании труб приведены на рис. 2 и 3.

Как показал анализ результатов измерений, представленных в виде типичных аэродинамических характеристик $\Delta P = f(Re)$, величина входного участка трубы, выступающего за трубную доску, влияет на величину общего аэродинамического сопротивления продольно омываемого пучка труб.

На основании полученных экспериментальных данных была построена зависимость относительного увеличения сопротивления пучка труб от величины выступающего за трубную доску входного участка:

$$\frac{\Delta P_\delta}{\Delta P_0} = f(\delta)$$

Опыты для пучков стеклянных труб диаметром 45х4 мм, выполненных с шагами, наиболее распространенными в современных конструкциях СВП $\left(\frac{S_1}{d} = 2{,}45; \frac{S_2}{d} = 1{,}5\right)$ при изменении чисел Рейнольдса от 20 до 130 тысяч.

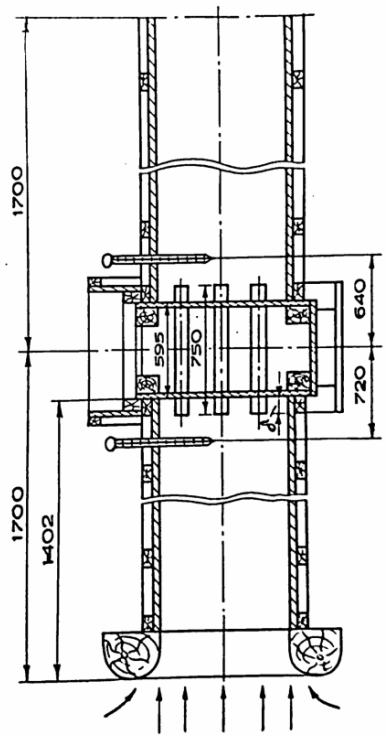


Рис.1. Схема экспериментальной аэродинамической трубы.

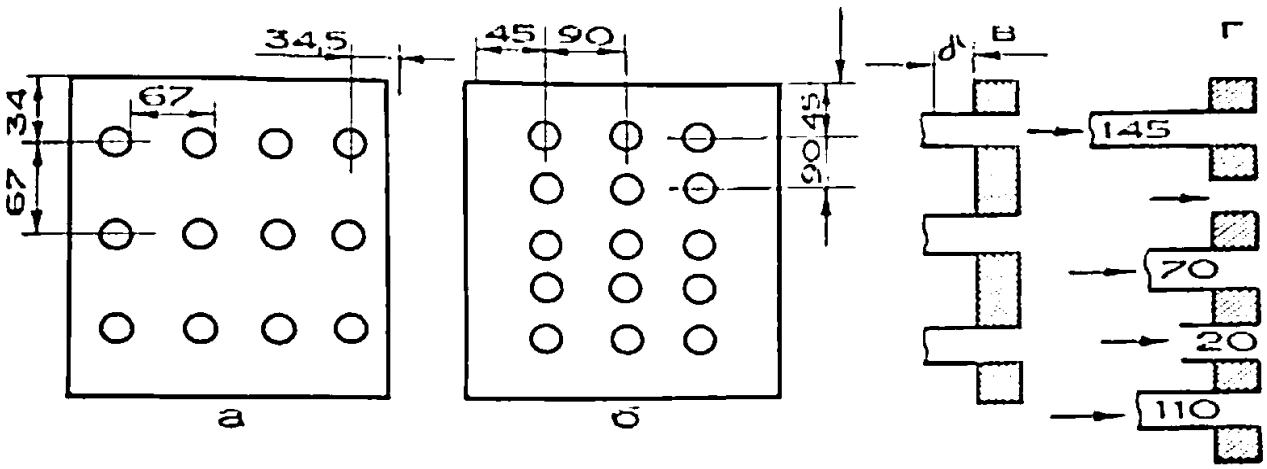


Рис.2. Поперечный разрез входного участка трубы: трубные доски с различным расположением (а, б); заделка труб в продольном (в) и поперечном (г) обтекании тепловым потоком.

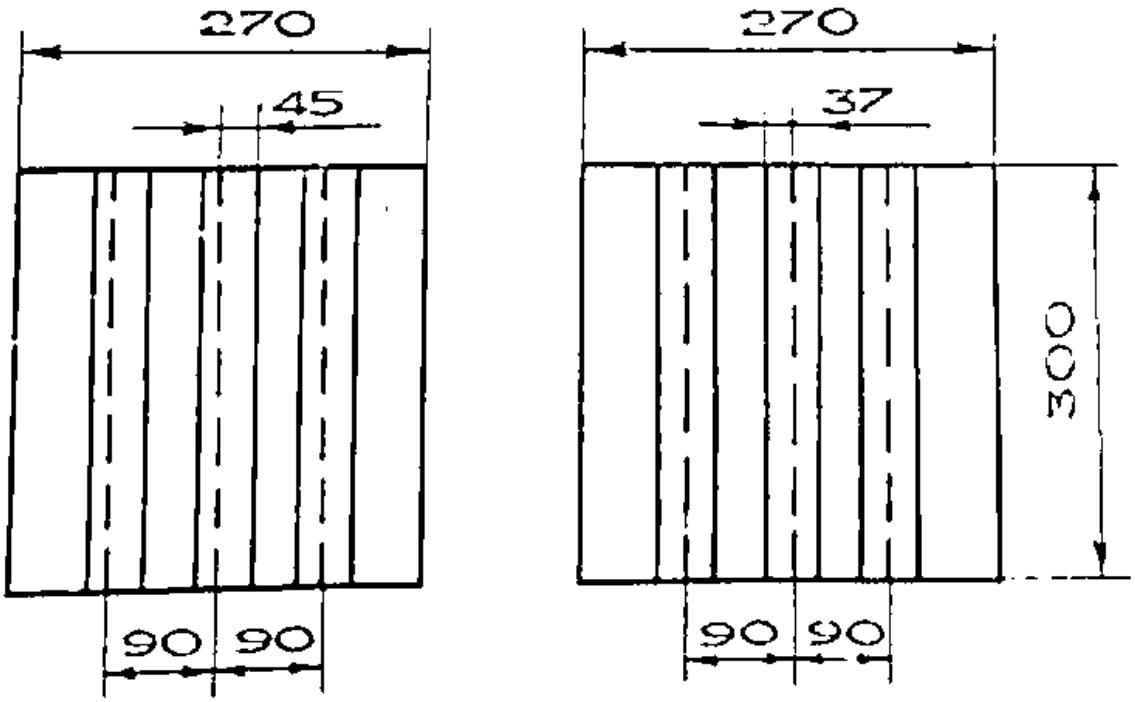


Рис.3. Продольный разрез входного участка трубы.

Список литературы: **1**. Пермяков Б. А., Курбанов Х. К. Повышение эффективности использования топлива путем применения воздухоподогревателей различной конструкции. Ашхабад. НИИНТИ и ТЭИ, 1984 г. **2**. Пермяков Б. А., Корняков А. Б., Курбанов Х. К., Курбанов К. К. Исследование аэродинамических и механических свойств стеклянных труб воздухоподогревателей. / Теория сооружений и расчет строительной конструкции в зонах Каракумского канала. Ашхабад, 1985 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРОБИЛЬНО-ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Лагунова Ю. А., Калянов А. Е., Майоров С. А. (*ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет (УГГУ)», г. Екатеринбург, Россия*)

Abstract: *The object of the study is the crushing and conveying equipment. Prospective technological schemes of transport-reloading equipment are justified, a technique for calculating the working equipment of machines entering the crushing and transport complex is developed.*

Keywords*: deep quarries, self-propelled crushing units, intracatch crushing of a crusher, transport.*

Горно-металлургический комплекс России был и остается базовой отраслью промышленного потенциала страны, который предопределяет уровень развития экономики государства. Он представляет собой сложную структуру, которая включает: минерально-сырьевую базу, а также комплексы по добыче сырья, первичной переработки и обогащению руд, производству чугуна, стали и металлоконструкций.

В настоящее время добыча руд черных и цветных металлов сопровождается дальнейшим увеличением глубины карьеров и ростом объемов скальной горной массы.

С ростом глубины открытых горных разработок при существующих технологиях разработки месторождений прослеживается постоянное ухудшение технико-экономических показателей работы горнодобывающих предприятий, несмотря на их реконструкцию и техническое перевооружение.

Установлено, что при изменении глубины горных работ со 150 до 250 м затраты на добычу 1 т руды по фактору глубины увеличиваются в среднем на 20-25 %, коэффициент использования фронта горных работ при этом снизился по руде – с 0,55 до 0,28, а по вскрыше – с 0,63 до 0,37 [1].

В этой связи дальнейшее повышение эффективности разработки рудных месторождений требует от горной науки решения ряда сложных проблем, обусловленных, в первую очередь, резко ухудшающимися горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки.

Компенсировать прогрессивный рост затрат труда и средств в горнорудную промышленность при достигнутой масштабности и глубине разработок возможно только за счет реализации новых научных идей в технологические процессы, базирующиеся на новой горнотранспортной технике, соответствующей по техническому уровню, механизации и автоматизации производства лучшим мировым достижениям.

В настоящее время разработаны и находятся в эксплуатации различные типы самоходных дробильных агрегатов. На них устанавливаются щековые, конусные, валковые и роторные дробилки, Самоходные агрегаты с щековыми дробилками имеют большие габаритные размеры по высоте, что требует применения экскаваторов с увеличенной высотой разгрузки. Относительно меньшими габаритными размерами по высоте обладают конусные, валковые и роторные дробилки, а также конусно-валковые крупного дробления. Однако все эти дробилки спроектированы для условий работы на обогатительных фабриках, где одним из главных требований является получение большой степени измельчения материала.

Совершенно другая задача ставится дробилкам, предназначенным для внутрикарьерного дробления – измельчение крупных кусков материала до размеров,

определяемых возможностями ленточных конвейеров. Дробление же пород до размера, достаточного для загрузки в мельницы, следует проводить не в карьере, а на обогатительной фабрике. Это позволить уменьшить количество оборудования в карьере, снизить его массу и, соответственно, стоимость монтажных и строительных работ, облегчит организацию перемещения дробильных агрегатов с одного концентрационного горизонта на другой по мере углубления карьера и уменьшит эксплуатационные расходы на дробление. Кроме того, значительно снизятся затраты энергии, потребляемой дробильным оборудованием в карьере, что облегчит решение вопросов его энергопитания.

Таким образом, требования к дробилке для внутрикарьерного дробления можно сформулировать следующим образом:

– размеры и масса дробилки должны быть сравнительно небольшими;

– в дробилку поступают только куски материала, размеры которых превышают размер, соответствующий требованиям транспортирования на ленточном конвейере;

– вся породная мелочь, полученная в результате раскалывания крупных кусков, не задерживается в нижней части дробилки, а сразу выходит из камеры дробления.

Для дробления кусков горной массы большого размера и высокой прочности наиболее подходят щековые дробилки с простым движением щеки, способные развивать большие раздавливающие усилия. Однако габаритные размеры по высоте выпускаемых промышленностью дробилок велики. Этим требованиям в большей степени отвечает щековая дробилка со ступенчатой камерой дробления (рисунок 1).

Высота камеры дробления H, определяющая, в основном, габаритный размер по высоте, в щековых дробилках традиционной конструкции принимается в зависимости от ширины загрузочного зева B в пределах

$$H = (2{,}0...2{,}5)B.$$

В свою очередь, ширина загрузочного отверстия дробилки зависит от максимального размера загружаемого куска материала D_{max}.

Дробилка с камерой дробления ступенчатой формы, по сравнению с традиционной щековой дробилкой, имеет значительно меньшие габаритные размеры по высоте, не переизмельчает материал, обладает большей производительностью и меньшей энергоемкостью.

На рисунке 16 показана конструктивная схема самоходной дробильной установки со ступенчатой камерой дробления щековой дробилки. Так, например, для дробилки традиционной конструкции с шириной загрузочного зева B = 1200 мм и шириной разгрузочной щели $l_н$ = 150 мм угол захвата α = 21?, а высота камеры дробления H = 2730 мм. Для ступенчатой дробилки с теми же величинами B и $l_н$ угол захвата $\alpha_щ$ = 30?, а высота камеры дробления $H_с$ = 1820 мм, т. е. на треть меньше, чем у дробилки традиционной конструкции.

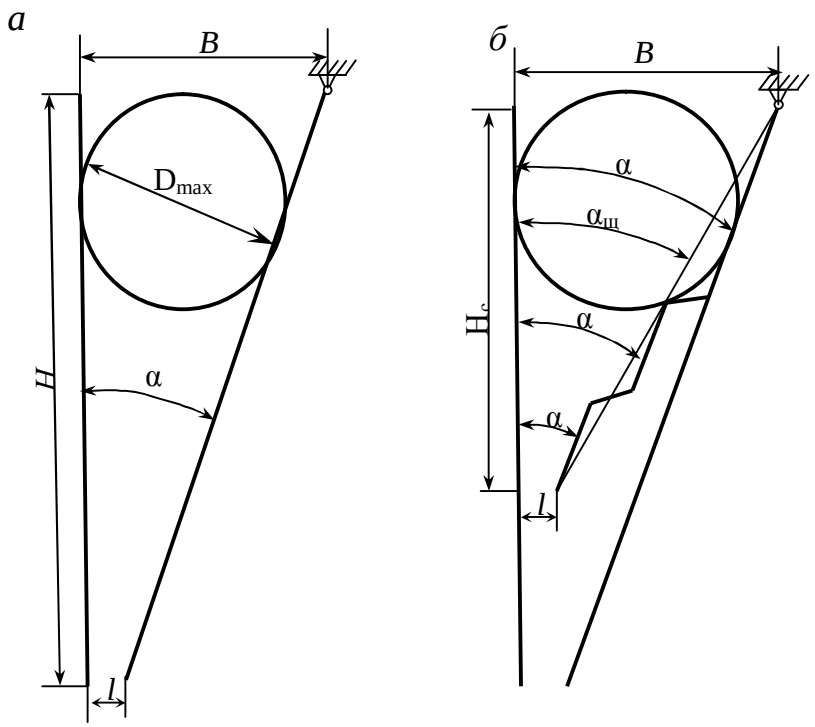


Рис. 1. Схемы щековых дробилок с верхним подвесом подвижной щеки
а – традиционной (с плоской щекой) конструкции; *б* – со ступенчатой камерой дробления

На кафедре ГМК УГГУ разработано техническое решение экскавационно-дробильного агрегата [2] (рис. 2), в котором экскавационное оборудование и дробилка установлены на базовом модуле (рис. 3).

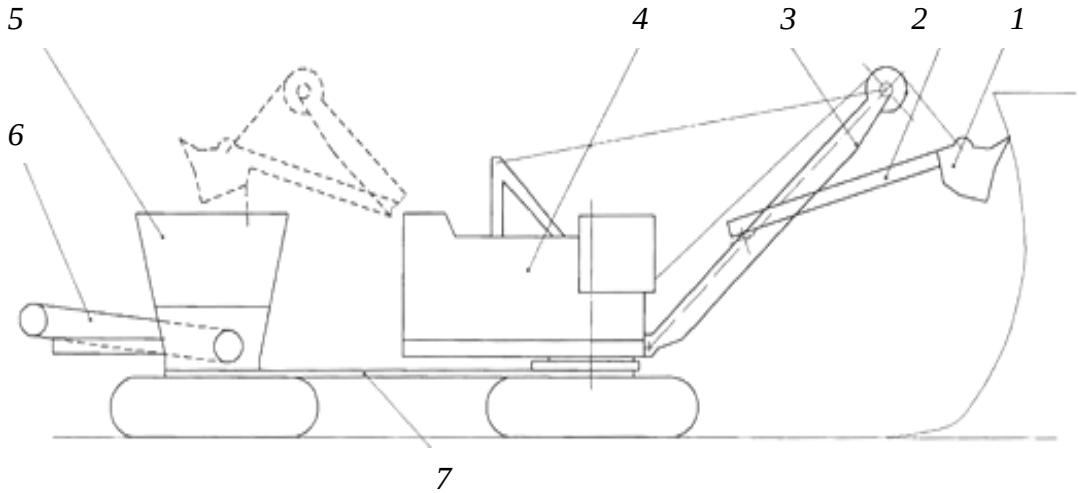


Рис. 2. Экскавационно-дробильный агрегат:
1 – рабочее оборудование, *2* – поворотная платформа, *3* – опорно-поворотное устройство, *4* – ходовое оборудование, *5* – противовес, *6* – откидная площадка, *7* – механизм перемещения

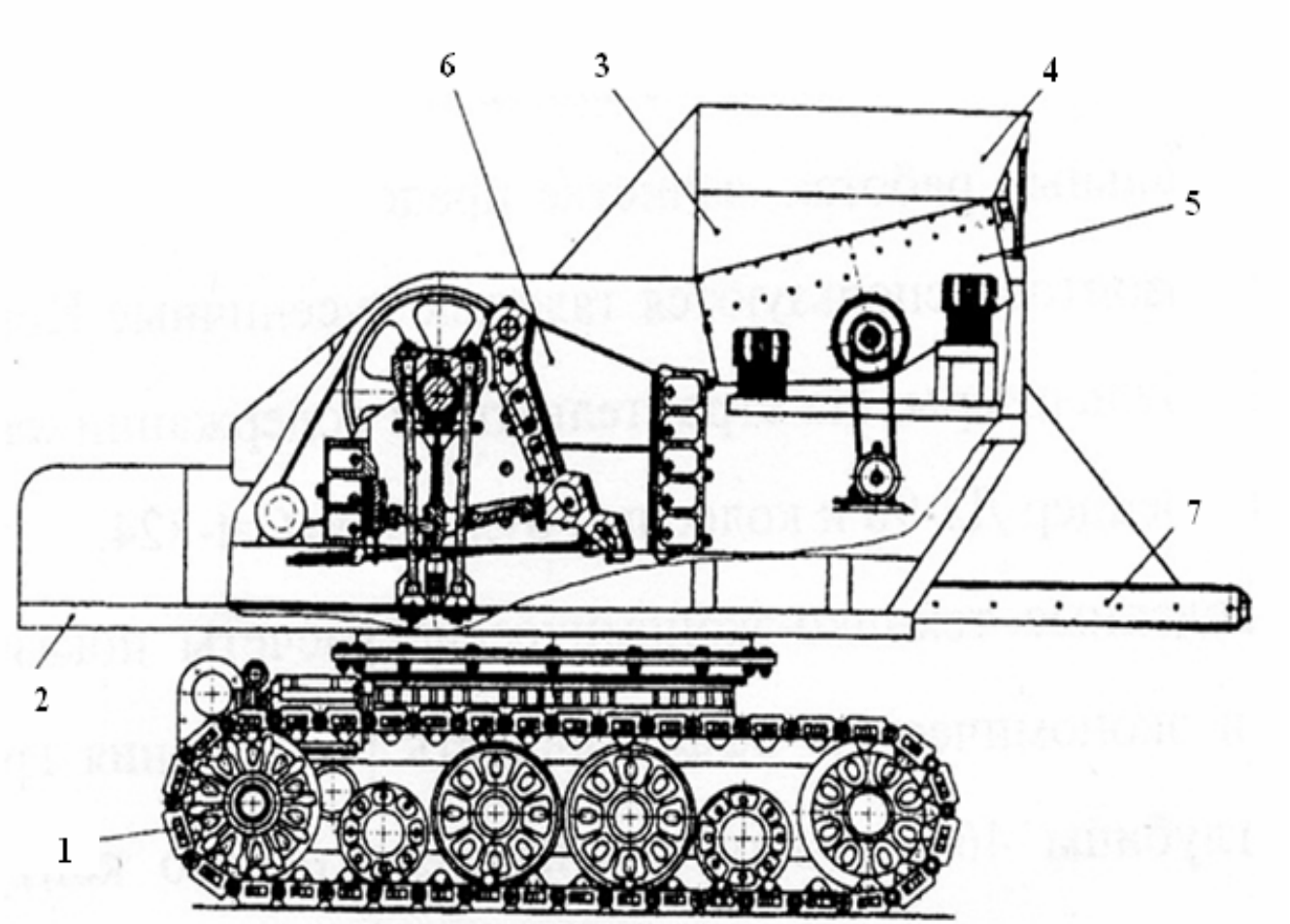


Рис. 3. Конструктивная схема самоходной дробильной установки
1 – гусеничное ходовое оборудование; 2 – платформа; 3 – приемный бункер; 4 – откидывающиеся боковины бункера; 5 – виброгрохот-питатель; 6 – щековая дробилка со ступенчатой камерой дробления; 7 – отвальный ленточный конвейер

Обоснование перспективных технологических схем использования экскавационно-дробильных агрегатов для глубоких карьеров

Для эффективного ведения горных работ в условиях углубления в последние годы карьеров требуется перенос ныне действующих стационарных установок или строительство новых.

Опыт горного производства показывает, что при достижении глубины карьера 150 м дробильные установки нужно перемещать на его более низкие технологические горизонты, чтобы при их дальнейшей эксплуатации не иметь убытков, связанных с резким увеличением эксплуатационных расходов на автотранспорт.

Однако конструктивно стационарные дробильные установки были выполнены таким образом, что в процессе эксплуатации они не подлежат перемещению. Именно в связи с этим совершенствование зарубежными фирмами оборудования для линий ЦПТ на протяжении последних 20-25 лет идет по пути создания мобильных или полумобильных дробильно-перегрузочных установок (ПМДПУ).

Создание ПМДПУ на НКМЗ началось в конце 80-х годов прошлого столетия, когда были разработаны и изготовлены первые образцы для переработки скальной вскрыши при добыче кимберлитовой руды. Поставочная масса каждой из них составляла более 900 т, а производительность – 2500 $м^3$/ч. Базовой дробилкой для первой стадии дробления являлась разработанная роторная дробилка ДРКГ-20?21.

Опыт ведения горных разработок показал, что при использовании комбинированного транспорта для процессов дробления и погрузки на магистральные ленточные конвейеры экономически выгодно применять полустационарную дробильно-перегрузочную установку (ПСДПУ), а не полумобильную. Одной из причин является то, что для перемещения полумобильной установки необходима транспортная тележка, грузоподъемность которой может составлять до 1000 т, а используется она только однократно (в течение 10-15 дней через 3-5 лет). Это неоправданное дополнительное удорожание стоимости дробильной установки.

ПСДПУ конструктивно выполняется с возможностью ее демонтажа на отдельные транспортабельные блоки и не требует специальной транспортной тележки, а, следовательно, и дополнительных средств для ее приобретения. Для перемещения ПСДПУ используются уже имеющиеся на ГОКах транспортные средства в виде трейлеров высокой грузоподъемности и др. Затраты времени на перемещение могут составлять для ПСДПУ 1-1,5 мес., ПМДПУ – 15-20 дней.

Анализ конструкций ДПУ отечественного и зарубежного производства показывает, что по технологическим показателям оборудование отечественного производства идентично импортному оборудованию, а по экономическим и социальным показателям имеют существенное преимущество.

Список литературы: 1. Юдин А. В. Теория и технические решения транспортно-перегрузочных систем в карьерах. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. – 507 с. 2. Патент на полезную модель № 122669 Экскавационно-дробильный агрегат / А.П. Комиссаров, Ю.А. Лагунова, А.В. Орочко, В.С. Шестаков // U1 МПК E02F 3/38; заявл. 10.08.12; опубл, 10.12.2012. Бюл. № 34. – 3 с.

ПРИМЕНЕНИЯ СБОРНЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ШЛИФОВАЛЬНО-ПОЛИРОВАЛЬНЫХ КРУГОВ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Макаров В. Ф., Горбунов А. С., Сычев Р. В., Чернов Е. В. *(ПНИПУ, г. Пермь, Россия)*
Тел. 89124915014; E-mail: makarovv@pstu.ru

Abstract. *Selection of modes and test processing of cogwheels with the analysis of accuracy and a roughness of surfaces of teeths of gear wheels after the combined grinding-polishing operation with application of the combined grinding-polishing worm circles is executed. As a result of experimental researches it is established, that process grindings of teeths the combined grinding-polishing circles allows to reach demanded parametres of accuracy (3-4 degree) and roughnesses of a surface of profiles of teeths of cogwheels Ra=0,095 mkm that corresponds to requirements of a TT and KD.*
Keywords. *Cogwheels; worm circles, roughness of surfaces; accuracy; grinding; polishing; the combined compound circles.*

Высокие скорости вращения и высокие крутящие моменты (передаваемые нагрузки) авиационных зубчатых колес – является характерной тенденцией современного машиностроения. Большие передаваемые нагрузки планетарных редукторов обуславливают высокие требования к изготовлению зубчатых колес типа «сателлит». Суммарные погрешности изготовления непосредственно влияют на уровень работоспособности, надежности и виброактивности планетарных редукторов [3].

В современных условиях эксплуатации зубчатых передач в ответственных узлах и агрегатах редукторов вертолетов и ГТД с высокими крутящими моментами, предъявляются все более высокие требования к точности цилиндрических зубчатых передач, а также к созданию минимальной величины микронеровности на боковой поверхности зуба. В связи с этим на АО «Редуктор–ПМ» поставлена задача повышение эффективности и качества обработки зубчатых колес современных редукторов и ГТД на основе применения новой передовой технологии шлифовально-полировальной обработки с применением сборных червячных кругов. Для реализации данной задачи совместно с учеными ПНИПУ (кафедра «Инновационные технологии машиностроения») проведен комплекс работ, включающий анализ современных технологий, применяемых на предприятиях моторостроения, испытание нового комбинированного процесса шлифования-полирования сборными кругами и исследование качества обработанной поверхности зубьев. -полировальных кругов.

В результате анализа конструкторско-технологической документации установлено, что зубчатые колеса для обеспечения высокого уровня работоспособности и надежности должны иметь следующие параметры:

а) **шероховатость** боковых поверхностей профиля зубьев Ra не более 0,16 мкм;

б) **погрешность профиля** зуба, не более: 5 – 11 мкм;

в) **погрешность направления** зуба, не более: 6 мкм –12 мкм;

г) **радиальное биение** зубчатого венца, не более: 25 мкм ;

д) **модификацию** головки зуба зубчатого венца в пределах: 26…36 мкм – и 15…20 мкм – для различных деталей

Для выполнения этих высоких требований зубчатые колеса после обработки на зуборезных станках подвергают дополнительной чистовой обработке на зубоотделочных станках. Здесь выполняются операции эубошлифования, травления, низкого отпуска, покрытия. Затем выполняется финишная операция алмазного зубохонингования, позволяющая достичь требуемых параметров шероховатости поверхности.

Изготовление алмазных хонов проводилось на Украине в ИСМ (г.г. Киев и Львов), но в последнее время возникли трудности с поставками алмазных хонов.

С связи с этим, а также с целью повышения производительности и качества обработки совместно с фирмой Reishauer (Швейцария) предложено обрабатывать цилиндрические зубчатые колеса сборными шлифовально-полировальными червячными кругами с различной абразивной характеристикой. Одна часть круга в осевом направлении предназначена для предварительного шлифования, а вторая часть круга – для окончательной финишной полировальной обработки . Первая черновая часть круга имеет более крупное абразивное зерно и керамическую связку, а вторая чистовая часть сборного круга имеет абразивные зерна меньшего размера и более мягкую полиуретановую связку.

Первая левая часть круга длиной 60 мм предназначена для процесса шлифования и состоит из абразивного зерна электрокорунда нормального зернистостью А80, что соответствует характеристике по ГОСТ Р 52381-2005- А14 16 (160 мкм), твердость круга G или (СМ2), структура №8 – средняя, связка V – керамическая. Допустимая скорость шлифования 80 м/с.

Вторая правая часть круга того же диаметра длиной 65 мм предназначена для чистового процесса полирования и включает в себя: мелкое зерно (6–10 мкм) электрокорунда белого ЕК800 или А25 6 по ГОСТ Р 52381-2005, полимерная связка. Общая длина круга 125 мм. Наружный диаметр круга 275 мм. Посадочное отверстие круга 160 мм.

Для проведения испытаний комбинированного процесса зубошлифования – зубополирования выбраны зубчатые колеса с модулем 6 мм и с модулем 4,5 мм (рисунок 6.1) по 5 шт на станке фирмы Reshauer RZ basic Reishauer.

Круги установливались на планшайбу и динамически отбалансированы на специальном балансировочном стенде. Балансировка в двух плоскостях достигается с помощью трех грузиков на планшайбе с допустимой неуравновешенностью массы 20…40 г (1-2-й классы по ГОСТ 3060). Нужно отметить, что такая динамическая балансировка на стенде является черновой балансировкой, так как шпиндель инструмента станка Reishauer RZ basic имеет встроенное балансировочное приспособление и автоматически поддерживает высокую точность балансировки посередине круга в течении всей времени обработки.

Цикл комбинированного процесса зубошлифования ЗК выполняется за одну установку и условно разбит на две стадии:

1-я стадия черновое/чистовое шлифование, заключающееся в снятии основного припуска материала и формирование требуемых геометрических и точностных параметров;

2-я стадия тонкое шлифование или полирование, заключающееся в срезании вершин микронеровностей шероховатости поверхности зуба за счет мелкой зернистости круга на полировальной части F600…F800=6…10 мкм.

Режимы шлифования устанавливались постоянные для первой и второй части круга. Сравнительный контроль параметров точности и шероховатости профиля зубьев после операции зубошлифования, зубохонингования и комбинированного процесса зубошлифования-полирования выполнялись на контрольной измерительной машине фирмы Klingelnberg КИМ Р-40.

В результате анализа полученных данных установлено, что при серийном шлифовании зуба величина микронеровностей поверхности профиля зуба составила Ra=0,59 мкм, после хонингования величина микронеровностей поверхности профиля зуба составила Ra=0,17 мкм, а после полировального прохода 5-й ступени (п.7 таблицы 1) Ra=0,095 мкм, что соответствует требованиями ТУ (Ra≤0,16 мкм).

Анализ параметров точности профилей зубьев после традиционного шлифования зуба и после комбинированного метода шлифования/полирования

показал, что погрешности геометрических параметров после полировальной стадии меньше, чем при серийном процессе зубошлифования и зубохонингования. Это объясняется снижением шероховатости поверхности профиля зуба.

Внедрение комбинированной чистовой обработки сборными шлифовально-полировальными кругами позволяет повысить производительность чистовой обработки в 2 раза за счет ликвидации операции алмазного зубохонингования. Одновременно решается вопрос импортозамещения украинских алмазных хонов на отечественные полировальные круги завода Ильич, высвобождения зубохонинговальных станков и обслуживающего персонала.

В то же время в процессе выполнения комбинированной зубошлифовально-полировальной операции возникли следующие **ограничения для данного процесса**:

1) Зубошлифовальный станок Reishauer RZ basic имеет устройство ручной правки, что значительно усложняет процесс его наладки. Нет возможности автоматической коррекции параметров профиля при правке круга.

2) Программное обеспечение станка Reishauer RZ basic не имеет специального программного обеспечения для комбинированных шлифовально-полировальных кругов, что накладывает технологические ограничения на новый процесс полирования зуба.

3) Комбинированные шлифовально-полировальные круги имеют в своем составе полимерную (полиуретановую) связку на полировальной части круга, поэтому эвакуация из станка образующегося шлама с полиуретановой связкой невозможна при существующей конструкцией станка. В связи с этим серийное внедрение шлифовально/полировальной технологии на станке Reishauer RZ basic SN 75814 потребует модернизации.

4) Направление шероховатости после процесса полирования зуба не соответствует направлению шероховатости после зубохонингования, в связи с этим, данный вопрос требует отдельного исследования параметров топологии микронеровностей и качества поверхностного слоя боковых поверхностей зубьев.

Выводы:

1. Процесс зубошлифования комбинированными шлифовально-полировальными кругами обеспечивает повышение производительности чистовой обработки зубчатых колес в два раза и при этом позволяет достичь требуемых параметров точности (3-4 степень) и шероховатости поверхности профилей зубьев (Ra=0,095 мкм).
2. Направление шероховатости после процесса полирования зуба не соответствует направлению шероховатости после зубохонингования, в связи с этим, данный вопрос требует отдельного исследования параметров топологии микронеровностей и качества поверхностного слоя боковых поверхностей зубьев.
3. Для анализа возможности замены процесса зубохонингования ЗК на процесс зубошлифование комбинированными шлифовально-полировальными кругами требуется исследование этих процессов с точки зрения топологии поверхности и формируемых параметров качества поверхностного слоя.

Список литературы: 1. Калашников А. С. Технология изготовления зубчатых колес. М.: Машиностроение, 2004. – 480с ил. **2.** Макаров В. Ф., Попов А. Н., Семиколенных В. В, Титаренко Н. В. Способ выбора шлифовального круга. Патент на изобретение RU № 2217730 C2 МКИ G 01 N 3/32 27.11.03. Опуб. в БИ – 2003, № 33 3. Старков В. К. Шлифование высокопористыми кругами [Текст] / В. К. Старков. – М.: Машиностроение, 2007. – 688 с. **4.** Гулида Э. Н. Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических колес / Э. Н. Гулида. Львов: Вища школа, 1977. – 168 с. **5.** Коганов И. А. Прогрессивные методы изготовления цилиндрических зубчатых колес / И. А. Коганов, Ю. Н. Федоров, Е. Н. Валиков. М.: Машиностроение, 1981.– 135 с.

ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОГРАММ В СИСТЕМАХ НА КРИСТАЛЛЕ

Масюков И. И., Борзов Д. Б. *(ЮЗГУ, г. Курск, Россия)*
Тел./Факс: +8 (960) 6789413; E-mail: ilmas46ru@gmail.com

Abstract: *In parallel organization of a computer system to become a critical criterion of the location of the modules to each other, because the data transfer rate between the modules depends on the length of the tracks connecting them. In terms of logic control systems and fault-tolerant systems, this criterion becomes even more important*
Keywords: *PLD, SoC, adjacency matrix, algorithm*

Адаптация топологии вычислительной системы для решаемой задачи является одним из перспективных методов повышения производительности [1]. Система, конфигурация которой может быть изменена после изготовления, называется реконфигурируемой вычислительной системой (РВС). Самой современной и перспективной основой построения РВС, на данный момент, является ПЛИС. Построенные на ее базе РВС, реализующие вычислительно сложные задачи, в противовес классическим вычислительным системам (MPP, SMP, PVP, NUMA и т. д.) организацией, имеют следующие преимущества: высокую реальную и удельную производительность, высокую энергоэффективность, аппаратное конфигурирование, многократное использование. При использовании системы, меняющей свою конфигурацию в режиме реального времени, возникает необходимость динамической реконфигурации ее топологии.

Планирование размещения программ в ПЛИС заключается в расположении на поле кристалла (системы) блоков, имеющих заданную площадь и фиксированный размер. Блоки имеют определенную структуру, в которой все выводы вычислительной ячейки описаны заранее и имеют фиксированную размерность. В результате планирования решается задача поиска оптимального взаимного расположения вычислительных ячеек с учетом минимальной длинны межсоединений. В конце работы строится конфигурация, представляющая собой набор вычислительных ячеек, вписанных в поле вычислительного устройства.

Размещение схемы на каждом уровне иерархии является комплексной задачей. «Хорошее» размещение элементов не только уменьшает суммарную длину внутренних соединений, но и может уменьшить площадь вычислительного устройства, что положительно скажется как на стоимости, так и на энергоэффективности. Несмотря на то, что задача размещения элементов присутствует и во многих других алгоритмах, она остается относительно сложной.

Существующие методы и алгоритмы или не применимы к задаче поиска конфигурации ПЛИС, или обладают большим количеством операций перебора, что недопустимо для РВС, работающей в режиме реального времени.

Таким образом, задача разработка метода, алгоритма и аппаратного средства планирования реконфигурируемых вычислительных систем, работающих в режиме реального времени, является актуальной.

В работе [2] рассмотрен разработанный алгоритм планирования конфигурации ПЛИС, позволяющий снизить количество перестановок при поиске размещения.

Для моделирования и тестирования разработанного алгоритма планирования конфигурации ПЛИС на языке Си++ был разработана программная модель, позволяющая его моделировать и вычислять суммарную длину межсоединений полученной в процессе работы алгоритма конфигурации.

Один из графиков моделирования представлен на рисунках 1 и 2.

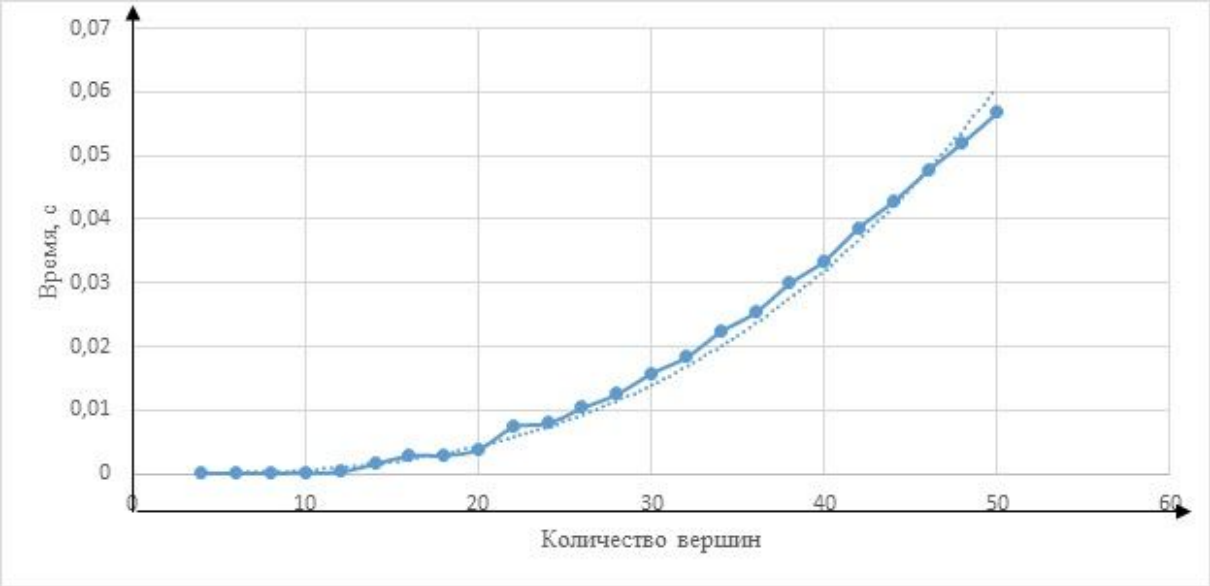


Рис. 1. Результат работы алгоритма для полносвязного графа

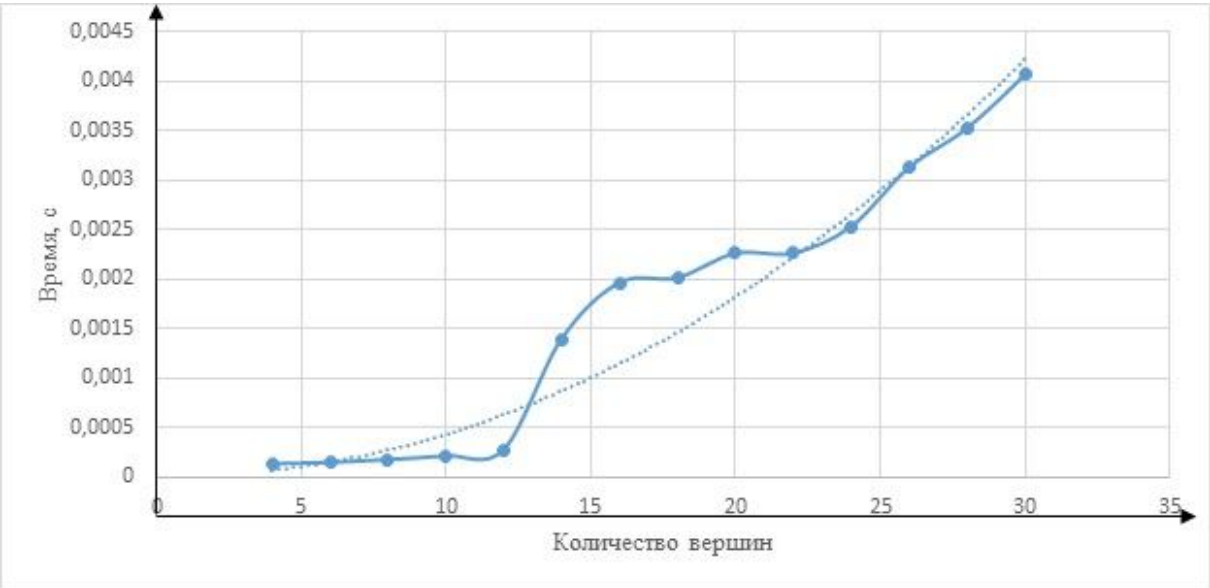


Рис. 2. Результат работы алгоритма для планарного графа

Проанализировав полученные графики, можно сделать, что время работы алгоритма от количества вершин растет по степенной функции, где множитель – это количество ребер в графе, а степень – количество вершин.

Дальнейшее исследование будет направлено на сравнение эффективности алгоритма планирования конфигурации ПЛИС с существующими алгоритмами.

Список литературы: 1. В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. Параллельные вычисления. БХВ-Петербург 2004 г. **2.** И. И. Масюков, Д. Б. Борзов. Планирование размещения программ в системах на кристалле // Машиностроение и техносфера XXI века: сборник статей XXIII международной научно-технической конференции // Севастополь, 2016 – С. 12-14.

МАГНИТОМЯГКИЕ СПЛАВЫ ДЛЯ СЕРДЕЧНИКОВ ГОЛОВОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В УСТРОЙСТВАХ СВЕРХПЛОТНОЙ ЦИФРОВОЙ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Махджубиан Масуд, Розоринов Г. Н.
(НТУУ «КПИ имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина)
Тел./Факс:+38 (099) 0447802; E-mail: grozoryn@gmail.com

Abstract: *Possibility of creation of new class of high-induction soft-magnetic Fe based films is confirmed, suitings to the heads for a superdense digital magnetic recording.*
Keywords: *magnetic film, thin-film magnetic head, digital magnetic recording, soft-magnetic alloy.*

Введение

Увеличение плотности записи в современных системах цифровой магнитной записи (ЦМЗ) происходит очень быстрыми темпами [1, 2]. Каждый этап повышения плотности записи определяется достижениями в различных областях технологии магнитной записи. В первую очередь, это появление новых материалов (в том числе - высококоэрцитивных носителей из магнитотвердых сплавов), затем – разработка принципиально новых форматов записи и, связанных с этим, новых конструктивных и технологических решений. При этом ведущую роль стали играть материалы для сердечников магнитных головок. И поскольку в это время активно исследовался новый класс материалов – аморфные сплавы, обладающие уникальным сочетанием физических и механических свойств, то этот класс привлек внимание конструкторов магнитных головок. Использование сначала тонких металлических лент, а потом – сверхтонких пленок из аморфных сплавов для сердечников магнитных головок позволило осуществить очередной скачок в увеличении плотности записи.

Целью работы является определение путей дальнейшего совершенствования высокоиндукционных магнитомягких материалов для сердечников магнитных головок, используемых в сверхплотной цифровой магнитной записи.

Основная часть

Требования к эксплуатационным свойствам материала сердечника магнитной головки известны, но с ростом плотности записи и миниатюризации устройств ЦМЗ, они не только возрастают, но и расширяются. Так, во всем рабочем диапазоне частот должна обеспечиваться высокая эффективная магнитная проницаемость (более 1000 на частотах сотни МГц) в сочетании с низкой коэрцитивной силой (менее 0,126 А/м). Это необходимо для повышения эффективности магнитной головки, обеспечения высокого уровня сигнала при чрезвычайно слабых магнитных полях, уменьшения потерь на гистерезис и шума при воспроизведении сигнала. Кроме того, для записи сигнала на высококоэрцитивный носитель с минимальным его искажением необходимо, чтобы материал сердечника головки имел высокую индукцию насыщения (близкую к 2 Тл). Высокое удельное электросопротивление (примерно равное 200 Ом·см) способствует уменьшению потерь и расширению частотной характеристики. К этому добавляются повышенные требования к коррозионной стойкости и износостойкости, определяющих долговечность (срок службы) магнитной головки, а также термической стабильности (вплоть до 600^{o}C), ибо при общем и локальном повышении температуры, возникающем как при технологических операциях изготовления (пайка, склеивание, сушка), так и при эксплуатации в различных климатических условиях, ухудшаются электрические, магнитные и механические характеристики головки. Поэтому важно, чтобы изменение ее рабочих характеристик, вызванное изменением температурных условий, не превышало установленный заранее уровень.

На магнитную проницаемость материала оказывает влияние магнитострикция, связанная, в свою очередь, с напряжениями в материале, приводящими к магнитной анизотропии. Поэтому материал, используемый в магнитопроводах магнитных головок, должен характеризоваться также близкой к нулю магнитострикцией и минимальными по величине полями анизотропии [3].

Традиционно для магнитной записи предпочтение было отдано аморфным сплавам типа Co-Ni-Fe ($Co_{57}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{17}$ – сплав 10-020 и $Co_{70}Ni_{13}Fe_6Si_7B_4$ – сплав 71КНСР). А именно сплавам на основе кобальта. Сочетание металл-металлоид характеризуется не только оптимальными значениями магнитной проницаемости и коэрцитивной силы, но и минимальным значением магнитострикции [3, 4]. Правильность выбора аморфных сплавов типа Co-Ni-Fe в качестве материала для магнитных головок (в том числе и в виде пленок), обеспечивающих сверхплотную запись, подтвердилась и в дальнейшем [5, 6].

Почти одновременно с кобальтовыми аморфными сплавами в головках был также опробован нанокристаллический сплав 5БДСР ($FeCu_1Nb_3Si_{16,5}B_6$) типа FINEMET на основе Fe с высокой индукцией насыщения и близкой к нулю магнитострикцией. Этот сплав – аморфный в состоянии после закалки расплава – отжигали при температуре выше температуры кристаллизации. В результате возникала структура с соотношением аморфной и кристаллической фаз около 9:1 и со средними размерами кристаллитов 10–20 нм. Такая аморфно-кристаллическая наноструктура обеспечивала уникальное сочетание магнитных свойств в широком диапазоне частот (1–3000 кГц), не присущее другим известным ранее магнитомягким сплавам и ферритам. В частности, сплав обладает амплитудной магнитной проницаемостью $?_{3МГц}$>3000 [7]. Одновременно были разработаны богатые железом сплавы с наноразмерной структурой, низкой коэрцитивной силой и высокой магнитной проницаемостью (FINEMET, NANIPERM – FeZrBCu, HITPERM – FeCoZrBCu) в виде пленочных материалов [8, 9].

В настоящее время вместо лент применяют сверхтонкие пленки, получаемые высокоэнергетическими планарными технологиями, в частности, магнетронного распыления, которые обеспечивают за один технологический прием получение целого многослойного элемента конструкции, включающего один или несколько магнитных слоев [6]. Эти пленочные магнитомягкие сплавы имеют нанокристаллическую структуру, а по химическому составу принадлежат к системам Fe-Me-X (X = B, C, N, O; Me = Ti, Zr, Hf, Nb, Ta). Пленки таких сплавов способны обеспечить высокую намагниченность (B_s = 1,5…1,75 Тл) в сочетании с более высокими значениями высокочастотной проницаемости ($?_{10МГц}$ = 2000…7000) и характеризуются более высокой термической стабильностью [8].

Аморфно-кристаллическая наноструктура сплава обеспечивает сочетание магнитных свойств в широком диапазоне частот, из-за чего пленки на основе Fe с такой структурой позволяют наиболее полно удовлетворить требованиям, предъявляемым к материалу сердечника головки для ЦМЗ. Теоретические и экспериментальные исследования пленок состава Fe-ZrN показывают, что ферромагнетики, имеющие размер зерна менее 50 нм, могут иметь чрезвычайно низкие значения коэрцитивной силы H_c и, следовательно, высокие значения магнитной проницаемости ? [1, 9-11]. Высокое удельное электросопротивление пленок Fe-ZrN, обеспечивающее снижение энергетических потерь на перемагничивание на высоких частотах, связано с высокой объемной долей границ зерен, что характерно для наноразмерных структур, а также с присутствием непроводящей фазы ZrN. В сплавах на основе объемно-центрированных кубических (ОЦК) решеток металлов (Fe до температуры 911^oC имеет именно этот тип кристаллической решетки) с дисперсионно упрочняемыми фазами внедрения,

характеризующимися высокой термодинамической стабильностью, рост зерна может не наблюдаться вплоть до 0,8 температуры плавления сплава. То есть в таких пленках при технологических нагревах до 600°С рост нанозерна не ожидается. Это предполагает температурную стабильность магнитопровода магнитных головок. Высокие твердость и износостойкость таких пленок должны обеспечиваться за счет эффектов дисперсного упрочнения.

Физическая природа эффекта супермагнитности нанокристаллических ферромагнетиков кроется в структурных факторах коэрцитивной силы, (следовательно, и в магнитной проницаемости, так как они взаимно обратны). Известно, что при намагничивании ферромагнетика вследствие наличия в кристалле осей легкого и трудного намагничивания возникает анизотропия и в зависимости от кристаллографического направления меняются линейные размеры ферромагнетика (явление магнитострикции). Все это приводит к тому, что направление намагниченности, соответствующее минимальной энергии, изменяется, и появляется дополнительная энергия $K_{эф}$, складывающаяся из энергии кристаллической анизотропии K_1 и наведенной магнитоупругой энергии $\lambda_s\sigma$ (где λ_s – магнитострикция насыщения; σ – внутренние напряжения). Поскольку $H_c \sim K_{эф}$, минимизировать значение H_c (и, значит, максимально повысить значение магнитной проницаемости ?) можно, если значение $K_{эф}$ приближается к нулю. Воздействовать на величину $K_{эф}$ можно структурным фактором – соотношением объемных долей аморфной и нанокристаллической фаз (примером служит сплав FINEMET).

В работе [1] приведены результаты исследований пленок Fe-ZrN толщиной 0,7 мкм с нанокомпозитной дисперсно-упрочненной структурой, полученных методом высокочастотного реактивного магнетронного распыления. Пленки в исходном состоянии имеют смешанную структуру, состоящую из аморфной и двух кристаллических фаз с соотношением объемов примерно 91:9 и размерами зерен 3–4 нм и около 1,5 нм, соответственно. Взаимосвязь параметров этой структуры с уровнем достигаемых магнитных свойств количественно оценивалась по результатам отжига (рис.1).

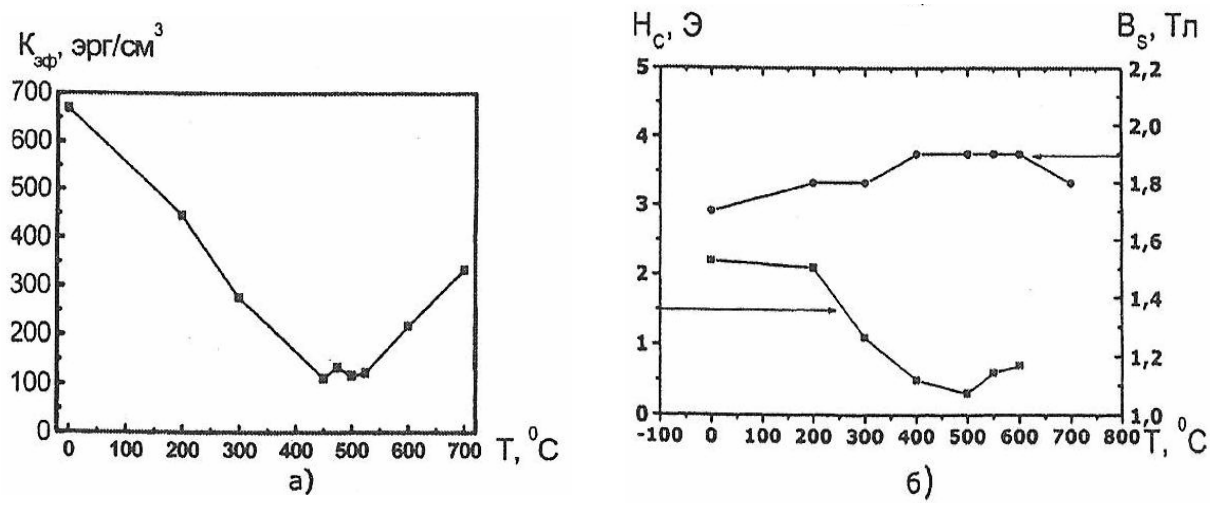


Рис.1. Зависимости от температуры одночасового отжига пленки $Fe_{78}Zr_{11}N_{11}$ эффективной константы магнитной анизотропии $K_{эф}$ (а) и магнитных параметров B_s, H_c (б) [1]

Видно, что с ростом температуры отжига значения H_c и $K_{эф}$ уменьшаются и при температурах 450–550°С имеют минимальные значения ($H_c \approx$ 0,3 Э, $K_{эф} \approx$100 эрг/см^3).

Это объясняется тем, что при таких температурах отжига в исследованных пленках наблюдается оптимальное соотношение объемных долей аморфных и нанокристаллических областей.

Важна динамика изменения величины индукции насыщения. Характерное для ОЦК решетки железа значение B_s = 2,147 Тл. Но присутствие в пленке Fe-ZrN аморфной фазы снижает это значение до 1,7 Тл. Однако в процессе отжига при 550^{o}C доля аморфной фазы уменьшается, что приводит к увеличению B_s пленки до 1,9 Тл.

Нулевая магнитострикция, как указывалось выше, в рассматриваемом нанокомпозите объясняется соотношением нанокристаллической и аморфной фаз, оптимальное значение которого достигается после отжига при 450–550^{o}C, когда эффективная константа магнитной анизотропии $K_{эф}$ имеет минимальное значение.

Выводы

1. Отмечена эволюция в использовании материалов для современных головок ЦМЗ от тонких аморфных лент и пленок из сплавов на основе кобальта к сверхтонким нанокристаллическим пленкам из сплавов на основе железа.

2. Подтверждена возможность создания на основе развиваемого физико-химического и структурного подхода нового класса высокоиндукционных магнитномягких пленок, наиболее полно удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к комплексу свойств материала сердечника магнитной головки для ЦМЗ. В частности, экспериментально получены пленки на основе железа Fe-ZrN с нанокристаллической структурой, термически стабильные до 550^{o}C, сочетающие высокую индукцию насыщения (1,9 Тл) с низким значением коэрцитивной силы ($H_c \approx$ 0,3 Э) и близкой к нулю магнитострикцией, превосходящие по комплексу этих свойств известные магнитномягкие пленки на основе кобальта или железа.

Список литературы: **1.** Шефтель Е. Н. Магнитомягкие нанокристаллические пленки сплавов Fe – тугоплавкая фаза внедрения для применения в устройствах магнитной записи // Материаловедение, №4, 2009. – С. 10-17. **2.** Qin Y.-L., Laughlin D. E., Peng Y., Zhu J.-G. The effects of post-annealing on microstructure and magnetic properties of percolated perpendicular media // IEEE Trans. Magn., Vol-43, No. 6, 2006. – P. 2136-2138. **3.** Прудніков З. Г. Широкосмугові магнітні головки з аморфних сплавів для запису-відтворення електроакустичних сигналів. Автореф. дис. канд. техн. наук // НТУУ "КПІ". К., 2004. – 19 с. **4.** Розоринов Г. Н.,Прудникова З. Г. Аморфные сплавы – сущность и перспективы применения // Арсенал XXI століття, №1. – 2002. – С. 56–62. **5.** Stoev K., et al. Demonstration and characterizion of 130 Gb/in^2 recording systems, presented at the 4-th Annu. Conf. Magnetism and Magnetic Materials (MMM), Tampa, FL, Nov. 2002, P. AG-08. **6.** Розоринов Г. Н., Прудникова З. Г., Скрылев В. Ю., Розоринова Е. Г. Высокомоментные материалы для магнитных головок, используемых при сверхвысокоплотной записи // Арсенал XXI століття, №2.– 2007. – С. 24–26. **7.** Прудникова З. Г., Садчиков В. В. Нанокристаллический сплав 5БДСР для магнитопроводов широкополосных магнитных головок // Сталь, №10.–1993. – С. 76–79. **8.** Nago K., Sakakima H., Ihara K. Microstructures and magnetic properties of Fe-(Ta, Nb, Zr)-N alloy films // IEEE Transaction J. On Magn. In Japan, Vol. 7, N2, 1992. – P. 119–127. **9.** Yamauchi K., Yoshizawa Y. Recent development of nanocristalline soft magnetic alloys // Nanostructured Materials, Vol.6, 1995. – P. 247–254. **10.** McHenry M. E., Laughlin D. E. Nana-scale materials development for future applications // Acta materials, Vol.48, 2000. – P. 223-238. **11.** Шефтель Е. Н., Утицких С. И., Иванов А. Н и др. Рентгеновское исследование влияния температуры отжига на фазово-структурное состояние пленок $Fe_{79}Zr_{10}N_{11}$, полученных магнетронным напылением // ФММ, Т.105, №5.– 2008. – С. 1–6.

ФРИКЦИОННЫЙ ПЕРЕНОС ПРИ ТРЕНИИ БЕЗАСБЕСТОВЫХ ТОРМОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Меликсетян Н. Г., Агбалян С. Г., Меликсетян Г. Н. *(НПУА г. Ереван, Армения)*
E-mail: metalsur@seua.am, g_meliksetyan93@mail.ru

Abstract: *The research results of processes of frictional transfer at high-temperature friction of non-asbestos braking materials are presented. It is proved that the ability to form a friction transfer film is an important characteristic of the performance of the brake friction pair.*
Keywords: *frictional transfer, non-asbestos braking materials, transfer film, high-temperature friction*

В настоящее время безасбестовые фрикционные материалы успешно используются в тормозных устройствах транспортных средств, подъемно-транспортных машин и многих других фрикционных устройств.

Для оценки работоспособности безасбестовых тормозных материалов важным аспектом является исследование процессов фрикционного переноса при их высокотемпературном трении (выше 250 ^{0}C).

Исследованиям, посвященным явлению фрикционного переноса в узлах трения машин, уделяется большое внимание [1–5]. Это обусловлено тем, что образование пленки фрикционного переноса играет значительную роль в процессах трения и изнашивания металлических и, в большей степени, полимерных композиционных материалов, а свойства перенесенных пленок определяют эксплуатационные характеристики трибоматериалов.

Установлено, что характер изменения коэффициента трения во многом зависит от процессов фрикционного переноса. В процессе образования перенесенной пленки коэффициент трения фрикционных материалов увеличивается и достигает максимума, трение происходит между фрикционным материалом и образованной на поверхности контртела перенесенной пленкой. При повышении температуры, когда перенесенная пленка и поверхностные слои фрикционного материала размягчаются, а также происходят деструкционные процессы, коэффициент трения уменьшается до минимума. В дальнейшем, вследствие высоких локальных давлений, при которых существование стабильной перенесенной пленки невозможно, коэффициент трения повторно повышается и начинается интенсивный режим изнашивания фрикционного материала.

Фрикционные тормозные материалы, как правило, работают в условиях повышенных температур, генерируемых в процессах стационарного и повторно-кратковременного трения. Для достижения низкой интенсивности изнашивания по результатам многочисленных исследований требуется формирование достаточно толстой (до 5...7 мкм) монолитной пленки переноса. Поэтому, для нормального функционирования узлов трения важно исследовать особенности образования пленок переноса с тем, чтобы при разработке новых материалов фрикционного назначения научно обоснованно управлять их эксплуатационными свойствами.

С этой целью проводились исследования образцов из фрикционных безасбестовых тормозных материалов производства ведущих европейских фирм Textar, Bosh и ATE на лабораторной установке типа FM-9 по методике ГОСТ Р ИСО 7881-94. Режимные параметры испытаний представлены в табл.1. Конструкция диска фрикционной пары предусматривает два отверстия, расположенные диаметрально противоположно по среднему радиусу трения для специальных вставок размером О10 мм из одноименного материала диска.

До испытания каждого выбранного образца из фрикционного материала две такие вставки жестко устанавливались в отверстиях и для выравнивания их поверхности с поверхностью трения диска производился совместное обтачивание до получения поверхностной шероховатости R_z = 20…16,5 мкм. В качестве материала диска был использован серый чугун марки СЧ 20 по ГОСТ 1412-79. Температура измерялась термопарой типа ХК-0,5, установленной в центральное отверстие фрикционного материала и находящейся в непосредственном контакте с поверхностью трения диска.

Таблица 1 – Этапы испытаний и режимные параметры по ГОСТ Р ИСО 7881-94

Наименование этапа испытаний	Режимные параметры	
	Давление, МПа	Температура, ^{0}C
Определение потери эффективности-1	1,5	350
Определение потери эффективности-2	3,0	400
Определение среднего значения коэффициента трения (изотермический режим трения)	3,0	150
Определение среднего значения коэффициента трения (нагревной цикл)	3,0	450

Экспериментальному исследованию подверглись фрикционные материалы на основе каучукового, смоляного и комбинированного связующих. До начала экспериментов при удельном давлении 0,2 МПа и скорости скольжения 0,75 м/с, в условиях поверхностных температур ниже 100 ^{0}C производилась приработка пары трения. Проводились двухэтапные эксперименты. На первом этапе выявились зоны уменьшения коэффициента трения в зависимости от поверхностной температуры, а на втором этапе проводились повторные опыты до достижения максимальных значений коэффициента трения. После экспериментов вставки вынимались, и поверхности трения исследовались методом растровой электронной микроскопии на микроскопе ISM-50A “Jeol”. Результаты испытаний приведены на рис. 1.

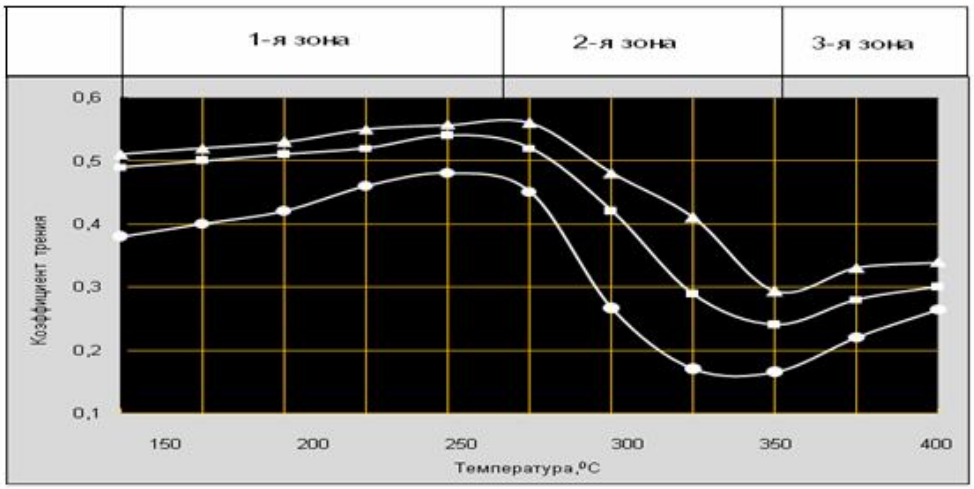


Рис.1. Зависимости коэффициента трения от температуры безасбестовых тормозных материалов на основе смоляного (Δ), каучукового (О) и комбинированного (□) связующих при P_a= 2,0 МПа, $V_{ск}$=16,7 м/с

Как видно у материала на основе каучукового связующего максимальное значение коэффициента трения наблюдается при сравнительно низких температурах, чем у материала на основе комбинированного связующего. Далее с повышением поверхностной температуры у всех материалов наблюдается уменьшение коэффициента трения. Минимальные значения коэффициентов трения материалов наблюдается при трении в температурной зоне 300…350 ^{0}С. Если учитывать, что деструкционные процессы характеризуют уменьшение коэффициента трения, то можно отметить, что деструкция каучукового связующего по сравнению с комбинированным связующим протекает при сравнительно низких температурах.

Микроструктура поверхностей трения вставок приведены на рис.2

.

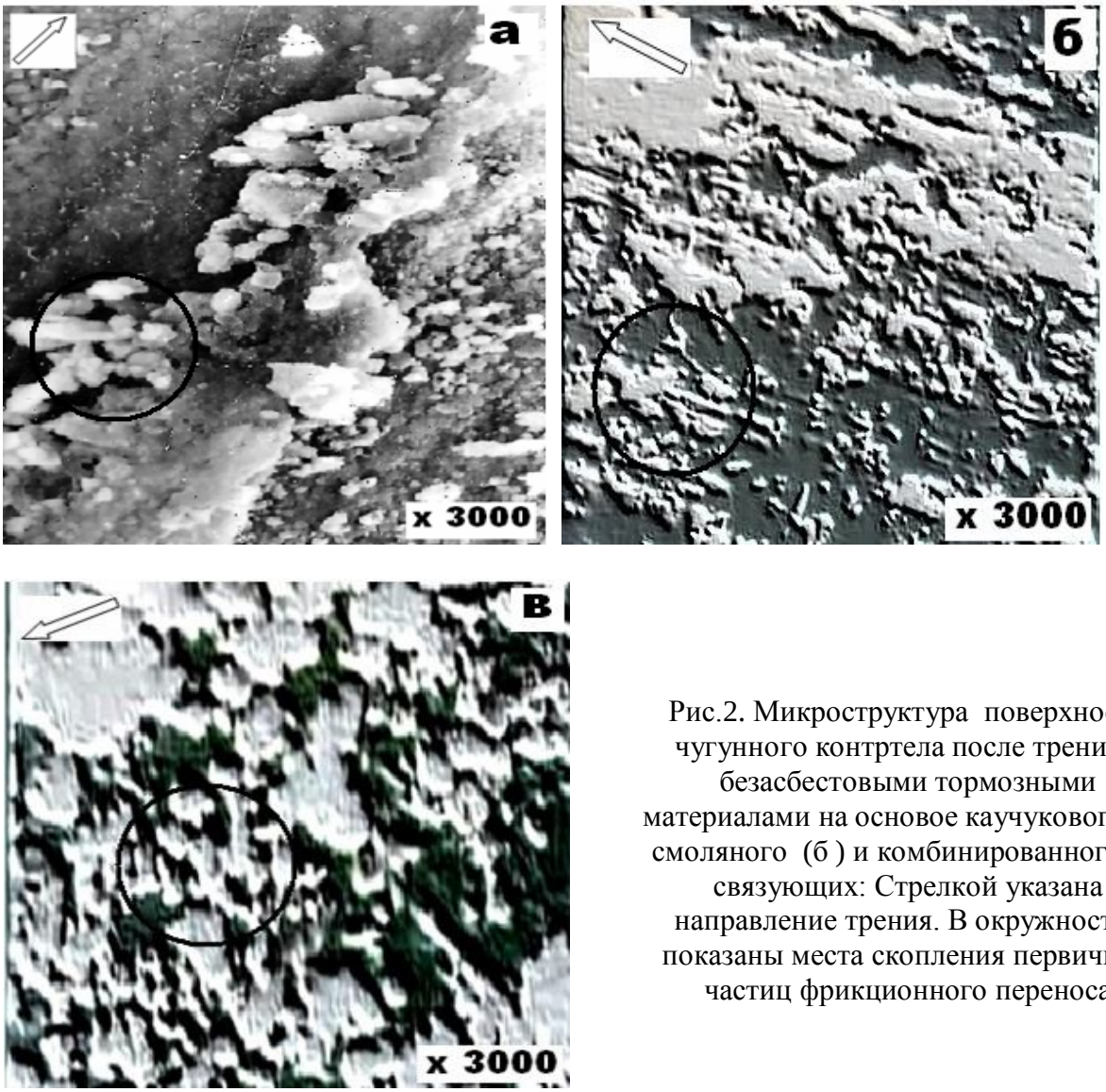


Рис.2. Микроструктура поверхности чугунного контртела после трения с безасбестовыми тормозными материалами на основое каучукового (а), смоляного (б) и комбинированного (в) связующих: Стрелкой указана направление трения. В окружностях показаны места скопления первичных частиц фрикционного переноса

Видно, что все исследуемые фрикционные материалы способны образовывать на поверхности трения контртела пленку фрикционного переноса той или иной природы. При трении композиций на каучуковой основе на поверхности контртела образованная пленка фрикционного переноса состоит из отдельных перенесенных фрагментов, ориентированных по направлению скольжения (рис. 2,а), а при трении композиций на

смолянной и комбинированной основе поверхность контртела, в основном, покрывается монолитной пленкой фрикционного переноса (рис.2,б,в). Вид пленки (выглаженные участки) свидетельствует о том, что в момент образования она подвергалась пластическому деформированию. Исследуемые материалы различаются способностью формирования пленки фрикционного переноса.

Учитывая то, что исследуемые материалы способны образовать пленку фрикционного переноса на поверхности трения контртела, а также характер изменения коэффициента трения в зависимости от поверхностной температуры, механизм образования пленок переноса и процесса взаимодействия элементов пары трения объясняется следующим образом.

Вначале трение происходит по адсорбированной на поверхности контртела пленке, которая после первых минут трения истирается, затем образуются первые частицы износа, вследствие разрушения фрикционных материалов. При этом происходит их перенос на поверхность контртела, что повышает коэффициент трения (первый участок на рис.1 кривых фрикционной теплостойкости - до температур 250...300 °С). Не прилипшие к поверхности контртела частицы выходят из зоны контактирования в виде продуктов износа. На поверхности трения контртела постепенно образуется пленка фрикционного переноса и, когда она становится сплошной и монолитной, значение коэффициента трения достигает максимума. Пленка фрикционного переноса в этот период находится в твердом состоянии. Трение происходит между фрикционным материалом и образованной на поверхности контртела перенесенной пленкой.

С продолжением трения температура, генерируемая в зоне трения, возрастает и начинается процесс деструкции связующего (второй участок кривых фрикционной теплостойкости на рис.1 – до температур 300...350 °С). Постепенно материал фрикционного переноса переходит в размягченное, а затем и в расплавленное состояние. В начале процесса расплавления пленка успевает остыть в промежутке повторных скольжений образца, затем, по мере повышения температуры происходит деструкция связующего, приводящего к разрушению перенесенной пленки.

Наконец, при дальнейшем повышении температуры наблюдается увеличение коэффициента трения (третий участок кривых фрикционной теплостойкости на рис.1 – выше 350 °С). Его рост объясняется, увеличением адгезионной способности формировавшегося поверхностного рабочего слоя фрикционного материала. Стабильной перенесенной пленки в этих условиях не существует.

Такая интерпретация дает возможность процессы фрикционного переноса наиболее полностью объяснить на основе адгезионно-энергетической модели взаимодействия [6].

Таким образом, проведенные испытания дают основание механизм образования и разрушения пленки фрикционного переноса при трении безасбестовых фрикционных тормозных материалов представить следующим образом. Слои фрикционного переноса, обладающие специфической структурой и свойствами, образуются благодаря адгезионному взаимодействию контактирующих поверхностей. Характер процессов фрикционного переноса, а также возникающие при этом явления определяются как физико-механическими свойствами контактирующих материалов и нагрузочно-скоростными параметрами пары трения, так и условиями окружающей среды. Начальный период формирования перенесенной пленки характеризуется образованием

тонкой пленки на отдельных участках поверхности контртела, которая имеет вид лепестков, ориентированных в направлении скольжения. В дальнейшем, в зависимости от условий трения, эта пленка может покрыть почти всю поверхность контртела и через некоторое время уносится в виде отдельных фрагментов, в результате начинается новый цикл образования пленки фрикционного переноса. При этом сравнительно высокими трибологическими свойствами обладают полимеры (антифрикционного и фрикционного назначения), которые создают на поверхности металла пленку, способную не разрушаясь, выдерживать многократное воздействие знакопеременных деформаций. Способность образования пленки фрикционного переноса является важной характеристикой тормозной фрикционной пары. Вновь разрабатываемые безасбестовые тормозные фрикционные материалы должны образовать пленку фрикционного переноса на поверхности контртела при сравнительно высоких температурах, в область которых смещаются максимальные значения коэффициента трения.

Список литературы: 1. Погосян А. К., Сысоев П. В., Меликсетян Н. Г. и др. Фрикционные композиты на основе полимеров. – Минск. Информтрибо, 1992. – 218 с. **2.** Свириденок А. И. Роль фрикционного переноса в механизме самосмазывания композиционных материалов // Трение и износ. – Минск, 1987. – Том 8. – N 5. –С. 773–779. **3.** Jain V. K., Bahadur S. Material Transfer in Polymer-Polymer Sliding // Proc. Inter. Conf. St. Louis. 1977. – P. 487–493. **4.** Meliksetyan N. The surface layers destruction of friction brake materials // Problems of Mechanics. Tbilisi. – 2008, N 2 (31), – P. 54–58 http://www.pam.edu.ge/ **5.** Мышкин Н. К., Петроковец М. И., Ковалев А. В. Трибология полимеров: адгезия, трение, изнашивание и фрикционный перенос.– Трение и износ N 4, 2006, т.27, стр. 429–493 **6.** Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. – М., Машиностроение, 1977. – 526 с

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ГАЛТОВКЕ САМОЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ

Мирзоалиев А. И. Мирзоалиев И. М., Убайдуллоев А. Н. *(Таджикский технический университет им. акад. М. С. Осими, Таджикистан)*
Тел./+992918619087; E-mail: akram_ub@mail.ru

При обработке изделий из самоцветных камней широко применяют обработку галтовкой. Галтовкой можно округлять острые грани заготовок и придать им округлые формы, также галтовкой можно улучшить качество поверхности изделий, придавать им товарный вид и характерный блеск.

Обработка на виброгалтовочных станках является наиболее распространённым способом полировки изделий из самоцветных камней. При этом одновременно можно обработать большое количество изделий. Масса обрабатываемых изделий зависит от размера и емкости вибробарабанов. При обработке изделия и абразив засыпают в вибробарабан, установленный на упругие опоры, которому передаются гармонические колебания от вибратора. Под действием вибрации заготовки и обрабатывающая среда перемещаются и взаимодействуют друг с другом. Траектория, скорость перемещения и силы взаимодействия частиц среды определяется частотой, амплитудой и направлением вибрации, а также конструкцией рабочей емкости. Вибробарабан посредством стенки и дна передают вибрацию, полученную от вибратора рабочей среде и заготовкам. Обычно вибробарабану сообщаются колебания с частотой от 900 до 3000 мин$^{-1}$ и амплитудой от 0,5 до 8мм. При обработке скорости частиц рабочей среды могут достигать значения до 1 м/с, а ускорение частиц весьма высокие значения - 20...150 м/с^2. Благодаря высокому ускорению возникают силы взаимодействия достаточные для осуществления микрорезания. Тепловыделение при обработке невысокое и средняя температура рабочей загрузки обычно не превышает 30…40°С. Требуемая шероховатость поверхности достигается много переходной обработкой, постепенным снижением зернистости абразива. На конечных стадиях обработки обеспечивается шероховатость *Ra*= 0,04-0,02 мкм. [1,2].

Обычно виброгалтовку осуществляют в нескольких стадиях абразивными порошками, зернистость которых постепенно уменьшают. Продолжительность одной стадии обработки в среднем составляет 6-10 часов. Поэтому общая продолжительность обработки может достигать нескольких десятков часов.

Для исследования процесса виброгалтовки нами изготовлен вибробарабан, в котором вибрация (вынужденные колебания) в горизонтальной плоскости сообщается платформе, на которой установлены емкости для галтовки заготовок.

Планетарно- центробежная обработка обеспечивает высокую производительность в плане снятия слоя материала с поверхности заготовок, округление их острых граней. Исследование шероховатости поверхностей при планетарно-центробежной и виброгалтовке производилось использованием заготовок из лазурита

Исследование шероховатости поверхности на планетарно-центробежном станке использовали станок, разработанный и изготовленный на кафедре «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Таджикского технического университета им. М. С. Осими [3]. При исследовании шероховатости поверхностей в каждой из емкостей (5 шт.) галтовачного барабана загрузили заготовки произвольной формы и брусков из лазурита размерами 7х7х16 мм в количестве по 12 штук. Масса загрузки одной емкости составляла 0,25 кг. В качестве рабочей среды использовали водную суспензию абразива электрокорунд М20 из расчета 10 гр. на 1кг заготовок. По

результатам изменения шероховатости заготовок до и после обработки оценили возможности данного процесса обработки в плане улучшения качества поверхности. На рис.1. приведены результаты, полученные при обработке на планетарно-центробежном станке.

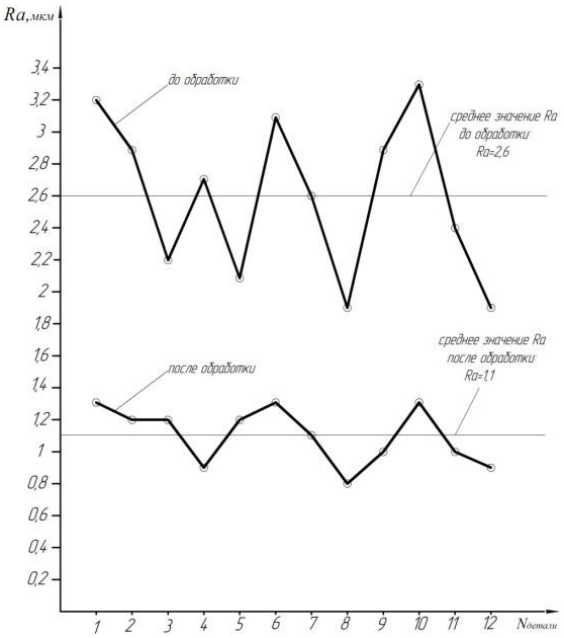


Рис.1. Зависимость изменения шероховатости при обработке на планетарно-центробежном станке. Условия проведения эксперимента: - абразив электрокорунд, М20; количество абразива 10г/кг; продолжительность обработки 15 мин.

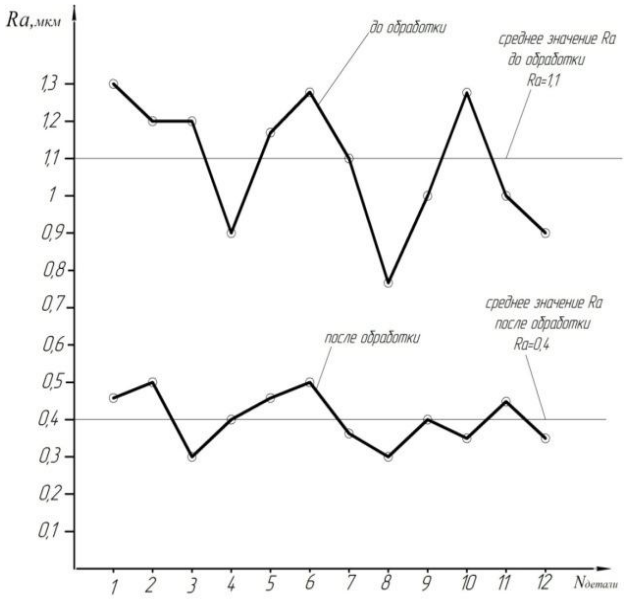


Рис.2. Зависимость изменения шероховатости при обработке на виброгалтовочном станке. Условия проведения эксперимента: - абразив электрокорунд, М20; количество абразива 10г/кг; продолжительность обработки 8 час.

На рис 2 приведены результаты, полученные обработкой на виброгалтовочном станке.

Экспериментальные исследования процесса показали, что при обработке на планетарно-галтовочном станке интенсивность исправления шероховатости выше. При исходной шероховатости R_a=2,6 мкм, после 15 минут обработки абразивом М20 получена шероховатость R_a=1,1мкм (рис.1) Коэффициент исправления шероховатости $К_ш = \frac{2,6}{1,1} = 2,36$, а интенсивность исправления шероховатости 0,1 мкм/мин. При виброгалтовке (Рис.2) $К_ш \frac{1,1}{0,4} = 2,75$, а интенсивность исправления шероховатости 0,00146мкм/мин. При данной шероховатости и продолжительности обработки равной 15 минут при виброгалтовке изменение шероховатости практически не наблюдалось. При вибрационной галтовке интенсивность съема меньше, но можно обеспечить значения шероховатости до значений R_a=0,04. Исследования зависимости шероховатости от зернистости абразива приведены на рис. 3 для планетарной центробежной галтовки и рис.4 для вибрационной галтовки. Продолжительность обработки при планетарно-центробежной галтовке составляла по 15 мин. для каждой зернистости абразива. При виброгалтовке продолжительность обработки для каждого значения зернистости составляла по 8 часов.

Для повышения эффективности процесса обработки рекомендуется обработку произвести в две стадии, сперва обработать на планетарно-центробежном станке продолжительностью 15 мин., далее виброгалтовкой в двух этапах. Сперва абразивом М7 и далее абразивом М3 и М1. Продолжительность обработки зависит от свойства обрабатываемого материала и устанавливается экспериментально. Обработка заготовок производится сперва крупнозернистым абразивом, а в последующем абразивом меньшей зернистости. В противном случае, на поверхности после обработки остаются риски-следы предшествующей обработки, ухудшающие показатели качества поверхности.

При экспериментальном исследовании процесса виброгалтовки среднее значение исследуемого параметра в каждой точке определялось, как среднее арифметическое измерения 16 – деталей.

Результаты исследования зависимости шероховатости от зернистости абразива при планетарно-центробежной обработке и вибрационной обработке приведены на рис.3. и рис 4.

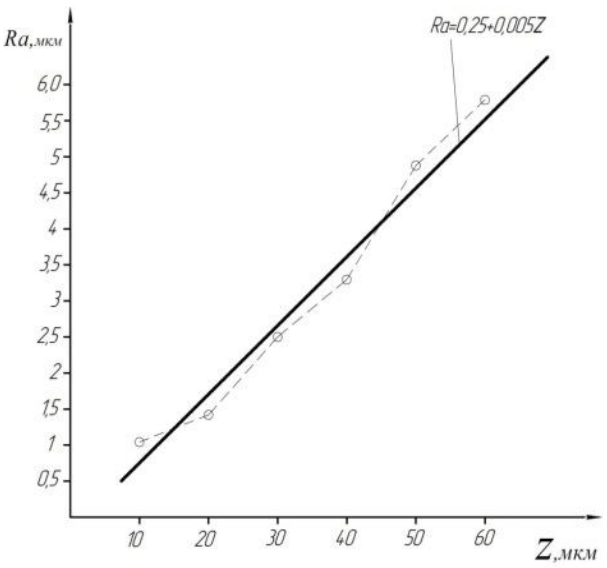


Рис.3. Зависимость шероховатости поверхности от зернистости образца при планетарно-центробежной обработке.

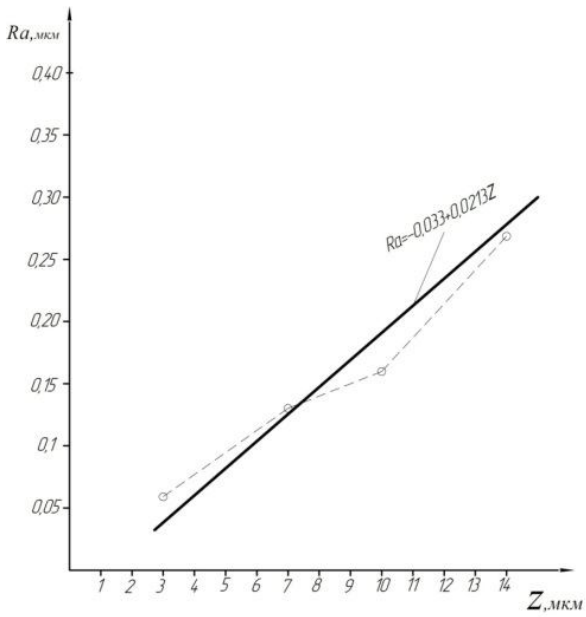


Рис.4. Зависимость шероховатости поверхности от зернистости образца при виброгалтовке

На графике (рис.3) приведена зависимость шероховатости поверхности от зернистости абразива для планетарно-центробежной обработки. Из графика следует, что при возрастании зернистости абразива наблюдается увеличение шероховатости поверхности. На графике (рис.4) приведена зависимость шероховатости поверхности от зернистости абразива при виброгалтовке. Продолжительность обработки для каждой точки эксперимента составляла 8 часов. Обработка производилась поэтапно. Обработка абразивом более мелкой зернистости производилось после обработки абразивом большей зернистости. Из графика следует, что при возрастании зернистости абразива наблюдается увеличение шероховатости поверхности. При проведении этих экспериментов, кроме исследуемого фактора остальные принимались постоянными.

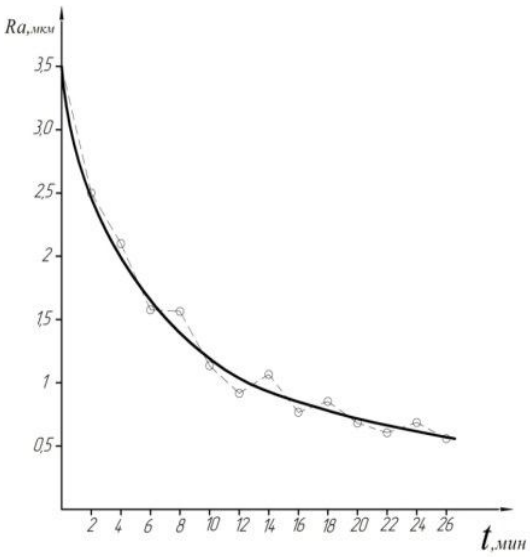


Рис.5. Зависимость шероховатости от продолжительности обработки при планетарно-центробежной обработке

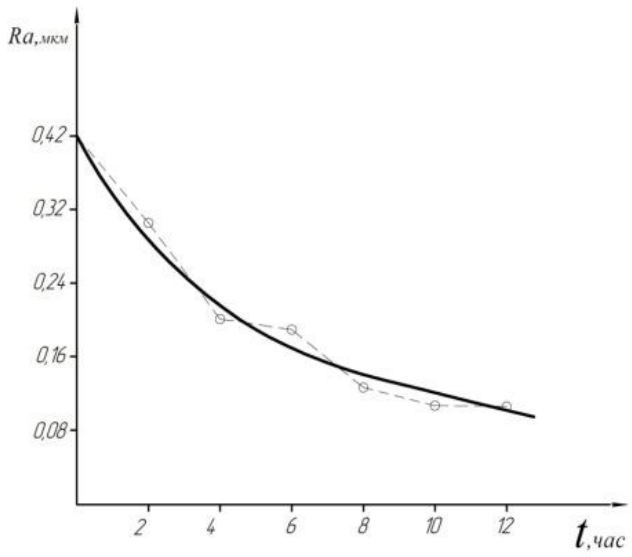


Рис.6. Зависимость шероховатости от продолжительности обработки при виброгалтовке

На графиках рис.5 и рис.6 приведены зависимости параметра шероховатости – Ra от продолжительности обработки на планетарно-галтовочном и виброгалтовочном станках соответственно. Установлено, что зависимость шероховатости от продолжительности обработки нелинейно. Значение шероховатости зависит от зернистости абразива. Для процесса планетарно-центробежной обработки примерно в течение 20-25 мин., а для виброгалтовки через 6-12 часов устанавливается определенная шероховатость. Дальнейшая обработка практически мало меняет установившуюся шероховатость. Поэтому желательно техпроцесс обработки построить с учетом этой особенности. Качество поверхности является одним из важнейших показателей деталей машин и приборов. Декоративные свойства ювелирных изделий во многом определяются показателями их качества поверхности. Один из регламентируемых параметров качества поверхности деталей является среднее арифметическое отклонение профиля – R_a.

Определение параметра R_a при различных способах галтовки производилось использованием абразивных порошков одинаковой зернистости при одинаковой последовательности обработки до стабилизации параметра шероховатости. Результаты эксперимента приведены в графике рис.7.

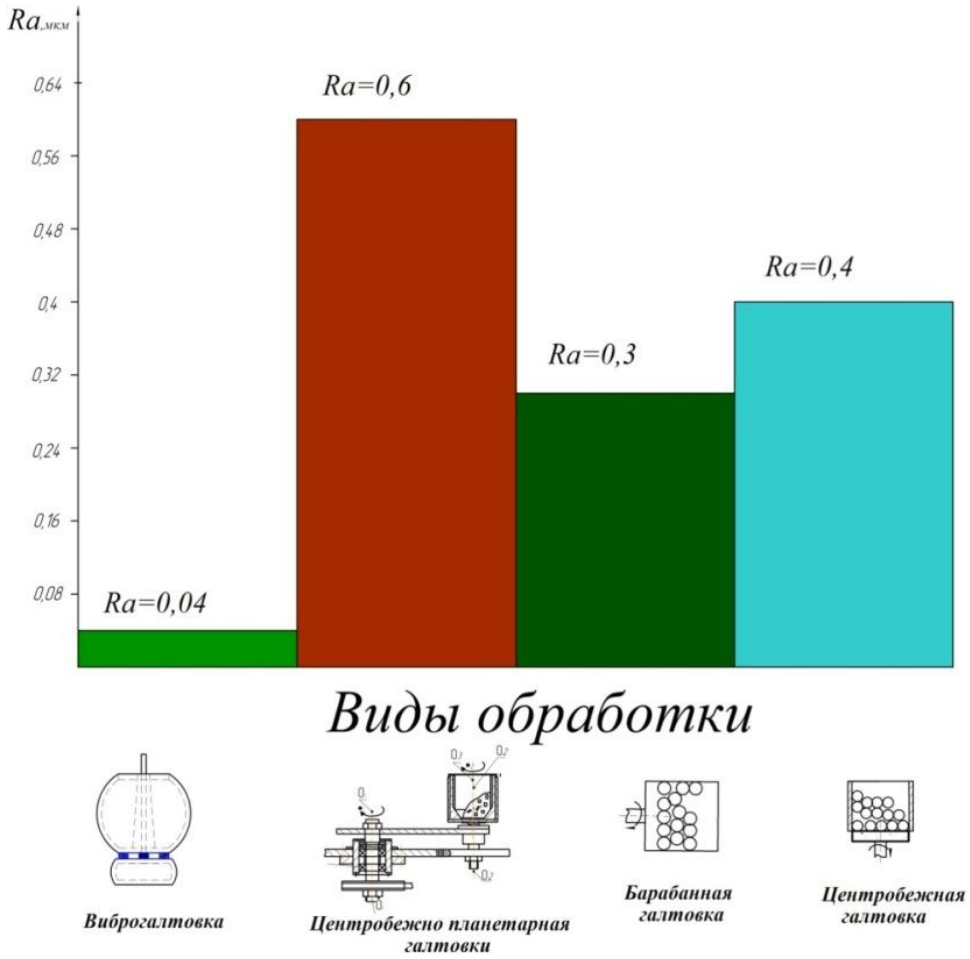


Рис.7 Сравнение видов галтовки по достигаемому качеству поверхности.

На основе данного анализа рекомендуется при разработке технологических процессов галтовки самоцветных камней в стадиях черновых операций использовать метод планетарно-центробежной обработки, а чистовые операции, где формируется качество поверхности, выполнять методом вибрационной галтовки. При этом можно значительно сократить общую длительность цикла обработки.

Список литературы: 1. Синкенкес Дж. Руководство по обработке драгоценных и поделочных камней. [Текст] / Дж. Синкенкес // Перевод с английского. Москва. «МИР» 1989г. 415 стр. **2.** А.с.933402.СССР,МПК В24В 31/11 Виброцентробежный станок.[Текст] / В.М.Мороз.Н.И.Бондарь.Г.Р.Рачинский.[и.др.]. №4433204/25-08; заяв. 04.04.88; опубл. 15.01.90, Бюл. №33. **3.** Патент № TJ 647 Таджикистан. МПК(2014), B24B31/00. Планетарно-центробежная установка для абразивной обработки заготовок из различных материалов [Текст] / А. И. Мирзоалиев; И. М .Мирзоалиев; Т. А Ходжаев [и др.].– №1300823; заявл. 09.12.2013 опубл.10.11.2014, бюл. №99 – с. 13

ПАРАМЕТРЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО МИКРОПРОФИЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРИБОЭЛЕМЕНТОВ СОЕДИНЕНИЙ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ, ПОДВЕРГНУТЫХ КОМБИНИРОВАННОЙ АНТИФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

Нагоркин М. Н., Фёдоров В. П., Ковалева Е. В., Пыриков И. Л.
(БГТУ, г. Брянск, Россия) тел.:+7(960)555-61-25; E-mail: nagorkin@tu-bryansk.ru

Abstract: *Questions of formation of parameters of the operational microprofile of cylindrical surfaces in joints of sliding friction parts in the running-in process, taking into account its conditions is considered in this article. Conditions and modes of individual operations of finishing antifriction non-abrasive treatment are also taken into account.*
Keywords: *microprofile, finishing treatment, surface modification, superficial plastic deformation, rubbing friction, factors, experiment.*

Эксплуатационные свойства поверхностей деталей машин являются важным компонентом обеспечения надёжности изделий машиностроения в целом за время активного периода их жизненного цикла. Они зависят от точности и ряда функциональных параметров качества поверхностного слоя (ПКПС) и эксплуатационных свойств (ПЭС), к которым относятся макроотклонения, волнистость, шероховатость, наклёп и остаточные напряжения, в том числе параметры микропрофиля, сформировавшиеся в процессе приработки.

К настоящему времени известны весьма эффективные антифрикционные технологии на основе твёрдых нитридсодержащих износостойких покрытий, полученных методом катодно-ионной бомбардировки в вакууме с последующей обработкой ППД, но они имеют существенное ограничение в применении, которое заключается, с одной стороны, в геометрическом соотношении обрабатываемых деталей и камер для нанесения покрытий, а с другой – в сплошности наносимого покрытия, то есть его избирательное нанесение по поверхности затруднено.

Перспективной в этом плане с точки зрения обеспечения износостойкости может быть трёхступенчатая обработка на завершающей стадии технологического процесса. Данная технологическая система (ТС), в основе которой лежит создание мягких приработочных плёнок, включает три основных этапа (рис. 1).

1 этап – предварительная чистовая обработка поверхности, обеспечивающая заданную точность размеров детали и требуемые геометрические параметры качества для эффективного нанесения материалов приработочных плёнок (если они будут наноситься фрикционным способом, то шероховатость поверхности должна инициировать процесс микрорезания). Технологические операции могут выполняться чистовым точением $О_{11}$ инструментом с ПСТМ или шлифованием $О_{12}$. Предпочтительнее применение лезвийных методов обработки, при которых исключается процесс шаржирования поверхности.

2 этап – нанесение на поверхности деталей материалов для получения мягкой приработочной плёнки. Операция выполняется двумя способами: $О_{21}$ – финишной антифрикционной безабразивной обработкой (ФАБО) фрикционным латунированием (меднением и др.); $О_{22}$ – химическим способом, включающем нанесение на поверхность химических растворов, вызывающих осаждение на ней плёнки мягкого вещества, например меди.

3 этап – формирование микропрофиля, исключающего процесс микрорезания и обеспечивающий требуемые ПЭС, в частности износостойкость. Обработка осуществляется методами ППД: $О_{31}$ – алмазным выглаживанием (АВ); $О_{32}$ – накатыванием шариками (НШ) и др.

Таким образом, на этапе 1 рассматриваемой комбинированной обработки обеспечивается процесс микрорезания для этапа 2, а на этапе 3 необходимо его полностью исключить для успешной эксплуатации соединения.

Логическую модель трёхступенчатой комбинированной ТС обработки можно представить в следующем виде:

$$ТС = 1 \wedge 2 \wedge 3 = (O_{11} \vee O_{12} \vee \ldots \vee O_{1n}) \wedge (O_{21} \vee O_{22} \vee \ldots \vee O_{2n}) \wedge$$
$$\wedge (O_{m1} \vee O_{m2} \vee \ldots \vee O_{mn}). \quad (1)$$

В уравнении (1) предполагается, что в общем случае ТС может иметь *m* подсистем, каждая из которых может быть реализована *n* способами обработки.

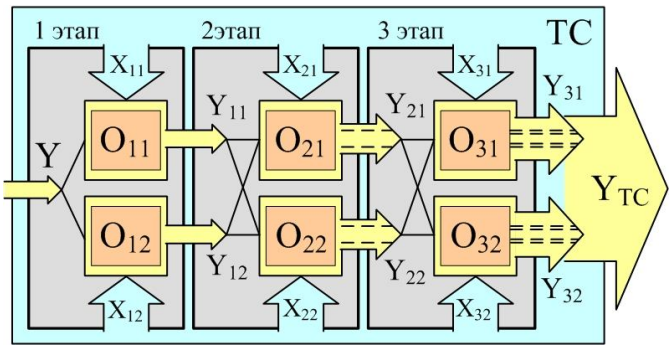


Рис. 1. Схема комбинированной ТС обработки деталей на основе модификации поверхности мягкими приработочными материалами и последующей обработки ППД: Y – качество поверхностного слоя, полученное на предыдущих технологических операциях; Y_{11}, …, Y_{mn} – ПКПС на промежуточных этапах технологического процесса обработки; $Y_{ТС}$ – ПКПС после обработки; X_{mn} – факторы обработки технологической операции; O_{mn} – вид технологической операции; m – этап обработки; n – метод обработки

Предлагаемый технологический процесс трёхступенчатой чистовой и финишной обработки (рис. 1) должен способствовать повышению износостойкости, снижению коэффициента трения и величины начального износа, а также пути и времени приработки. Анализ методов финишной обработки функциональных поверхностей деталей машин на основе ППД убедительно показывает, что весьма эффективным методом ППД на стадии 3 предлагаемой антифрикционной технологии может служить алмазное выглаживание, что и предопределило приоритет его применения в процессе исследований. Рассматривалось применение алмазного выглаживания инденторами из АСПК устройствами упругого действия.

В процессе приработки в силу возникающих механических воздействий между контактирующими поверхностями происходит эволюция их микропрофилей из технологического в эксплуатационный, то есть в такой, который будет сохраняться в основных своих чертах на протяжении всего нормального цикла работы трибосопряжения. Обычно эксплуатационный микропрофиль формируется к концу процесса приработки, когда стабилизируется температура в зоне контакта, коэффициент трения и протекающие в зоне контакта сложные физико-химические процессы (один из примеров такой эволюции представлен на рис. 2).

Сравнение микрофотографий поверхности вала (рис. 2) показывает, что в процессе приработки мягкая приработочная плёнка не ликвидируется, а сама поверхность теряет эффект сглаживания вершин профиля (рис. 2б) и носит на себе следы микроцарапания, которое происходит либо посредством контактирующей поверхности вкладыша, либо посредством частиц продуктов изнашивания.

Что касается эксплуатационной шероховатости поверхности вкладыша, то её вид резко отличается от исходной. Сравнивая эти параметры с параметрами, представленными на рис. 2в, следует отметить, что микропрофиль поверхности вкладыша претерпел значительные изменения. Высотные параметры *Ra, Rz, Rmax* увеличились, причём параметр *Rmax* увеличился почти в 2 раза, однако параметр *Ra* практически не изменился. Это говорит о том, что резко возросла несущая способность поверхности.

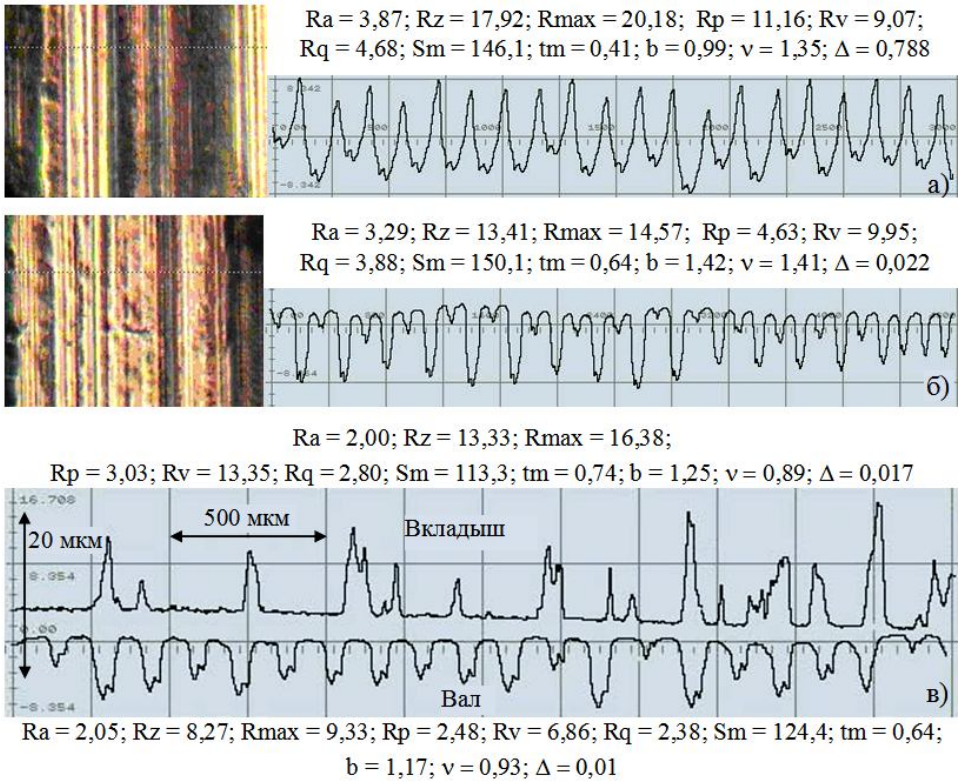


Рис. 2. Пример эволюции микропрофиля поверхностей образцов в процессе отдельных этапов жизненного цикла: а – предварительное точение; б – последующее нанесение мягкой плёнки и алмазное выглаживание; в – окончание процесса приработки

Исследование формирования эксплуатационного микропрофиля и его параметров проводились методом активного эксперимента.

В область исследований комбинированной ТС включены следующие факторы:

1 этап (рис. 1) – скорость резания V_T (65 – 200 м/мин), подача S_T (0,05 – 0,015 мм/об), глубина резания t (0,1 – 0,25 мм), жёсткость технологической системы предварительного чистового точения j (1,62 – 2,5 кН/мм);

2 этап (рис. 1) – $М_п$ – материал наносимой мягкой медесодержащей плёнки (методами: фрикционного латунирования – 3.0; химического меднения – 1.5;

3 этап (рис. 1) – сила алмазного выглаживания Q_{AB} (100 – 300 Н), подача при выглаживании S_{AB} (0,075 – 0,15 мм/об), скорость алмазного выглаживания V_{AB} (65 – 100 м/мин).

В качестве условий эксплуатации к этим факторам добавлены следующие:

– $V_{пр}$ (10 – 50 м/мин) – скорость относительного скольжения поверхности трибоэлементов в процессе приработки;

– $P_{пр}$ (30 – 50 Н/мм) – величина номинальной погонной нагрузки на трибосопряжение в процессе приработки;

– ΔP (0,15 – 0,25%) – процент вариаций номинальной погонной нагрузки на трибосоединение в процессе приработки при моделировании динамических условий экс-

плуатации;

– $M_{вкл}$– материал вкладыша **(**бронза ОЦС 5-5-5 – 5.0, антифрикционный чугун АСЧ 1 – 2.0).

Таким образом, комплексный план исследований по схеме активного эксперимента рассматриваемой триботехнологической системы, включающей трёхступенчатую антифрикционную обработку (рис. 1) и факторы процесса приработки, поводился по схеме активного эксперимента с матрицей планирования в виде регулярной дробной реплики типа 2^{12-8}.

Регистрация и анализ измеряемых характеристик осуществлялась, с использованием компьютеризированных систем металлографического анализа и исследования микропрофиля поверхностей [1, 2]. Приработка проходила на специальном стенде в присутствии смазки (масло «Индустриальное И-30А»).

Микроанализ поверхностей образцов выявил живучесть приработочной плёнки, которая удерживается на поверхности не только при обработке ППД, но и по завершению процесса приработки, что весьма важно. Этот факт подчёркивает высокую эффективность предложенной антифрикционной технологии.

В результате обработки экспериментальных данных по известной принятой методике получены адекватные физико-статистические имитационные модели:

$$Y_i = b_0 K_1 K_2 V_T^{b_1} S_T^{b_2} t^{b_3} j^{b_4} Q_{AB}^{b_6} S_{AB}^{b_7} V_{AB}^{b_8} V_{np}^{b_{10}} P_{np}^{b_{12}} \Delta_p^{b_{13}}, \qquad (2)$$

где Y_i – i-тый параметр; K_1, K_2 – коэффициенты, учитывающие вид приработочной плёнки (ЛФ или МХ) и материал вкладыша соответственно; b_k – коэффициенты модели Кобба-Дугласа.

Например, модель формирования параметра $Ra_{экспл.}^{вкл.}$ вкладыша имеет вид:

$$Ra_{экспл.}^{вкл.} = 8{,}82 \cdot 10^{-6} \cdot K_1 \cdot K_2 \times$$

$$\times \frac{V_T^{0,71} \cdot \left(\Delta P / P\right)^2}{S_T^{0,07} \cdot t^{0,17} \cdot j^{0,15} \cdot Q_{AB}^{0,23} \cdot S_{AB}^{0,22} \cdot V_{AB}^{2,58} \cdot V_{np}^{0,3} \cdot P_{np}^{0,72}} \quad [\text{мкм}]. \qquad (3)$$

Значения имеющихся в ней факторов принимаются в соответствии с матрицей планирования. Коэффициенты K_1 и K_2 рассчитываются путём возведения в соответствующую степень (b_5 и b_9, соответственно) их кодированных значений.

Например, для зависимости (3) величина K_1 рассчитывается следующим образом:

$K_1 = 3^{0,1535} = 1{,}18$ – для фрикционного латунирования;

$K_1 = 1{,}5^{0,1535} = 1{,}06$ – для химического меднения.

$K_2 = 5^{-1,7183} = 0{,}06$ – для «БР – ОЦС 5-5-5»

$K_2 = 2^{-1,7183} = 1{,}06$ – для «АСЧ 1»,

Зависимости вида (3) получены для значений параметров шероховатости *Ra, Rp, Rz, Rmax,* ρ_m*, b,* ν рассматриваемых поверхностей валов и вкладышей.

Список литературы: 1. Фёдоров, В. П. Автоматизация диагностики технологических систем по параметрам качества поверхностей обрабатываемых деталей / В. П. Фёдоров, М. Н. Нагоркин, И. Л. Пыриков [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета – 2012. – № 1 (33). – С. 85–94. **2.** Фёдоров, В. П. Моделирование и управление качеством поверхностного слоя деталей с применением современных средств инструментального обеспечения и компьютерных технологий / В. П. Фёдоров, М. Н. Нагоркин, И. Л. Пыриков, М. П. Топорков // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2016. – № 2 (53) – с. 138 – 147

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ СУДОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЕЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Настасенко В. А. *(Херсонская государственная морская академия, Украина)*
Тел./Факс: +38 (050) 8079199; *E-mail: Nastasenko2004@front.ru*

Аннотация: *В работе проведен технико-экономический анализ основных путей развития возобновляемых топлив для судовой энергетики. Показано, что топлива растительного и животного происхождения не способны покрыть более 10-15% потребностей транспортного флота, поскольку ограничены урожайностью земель. Переработка в топливо свалок мусора требует развития инфраструктуры и больших капитальных вложений, а топливо поглотят близлежащие к ним населенные пункты. Наиболее перспективным топливом признан водород, поскольку при его сжигании образуется экологически чистый продукт – вода. Однако его получение химическим путем из газов и продуктов неорганической химии сопровождается выделением парниковых газов CO_2, а электролиз воды, обеспечивающий бесконечное количество циклов превращений и решающий проблему нехватки топлива, на 1-м этапе требует электроэнергии за счет сжигания традиционных топлив с выбросом CO_2. Общий КПД этого процесса на 10-15% ниже, чем при прямом сжиганием топлива в судовых ДВС. Поэтому необходим поиск новых научно-технических решений на основе применения систем альтернативной энергетики – солнечной, ветряной и гидроволновой.*

Ключевые слова: *возобновляемые топлива, водород, судовая альтернативная энергетика.*

Введение. Работа относится к сфере нетрадиционной энергетики на транспортном флоте и технико-экономическим проблемам ее применения и развития, в частности – к возобновляемым топливам и системам их производства и потребления.

Проблема применения на судах транспортного флота возобновляемых топлив является актуальной и важной, т.к. доля потребляемого судами традиционного топлива на базе нефти составляет от 7 до 10% ее добычи. Кроме потребности экономии нефти в условиях ее исчерпаемости к концу XXI века [1], второй проблемой нефтяных топлив является образование при их сжигании вредных для природы вещества [2], в т.ч. – диоксида углерода CO_2, ведущего к увеличению угрожающего Земле парникового эффекта. Актуальность и важность решения данных проблем не вызывает сомнений.

Анализ состояния проблемы, выбор цели и задач работы.

Применение возобновляемых топлив для судов имеет ряд особенностей, что требует выяснения возникающих при этом проблем и выбора рациональных путей их дальнейшего развития, исключающих неэффективные затраты времени и труда на их разработку и требуемых для их реализации материально-сырьевых и производственных ресурсов. Главной этой особенностью является большой объем потребляемого топлива – современные суда транспортного флота потребляют его в сутки от 10 т на судах типа река-море и до 350-400 т на магистральных контейнеровозах, многотоннажных судах и танкерах, доля которых в общем количестве судов составляет 25 – 30%.

Целью данной работы является анализ основных путей развития возобновляемой судовой энергетики и оценка их технико-экономической эффективности.

Научной новизной выполняемой работы является выбор и обоснование наиболее эффективных путей применения возобновляемой энергетики на транспортном флоте, их технико-экономический анализ и разработка рекомендаций по дальнейшему развитию.

Для этого необходимо решение следующих задач:

1) Обоснование отличий и систематизация основных видов возобновляемой энергетики применительно к транспортному флоту.

2) Выбор базы сравнения и основных влияющих на нее факторов.

3) Обоснование предпочтительных путей развития возобновляемой энергетики.

Исходные условия замены судовых традиционных энергетических систем.

К традиционным путям замены топлива на базе нефти можно отнести:

1) Переход на сжиженный природный газ (СПГ).

2) Использование ядерной энергетики.

Переход на природный газ лишь отодвигает проблему исчерпаемости топлива на 40 – 50 лет, поскольку его запасов больше, чем нефти. Однако при этом не решается проблема уменьшения выбросов CO_2. Кроме того, снижается безопасность применения топлива, что требует удорожающих стоимость постройки и эксплуатации судов двойных оболочек для систем подвода топлива, специальных систем контроля утечки газа, а также дублирующих систем хранения, подвода и сжигания топлива на базе нефти, используемых в случае аварий газовых систем [2]. Таким образом, применение СПГ на судах, кроме его перевозящих, скорее всего вынужденный путь, рекомендуемый в случае невозможности реализации других путей замены топлива на базе нефти.

Применение ядерного топлива и ядерных энергетических установок, подобных действующим в военном и ледокольном флоте [3], ограничено проблемами экологии и возможностью применения на суднах типа тяжелых крейсеров водоизмещением >25 тыс. т., что не позволяет решить проблему в полном объеме, поскольку суда меньшей тоннажности составляют около половины транспортного флота.

С учетом большого количества судов, требующих потенциального применения ядерных энергетических систем (более 10 тыс.), их вредность для экологии значительно возрастет, особенно в случае аварий типа Чернобыля и Фукусимы. Но главное – резко возрастет угроза пиратства и терроризма, поэтому данный путь не может быть рекомендован для внедрения на транспортном флоте.

В этом случае возрастает роль возобновляемых топлив в судновой энергетике.

Анализ систем возобновляемых топлив.

Структурная схема основных видов возобновляемых топлив показана на рис. 1. Их основу составляют:

1) Топлива растительного происхождения (натуральные твердые – дрова, солома, стебли растений и др.; в т.ч. – отходы обработки растений – опилки, шелуха зерен и др.; а также продукты, переработанные в жидкость – спиртовые топлива и очищенные растительные масла, составляющие основу биодизельных топлив, и др.).

2) Топлива переработки продуктов животного происхождения (биогазы).

3) Топлива переработки мусора (бытовые отходы, промышленные отходы, в т.ч. пластмасы, автопокрышки и др.).

4) Водородное топливо (полученное мембранными технологиями, химической переработкой, электролизом воды и др.).

Однако возможности всех этих видов имеют свои ограничения.

Если для 1-го вида на суше применение дров, соломы и стеблей растений может быть реализовано для топок котлов, то в судовом варианте (с компоновкой в брикеты) этот путь неприемлем по причине сложности хранения и подачи топлива в котлы (возврата к командам кочегаров на судах не будет). Кроме того, применение дров или древесных брикетов может привести к варварскому уничтожению лесов, а значительная часть соломы используется в сельском хозяйстве. Подача опилок и шелухи зерен в виде пульпы или воздушных потоков может быть механизирована для топок котлов, но для двигателей внутреннего сгорания, кпд которых значительно выше, чем у котловых паровых систем, данный путь сложен в реализации поэтому мало перспективен.

Рис. 1. Основные пути получения возобновляемых топлив

Возможность переработки в жидкость (спирты и растительные масла) большого количества растений (тростника, свеклы, картофеля, пальмового масла, подсолнечника, рапса и других бобовых культур) снимает указанную выше проблему использования их в ДВС. Однако производство этих видов топлив ограничено площадями и плодородием земель, которых уже сейчас недостаточно для производства продуктов питания (до 15% населения Земли недоедает, а значительная часть – голодает) и острота этой проблемы будет нарастать с ростом населения Земли.

Поэтому первый путь не покроет более 15% потребности транспортного флота, поскольку для получения 1 т топлива, например из рапса, потребуется площадь в 0,5 га, а для судов с суточной нормой потребления топлива 400 т, работающих более 250 суток в год, потребуется 50000 га или 500 км^2. Для покрытия годовых потребностей в топливе для транспортного флота, достигающих 700 млн. т., понадобятся 3,5 млн. км^2 земель, или более ⅓ площади Европы, а рапс, подсолнечник и им подобные культуры растений сильно истощают земли. Кроме того, стоимость такого топлива пока еще в 2 – 3 раза выше стоимости топлива на базе нефти.

Для второго пути получения возобновляемых топлив – биогаза, являющегося побочным продуктом жизнедеятельности домашних животных, проблемы нехватки плодородных земель для их прокорма – аналогичны. Однако применение этих отходов, как удобрения, значительно уменьшает возможности получения из них биогаза, поэтому данный путь также не покроет более 10% потребности транспортного флота в топливе.

Переработка свалок мусора требует развития производственной инфраструктуры и больших капитальных вложений, а получаемое топливо поглотят близлежащие к ним населенные пункты, а также местный автомобильный транспорт, поэтому возможности данного пути для транспортного флота – минимальны, однако его следует развивать для решения общих экологических проблем.

Наиболее перспективным топливом признан водород H_2, поскольку он может на 100% обеспечить потребности транспортного флота, а при его сжигании получается экологически чистый продукт – вода. Но для его использования необходимо решить комплекс организационно-технических задач.

Проблемы и задачи перехода на водородное топливо.

Задача перехода на водородное топливо возникла в автомобилестроении при создании экологически чистого городского автомобиля, но затем была расширена на суда транспортного флота, для которых имеются общие проблемы:

1) Производства H_2 и развития требуемой ему промышленной инфраструктуры.
2) Хранения H_2 и соответствующей этому промышленной инфраструктуры.
3) Использования H_2 и соответствующей этому промышленной инфраструктуры.
4) Развития инфраструктуры для обслуживания и ремонта топливных систем.

Анализ указанных проблем показал, что их решение требует больших затрат интеллектуальных, материально-технических и экономических ресурсов, поэтому вряд ли возможно в ближайшем десятилетии, о чем свидетельствует опыт принятой в США при президенте Буше программы разработки водородных автомобилей, отодвинутой при президенте Абаме на второй план в пользу создания электромобилей [4]. Однако без интенсификации научных исследований в сфере перехода на водородное топливо и планового финансирования работ на государственном и межгосударственном уровне, и в следующем десятилетии (30…40-х годах XXI века, предваряющих ощутимую с 2050 г. нехватку нефти) успех решения данных проблем будет невозможным.

В настоящее время водород в основном получают как побочный продукт ряда химических производств, но его объем обеспечивает: частично – сферы химического производства, метеорологическую разведку (для запуска шаров-зондов) и специальные сферы техники, связанные с научными исследованиями и криогенными технологиями. Расширение потребности производства водорода связано с планами применения его в автомобилестроении и на транспортном флоте, что требует развития других технологий.

Получение водорода мембранными технологиями – перспективный путь, но пока самый дорогой и малопроизводительный, поэтому требует больших затрат для развития.

Реальное производство водорода осуществляется химическим путем из газов, содержащих водород и из продуктов неорганической химии. Отдельно следует выделить производство водорода из сероводорода Черного моря [5], однако для этого требуется создание морских заводов-платформ, стоимостью около 1 млрд. $, поэтому на начальном этапе их окупаемости, стоимость получаемого водорода будет высокой.

Наиболее экономичным является получение водорода химическим путем на базе метана [4], однако эти процессы ведут к выделению газов парниковой группы. Например, при получении водорода методом *паровой конверсии* из метана при T = 700° С, химические преобразования имеют вид:

$$\begin{array}{l} H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + O_2^- \\ + \; CH_4 + O_2^- \rightarrow CO + 2H_2 + 2e^- \\ \hline CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 \end{array}$$

Выделение кг/молей газов CO и H_2 происходит в соотношении 1:3.

Еще большая удельная доля выбросов CO (1:2, с учетом потребления 1 кг/моля CO_2 непосредственно в процессе получения водорода) возникает при *диоксид углеродной конверсии* водорода из природного газа при T = 400° С:

$$\begin{array}{l} CO_2 + 2e^- \rightarrow CO + O_2^- \\ + \; CH_4 + O_2^- \rightarrow CO + 2H_2 + 2e^- \\ \hline CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2 \end{array}$$

Возможно получение водорода биологическим путем на базе ферментативных преобразований (рис. 2)

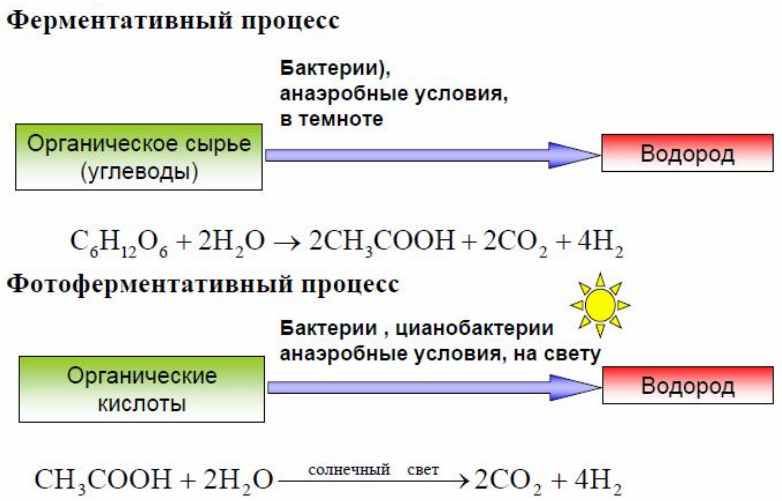


Рис. 2. Структурная схема получения водорода биологическим путем

Проблемы – попутное выделения CO_2 и потребность углеводородного сырья. Им может быть мусор свалок, но этот путь повторяет рассмотренные выше проблемы.

Получение водорода электролизом воды устраняет выбросы CO и CO_2, однако данный процесс в 2…3 раза дороже химических, а для получения требуемой для этого электроэнергии, вырабатываемой ТЭЦ, необходимо сжигание угля или газа, ведущее к суммарному увеличению выбросов CO_2, поскольку общий кпд системы преобразований тепловой энергии сгорания топлива в электрическую и самого процесса электролиза – не превышает 40%. Поэтому более целесообразно напрямую сжигать топливо в судовых энергетических установках (рис. 3), имеющих кпд около 53%.

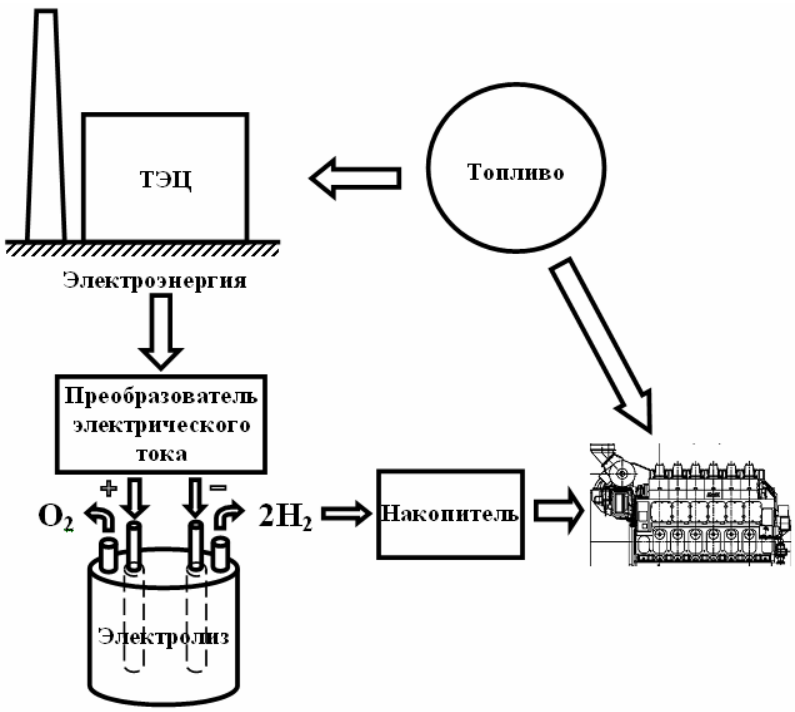


Рис. 3. Стадии получения электролизом и применения водородного и традиционного топлив

Однако электролиз воды и сжигание водорода обеспечивают бесконечное количество циклов превращений и снимают проблему нехватки топлива, поэтому его следует считать наиболее прогрессивным путем при выработке дешевой электроэнергии. Такую возможность с исключением выбросов CO_2, может обеспечить альтернативная энергетика – солнечная, ветряная, гидроволновая, поэтому необходимо их развитие.

Вторая проблема – хранение и транспортировка водорода, связана с тем, что его молекула является веществом минимальных размеров, поэтому она достаточно свободно проникает сквозь кристаллическую решетку металлов емкостей и трубопроводов, что ведет не только к потере газа, но и к проблеме взрывоопасности. Ее решение возможно с применением гидридов (например, на базе редкоземельных металлов) удерживающих водород в связанном состоянии [4]. Однако инфраструктуру производства таких систем еще следует создать.

Третья проблема – применение водорода. Прямое его сжигание в цилиндрах ДВС – затруднено, поскольку этот процесс сопровождается высокими температурами и большой скоростью, влияющей на динамику движения поршня и кривошипно-шатунной группы. Для судовых ДВС, где наибольший кпд имеют двигатели с большим объемом камер сгорания и малым количеством оборотов, напрямую вращающих винты, данная проблема является наиболее острой. Начиная с 80-х голов XX в. реально созданы лишь экспериментальные двигатели мощностью около 200 кВт, а для судов нужны мощности от 1 до 100 МВт, поэтому их создание связано с большими затратами интеллектуальных, материальных и экономических ресурсов и вряд ли возможно в ближайшее время.

Возможно применение водорода, как топлива в паровых котлах для паровых турбин, но кпд таких систем намного ниже, чем ДВС. Прямое сжигание водорода в тепловых турбинах затруднено высокими температурами и нагрузками на их лопатки, поэтому решение данных проблем также связано с большими затратами времени, интеллектуальных, материальных и экономических ресурсов.

Наиболее перспективным является применение водорода в топливных элементах мембранного типа (рис. 4) обеспечивающих прямое преобразование энергии процессов ионизации H_2 в электрический ток, в виде движения электронов [4].

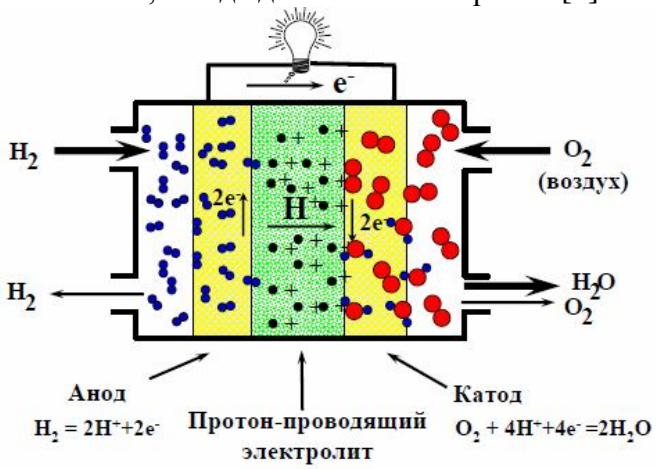


Рис. 4. Структурная схема мембранного водородного топливного элемента

Преимущества – прямое получение электрической энергии с кпд 60-80%.

Проблемы применения топливных элементов:

1) Мощность созданных компактных систем, пригодных для судов, составляет около 300 кВт, но стационарные станции на природном газе имеют мощность до 10 МВт.
2) Топливные элементы «стареют» и их кпд резко снижается в течение полугода.
3) Их стоимость значительно выше стоимости систем с ДВС.
4) Потребность создания производственной и обслуживающей инфраструктуры.

Таким образом, требуется совершенствование этих систем, связанное с большими затратами времени, интеллектуальных, материальных и экономических ресурсов. Но лишь водородное топливо можно считать наиболее перспективным топливом будущего, поэтому необходимо плановое решение данных проблем, в т.ч. в рамках программ международных саммитов COP [6] по охране окружающей среды. Однако альтернативой водородному топливу может быть развитие гидроволновой энергетики [7, 8].

Выводы

Проведенные исследования позволяют заключить, что:

1) Переход к возобновляемым топливам связан с комплексом проблем выбора сырья, условий его производства и применения.

2) Топлива растительного и животного происхождения не могут покрыть более 15% потребностей транспортного флота из-за нехватки сырья и плодородных земель.

3) Наиболее перспективной является водородная энергетика в электрохимических топливных элементах, однако она требует развития инфраструктуры их производства, эксплуатации и обслуживания, с большими затратами материально-экономических и научно-технических ресурсов. Поэтому широкое применение их на транспортном флоте в ближайшие 10 лет – затруднено, хотя их доля будет постепенно возрастать, в рамках повышения общих требований к улучшению экологии и сокращению расхода топлива.

4) Решение проблемы производства и применения H_2 не будет возможным и в следующем десятилетии без широкого привлечения научно-технических и материально-экономических ресурсов на уровне государственных и международных программ, что требует своевременного их планирования, в т.ч. на уровне саммитов COP.

Список литературы: 1. Кемпбел К. Грядущий нефтяной кризи. / К. Кемпбел – М. : Группа независимых издателей, 1997. – 210 с. **2.** Шурляк В. К. Разработка нормативных требований Регистра по применению СПГ в качестве топлива / В. К. Шурляк // СПГ как альтернативное топливо для морских судов. : материалы Всероссийского Семинара. [Электронный ресурс]. – С-Петербург : ГМА им. Макарова, 2012. – 24 с. – Режим доступа : www.korabel.ru/filemanoger/OTHER/0/0/3.pdf **3.** Хлопкин Н. С. Морская атомная энергетика : учебное пособие. / Н. С. Хлопкин – М. : МИФИ, 2007 – 244 с. **4.** Ландграф И. К. Введение в водородную энергетику и топливные элементы / И. К. Ландграф. – С.-Петербург : Филиал «ЦНИИ СЭТ» ФНУП «Крыловский государственный научный центр», 2012. **5.** Леонов В. Е. Альтернативные топлива для судовых энергетических установок (СЭУ) // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013) [Збірка матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції. У 2-х тт. (28-30 травня 2013 р., Херсон)]. – Т. 2. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2013. – С. 180–185. **6.** COP-21. Парижский Всемирный Саммит 2015 года по проблемам климата. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cop21/ **7.** Настасенко В. О. Сучасний стан суднової гідрохвильової енергетики та його аналіз / В. О. Настасенко, І. В. Блах // Науковий вісник ХДМА : науковий журнал. –Херсон : Видавництво ХДМА, 2015. – № 1 (12). – С. 58–65. **8.** Патент Российской Федерации на изобретение № 2603813 МПК B 63 H 9/00. Судно с гидроволновой энергетической установкой / Настасенко В. А. ; заявитель и патентообладатель Настасенко В. А. – 2014103004/20 ; заявл. 28.01.14. ; опубл. 27.11.16. ; БИ № 33.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОТОАГРЕГАТОВ

Овсянников С. И. *(БГТУ, г. Белгород, Россия)*
Тел./Факс: +7(904)0922707; Email: ovsrg@mail.ru

Abstract*: The paper presents the developed methodologies: a methodology for determining the basic design walking tractor size, method of determining the coordinates of the center of mass tillers, method of determining the moment of inertia about the central axes of walking tractor. Designed the construction of laboratory equipment which determines the moments of inertia with respect to the central axis tillers and aggregates which is based on them.*
Keywords: *walking tractor, moment of inertia, coordinates of centre-of-mass, methodology*

При математическом описании динамических процессов движения мотоблоков (МБ) и агрегатов на их основе используются следующие параметры: общий вес, распределение веса по движителям, координаты центра масс МБ, координаты стыковочных устройств, координаты центра масс агрегатируемых машин, моменты инерции относительно центральных осей. Особенностью мотоагрегатов (МА) является одноосная конструкция, которая уравновешивается в продольной плоскости оператором через штанги управления. Оператор, удерживая агрегат за штанги управления, частично воспринимает или добавляет нормальную нагрузку от силы веса агрегата. Поэтому, известные методики для тракторных агрегатов в данном случае не применимы.

Из-за сложности формы и неоднородности распределения массы МА возникают определенные трудности в определении моментов инерции вращающихся и поступательно движущихся масс расчетным способом относительно центральных осей.

Таким образом, **целью данной работы** является разработка методов определения основных массово-геометрических и инерционных параметров МБ и МА. Основные **задачи**: разработать методику определения основных конструкционных размеров МБ и МА; разработать методику определения координат центра тяжести; разработать методику определения моментов инерции поступательно движущихся и вращающихся масс МБ и МА.

Методика определения основных размеров МБ. Габаритные размеры определяются в транспортном, рабочем и подготовленном для хранения положениях. Измерения проводятся на площадках с твердым покрытием (бетонное или иное, не уступающее ему по твердости), гладкой поверхностью с продольным и поперечным уклонами не более 0,5 %. На поверхности площадки необходимо нанести две взаимно перпендикулярные линии, применяемые в качестве системы прямоугольных координат. МБ устанавливают таким образом, чтобы ось колес находилась над поперечной линией, а продольная – посредине колеи.

Раму МБ (при наличии) устанавливают горизонтально по уровню, при отсутствии таковой горизонтальное положение определяют по стыковочному узлу – продольная полка устанавливается горизонтально, а ось стыковочного шкворня вертикально. Фиксация МБ в горизонтальном положении осуществляется подбором по высоте подкладок под опорное устройство.

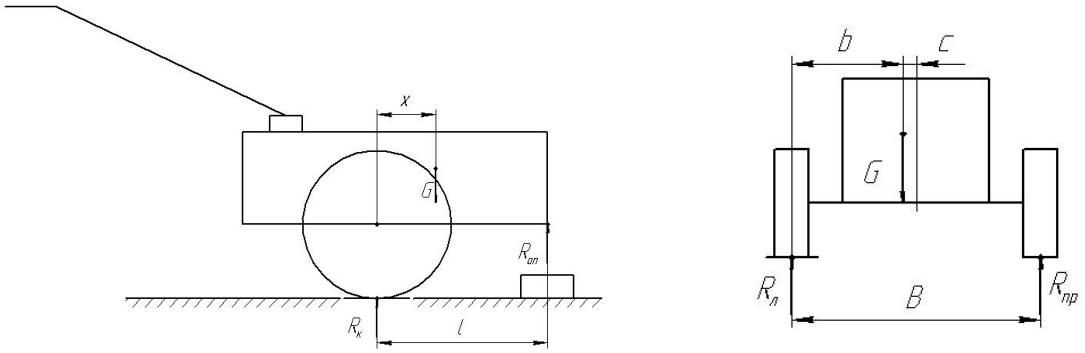
Размеры МБ определяют на опорной плоскости по проекциям характерных точек, измеряя с помощью отвеса или угольника расстояния от этих точек до осей координат и складывая полученные значения. Характерными точками являются рукоятки штанг управления, центральное отверстие стыковочного устройства, габаритные точки МБ, места установки балластных грузов.

Высоту определяют измерением расстояния между характерными точками и плоскостью опорной поверхности. Если пространство под этой точкой свободно, то измерение проводят с помощью линейки или нивелирной рейки. Если нет возможности провести измерение непосредственно, то измерение следует выполнять с помощью нивелирной рейки, устанавливаемой вблизи измеряемой точки. Точку переносят на рейку с помощью поперечной планки и угольника.

Методика определения координат центра масс МБ. Координаты центра масс определяют методом измерения реакции на колеса и опорное устройство в горизонтальном и наклонном в продольном направлении положениях. Предварительно путем взвешивания определяется общий вес МБ *G*.

Определение продольной координаты центра масс. Колеса МБ устанавливаются на площадку взвешивающего устройства, а опорное устройство на твердую поверхность таким образом, чтобы остов МБ находился в горизонтальном положении (рис. 1, а). Измеряют реакцию основы на движители $R_к$. и расстояние l между точками опорного устройства и колес. Продольную координату x рассчитывают по формуле (1).

Определение поперечной координаты смещения центра масс от продольной оси МБ. Измеряют реакции на правое $R_п$ и левое $R_л$ колеса при горизонтальном положении остова МБ (рис. 1, б), а также ширину колеи B. Поперечную координату центра масс от левого колеса b вычисляют по формуле (2), от центральной продольной оси c – по формуле (3). Положительный знак соответствует смещению центра масс влево, отрицательный – вправо от оси.



а) б)

Рис. 1. Схема к определению координат центра масс: а) продольной, б) поперечной.

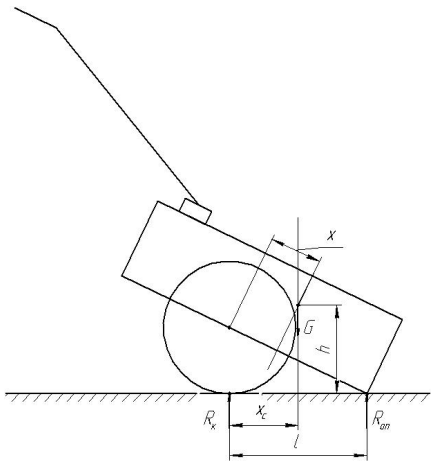


Рис. 2. Схема к определению высоты центра масс МБ.

Определение вертикальной координаты центра масс МБ. Остов МБ наклоняют в продольном направлении на угол 20-30° и опирают на весы, установленные на одном уровне с опорной поверхностью. Измеряют реакцию R'_{on} основания в месте точки опоры и расстояние d от опоры до колес (рис. 2). Вычисляем расстояние x_c по формуле (4). Испытание повторяют несколько раз, при этом сохранение угла наклона остова МБ не обязательно. При несовпадении результатов испытаний, координату x_c усредняют.

По точке пересечения двух линий (линии, определяющей продольную координату x, и вертикальной линии на расстоянии x_c от точки опоры колес) определяют координату h.

$$o = \frac{R_e}{G} l \tag{1}$$

$$b = \frac{R_{I?}}{R_{I?} + R_E} B \tag{2}$$

$$n = \frac{(R_E - R_{I?})B}{2(R_E + R_{I?})} \tag{3}$$

$$x_C = \frac{R_{II}^y}{G} d \tag{4}$$

Методика определения моментов инерции относительно центральных осей. Для определения моментов инерции относительно продольной x и поперечной y осей используем метод физического маятника при помощи установки (рис. 3), которая состоит из оси подвеса *1*, платформы *2* массой m_n, расположенной на расстоянии $c_П$ от оси подвеса. Отклонив платформу вокруг подвеса на угол 4-8°, выведем ее из равновесия и отпустим без начальной скорости. Измерив секундомером продолжительность 50-100 колебаний, вычислим период одного полного колебания и определим момент инерции платформы относительно оси подвеса по формуле (5).

Устанавливаем МБ на платформу так, чтобы продольная или поперечная ось была параллельна оси подвеса. Расстояние от центра масс системы МБ + платформа вычислим по формуле (6). Измерив период колебаний T_2 системы, определим ее момент инерции по формуле (7). По теореме Эйлера $J = J_C + mc^2$, тогда получим уравнение (8) для расчета момента инерции МБ.

$$J_I = \frac{T_I^2}{4\pi^2} m_I g c_I \tag{5}$$

$$n_2 = \frac{n_I m_I + c_{IA} m_{IA}}{m_I + m_{IA}} \tag{6}$$

$$J_2 = \frac{T_2^2}{4\pi^2}(m_I + m_{IA})gc_2 \tag{7}$$

$$J_{IA} = J_2 - J_I - m(c_2^2 - c_{IA}^2) \tag{8}$$

Для определения момента инерции относительно вертикальной оси z целесообразно применить метод крутильными колебаниями с помощью цилиндрического мультифиляра. Установка (рис. 4) состоит из платформы *2*, установленной на нитяных подвесах *5* длиной l по кругу радиусом r. Снизу к платформе в центральной части на оси закреплены два стержня *4* с подвижными грузами m, которые можно закрепить установочными винтами в любом месте и определить их положение по метрической шкале. Для центрирования платформы в вертикальном положении в ее центре перпендикулярно установлена стрелка. Если центр масс платформы лежит на вертикальной оси установки, то стрелка находится на одной вертикали с неподвижной стрелкой. Перед опытом прибор центрируют поворачивая стержни, а если необходимо, то и перемещая грузы, до тех пор, пока оси стрелок не совпадут. Устанавливаем эталон с известным моментом инерции на

платформу. Если центр масс лежит на центральной оси платформы, то положение стрелки останется неизменным, а если смещенным, то центр масс платформа + эталон не может находится на оси прибора и стрелка уходит в сторону.

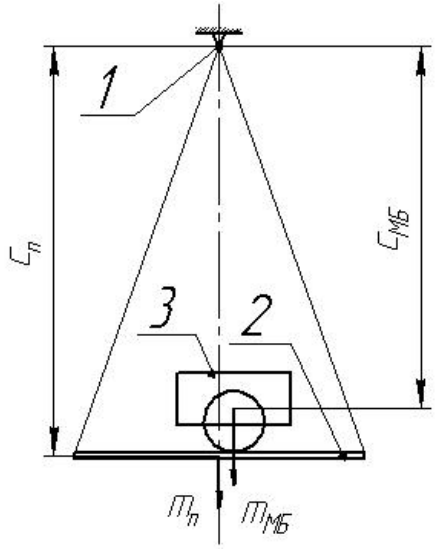


Рис. 3. Схема устройства для определения момента инерции методом физического маятника.

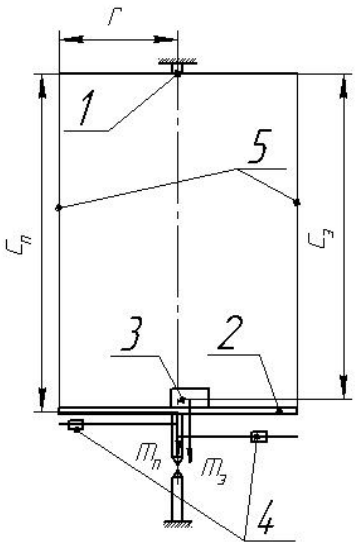


Рис. 4. Схема устройства для определения момента инерции методом крутильных колебаний.

Чтобы не перемещая эталон на площадке привести систему к оси прибора, надо изменить положение центра масс, поворачивая стержни до совпадения осей стрелок. Аналогичные действия проводят при установке МБ на платформу.

Методика определения момента инерции заключается в последовательном измерении периодов колебаний платформы T_1 устройства, платформы и эталона T_2, платформы и МБ T_3. Соответствующие моменты инерции вычисляем по формулам:

$$J_I = \frac{T_1^2}{4\pi^2}\frac{r^2}{l} m_I\, g \tag{9}$$

$$J_I + J_Y = \frac{T_2^2}{4\pi^2}\frac{r^2}{l} m_{IY}\, g \tag{10}$$

$$J_I + J_{IA} = \frac{T_3^2}{4\pi^2}\frac{r^2}{l} m_{IIA}\, g \tag{11}$$

Момент инерции платформы $J_I = J_Y \frac{T_1^2}{T_2^2 - T_1^2}$ (12)

Момент инерции МБ через эталон $J_{IA} = J_Y \frac{T_3^2 - T_1^2}{T_2^2 - T_1^2}$ (13)

Момент инерции МБ через инерцию платформы $J_{IA} = J_I \left(\frac{T_3^2}{T_1^2} - 1 \right)$ (14)

С помощью цилиндрического мультифиляра также определяются моменты инерции вращающихся частей: ведущих колес, шкивов, маховых колес и т.п.

Выводы. Разработанные методики позволяют быстро и с достаточной точностью определять основные массово-геометрические параметры мотоагрегатов, а именно конструктивные размеры, координаты центра тяжести, моменты инерции относительно центральных осей.

АНАЛИЗ И ВЫБОР ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ НАПЫЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ НА МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКРАНОВ ПРОТИВОМЕТЕОРНОЙ ЗАЩИТЫ

Пантелеенко Ф. И., Оковитый В. В., Асташинский В. А.
(БНТУ, г. Минск, Беларусь)
Тел./Факс: (017)293-92-23; E-mail: scvdmed@bntu.by

Abstract: *The paper considers the various options for creating composite multilayer coating of oxide powders of different composition elements on models screens protivometeornoy protection by plasma spraying. Basic requirements to be met by such Coatings minimum density, high visco-plastic properties, hardness, because the effectiveness of the protection screen elements determined by the absorption of the kinetic energy level of the meteor particle coating material.*
Keywords: *protivometeornaya protection, high ductility and toughness, aggressive media, oxides, low thermal conductivity, plasma coating*

Введение. Эффективность защиты объектов от повреждений при высокоэнергетическом воздействии определяется противоударной стойкостью используемых материалов. Применительно к противометеорной защите космических аппаратов высокопрочные гомогенные и гетерогенные металлы и сплавы, металлокомпозиты, пористово-локнистые и другие должны удовлетворять основным требованиям – минимальная плотность, высокие вязкопластичные свойства, твердость [1-3].

Из общих физических соображений следует, что эффективность защиты определяется уровнем поглощения кинетической энергии метеорных частиц материалом покрытия. Не касаясь всех механизмов поглощения энергии, укажем, что значительная ее часть расходуется на упругую и пластическую деформацию материала покрытий. Высокая пластичность и вязкость является существенным фактором увеличения стойкости. Повышение твердости резко снижает пластичность и вязкость, приводит к хрупкому разрушению. Типичные конструкционные материалы для противометеорных экранов: алюминиевые сплавы, титан, сталь. Еще большей противоударной стойкостью обладают многослойные структуры с твердым керамическим лицевым слоем и подслоем из вязкого металлического материала [4-10].

Во многих агрессивных средах, особенно при высоких температурах оксиды значительно более стойки по сравнению с карбидами, боридами и нитридами [11-13]. К специфическим свойствам оксидов следует отнести их низкие теплопроводность и электропроводность. Большинство оксидов, применяемых для напыления покрытий, имеет высокую температуру плавления. Многие из них обладают высокой твердостью и износостойкостью. Оксиды, особенно высшие, являясь конечными продуктами окисления, инертны к окислительным средам. Оксидные покрытия наиболее универсальны в условиях эксплуатации и могут быть использованы как коррозионностойкие и жаростойкие, теплозащитные, электроизоляционные и износостойкие. Благодаря невысокой стоимости ряда промышленных оксидов и их универсальных эксплуатационных свойств оксидная группа материалов получила особенно широкое применение в напыленных плазменных покрытиях [14-16]. Назначение и области применения плазменных покрытий на основе керамики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Назначение и области применения плазменных покрытий на основе керамики

Область применения изделия	Назначение покрытий	Материал покрытия
Авиация		
Лопатки газовых турбин, цапфы, шасси	Термостойкость	Al-Ni; Al; Al_2O_3; ZrO_2
Ракетная техника		
Головки и сопла ракет	Жаростойкость, жаропрочность, эрозионная стойкость	Окись алюминия, окись циркония, тугоплавкие металлы с пропиткой
Сопла ракет	То же	Слой окиси алюминия - слой Mo (5-6 чередующихся слоев)
Теплоизоляция	Терморегулирование	Окислы, карбиды
Космическая техника		
Обтекатели, экраны	Жаропрочность, жаростойкость	Окись циркония, W, Mo
Теплоизоляция ракетоносителей	Жаростойкость	Окись циркония, W, Mo
Аппараты для космических исследований	Жаропрочность, жаростойкость, терморегулирование	Окислы, карбиды Окислы, карбиды, силициды , WC
Энергетика, в том числе атомная		
Канал и детали МГД - генераторов	Электроизоляция, жаростойкость	Al_2O_3; $MgAl_2O_4$
Электроды МГД - генераторов	Жаростойкость, электропроводность при высоких температурах	ZrO_2 стабилизированная
Топливные элементы	Жаростойкость	Al_2O_3; ZrO_2
Транспорт		
Днища поршней и поверхность камер сгорания	Теплоизоляция, жаростойкость (каталитическое действие)	Al_2O_3; Al-Ni; ZrO_2; Mo; CeO-LaO; керметы

При плазменном напылении оксидов одним из наиболее распространенных дефектом является отслаивание покрытий. Причем этот дефект может проявляться непосредственно в процессе напыления и при эксплуатации покрытия [1] [17]. Отслаивания вызваны, как правило, большей разницей в коэффициентах термического расширения оксидною покрытия и напыляемого изделия. Для частичного сглаживания температурного коэффициента линейного расширения применяют подслои. При выборе материала подслоя необходимо стремиться также к образованию на границе раздела высокой адгезионной прочности. По этой причине часто в качестве промежуточного слоя напыляют соединения металлидного типа, например, NiAl, NiCr и др.

Оксид алюминия (Al_2O_3). Применяют для напыления покрытий различного назначения. Необходимые фракции порошка отсеивают из электрокорунда (α-$A1_2O_3$)

или глинозема (γ-$A1_2O_3$), выпускаемых промышленностью для многоцелевого использования. Материал имеет невысокую стоимость и доступен в приобретении. Используется и чистый безводный оксид алюминия класса "ч. д. а.". Наиболее устойчивыми модификациями оксида алюминия являются α-$A1_2O_3$ (высокотемпературная) и γ-$A1_2O_3$ (низкотемпературная) [18]. При газотермическом напылении в зависимости от метода и режима процесса в покрытии формируется как γ-$A1_2O_3$, так и α-$A1_2O_3$. Например, в процессе плазменного напыления при высоком градиенте температуры контактного взаимодействия покрытие формируется, в основном, из модификации γ-$A1_2O_3$. С ростом толщины покрытия в его составе в значительных количествах может формироваться и высокотемпературная α-$A1_2O_3$ модификация.

Система $A1_2O_3$ - TiO_2. Эта система оксидов получила большое распространение при плазменном напылении покрытий. Применяют механические смеси порошков, а также спеченные композиции. Добавки TiO_2 выбирают, в зависимости от назначения покрытий, в широком диапазоне концентраций. При этом повышаются многие показатели эффективности процесса напыления и эксплуатационные характеристики покрытии. В частности, снижается пористость, величина остаточных напряжений, повышается пластичность. В системе $A1_2O_3$-TiO_2 возможны две эвтектики: на основе $A1_2O_3$ $T_{пл}$ = 1840 °С и на основе TiO_2 с $T_{пл}$ = 1705 °С. Таким образом, по сравнению с $A1_2O_3$ граница плавления может быть снижена на 300-350 °С. Введение TiO_2 улучшает смачиваемость расплавленными частицами поверхности напыления [19]. В конгломерированных порошках лучшие результаты получены на композиции $A1_2O_3$+13%. TiO_2. Для приготовления смесей используется технический рутил или TiO_2 класса "ч. д. а." Исходное состояние композиции $A1_2O_3$-TiO_2 содержит α-$A1_2O_3$, TiO_2 в форме рутила и соединение β-Al_2TiO_5. В плазменном покрытии фазовый состав несколько изменяется: появляются следы γ-$A1_2O_3$; обнаруживается твердый раствор на основе $A1_2O_3$. Поверхность зерен покрыта мелкозернистой эвтектикой, в которой выявляется соединение β-Al_2TiO_5.

Оксид циркония (ZrO_2). В качестве материалов оксидной керамики в ракетно-космической технике наибольшее применение в настоящее время получили композиции на основе диоксида циркония частичного стабилизированного оксидами редкоземельных металлов (ЧСЦД) [6-11].Это обусловлено рядом его свойств: низким коэффициентом теплопроводности λ (0,6-1,3 $Втм^{-1}К^{-1}$) и сравнительно высоким коэффициентом линейного термического расширения α ($6\text{-}13\cdot10^{-6}$ $град^{-1}$), соизмеримым с коэффициентами для жаропрочных сплавов на основе Ni и Co ($15\text{-}17\cdot10^{-6}$ $град^{-1}$), возможностью обеспечения высоких механических свойств упрочненной керамики [20-23]. В частности, циркон и цирконаты щелочноземельных металлов имеют близкие с ЧСДЦ физические свойства, однако их применение ограничено недостаточно высокими механическими свойствами. Основным методом, используемым для нанесения покрытий из диоксида циркония, является плазменное напыление. Положительные результаты получены также при использовании электронно-лучевого, ионно-плазменного напыления, магнетронного распыления. Тем не менее преимущественное распространение плазменного напыления сохраняется, прежде всего, вследствие его высокой производительности и универсальности, позволяющей наносить металлические и керамические материалы заданного химического и фазового состава. В общем случае антиметиоритные покрытия представляет собой

многослойную систему, включающую металлический подслой и внешний керамический слой [7–9]. Основной причиной разрушения плазменных покрытий является термомеханические напряжения, вследствие рассогласования термического расширения металла основы и керамического слоя, а также неравномерности распределения температурного поля в покрытии. Термомеханические напряжения усугубляются действием остаточных напряжений, возникающих в покрытии при напылении, и ослабляются эффектами пластичности и ползучести, реализующимися в металлическом подслое. Значительная структурная чувствительность свойств покрытий на основе диоксида циркония требует строгой воспроизводимости результатов. Это накладывает особо жесткие ограничения на качество используемых материалов и точность поддержания технологических режимов нанесения покрытия.

Основная функция подслоя в плазменных покрытиях – это пластическая релаксация напряжений, возникающих из-за несогласованного изменения объемов керамических и металлических материалов при нагреве и охлаждении покрытия. Так как пластичность сплавов катастрофически уменьшается в результате их высокотемпературного окисления, а слой керамики является проницаемым для газов, материал подслоя должен обладать высокой жаростойкостью. Поэтому проблема формирования подслоя сцепления сводится к решению двух основных задач: 1) обеспечение необходимой пластичности подслоя в рабочем интервале температур; 2) обеспечение его жаростойкости. Комплексное решение данных задач затруднено, поскольку увеличение жаростойкости сплавов на основе никеля путем повышения концентрации образующих защитные пленки элементов: алюминия, хрома, неизбежно сопровождается резким снижением пластичности сплава. Необходима жесткая оптимизация химического и фазового состава сплава. Современные сплавы на основе никеля, используемые для нанесения жаростойких и стойких к высокотемпературной коррозии покрытий, содержат 6-12% A1, 20-30% Cr. Содержание алюминия всегда больше, чем в покрываемом сплаве-подложке, для увеличения жаростойкости материала. Однако, по этой же причине, сплав покрытия оказывается более хрупким, чем материал подложки. Хрупкое покрытие является источником зарождения усталостных трещин, и, если усталостное разрушение изделия не является прямым следствием высокотемпературной коррозии либо окисления, то всегда приводит к уменьшению циклической прочности сплавов. Хром значительно слабее снижает пластичность сплавов, поэтому увеличение его содержания свыше 20% позволило снизить концентрацию алюминия, сохранив необходимые жаростойкость и пластичность материала.

Список литературы: **1.** Акишин А. И. Космическое материаловедение. Методическое и учебное пособие.– М: НИИЯФ МГУ, 2007, с. 209. **2.** Новые наукоемкие технологии в технике. Энциклопедия Т. 16, 17.Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. Под ред. Новикова Л. С., Панасюка. М.И.. М.:Изд-во ЭНЦИТЕХ ,2001. **3.** Effects of Space Conditions on materials. Ed. A. I. Akishin, 2001, Nova Science Publ., N. J., p. 199. **4.** Кудинов, В. В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1997, – 184 с. **5.** Кулик А. Я., Борисов Ю. С., Мнухин А. С., Никитин М. Д. Газотермическое напыление композиционных порошков/ А. Я., Кулик, Ю. С., А. С. Мнухин – М.: Машиностроение, 1995, – 200 с. **6.** Кудинов, В. В. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. – М.: Машиностроение, 1981. – 192 с. **7.** Хасуй А.

Техника напыления. – М.: Машиностроение, 1975 – 286 с. **8.** Вяльцев, А. М. Синтез керамических материалов для высокоплотных покрытий. – В кн: Получение и исследование свойств новых материалов. Киев, ИПМ, 1988, с. 149 – 153. **9.** Бузовкина, Т. Б. Исследование теплопроводности и физико-химических характеристик высокотемпературных напыленных покрытий на основе окиси алюминия: Автореферат канд. диссертации,Л., 1993. – 21 с. **10.** Safai, S. Plasma sprayed coating – their ultramicrostructure. T. Advances in surface coating technology, 1998, 1. P.1–14. **11.** Борисов, Ю. С. Применение плазменных покрытий в текстильном машиностроении. – В сб.: Защитные покрытия на металлах. Киев, Наукова думка, 1999, 13, с. 93–95. **12.** Eschnauer, H. Pulverformige keramiscke Werkstofferum Plasmaspritren. Ber. Dtsch. keram. Ges. 1990, 57, 4. P. 94 – 98. **13.** Meclocklin, R. S. Thermal spray coatings for computer components. T. Val. Sei and Technol, 1995 12, 4, p. 783 – 785. **14.** Достанко, А. П. Процессы плазменного нанесения покрытий: теория и практика / А. П. Достанко, А. Ф. Ильющенко, С. П. Кундас .– Минск.: Армита – Маркетинг, Менеджмент, 1999. – 436 с. **15.** Ильющенко, А. Ф. Формирование износостойких плазменных покрытий на основе композиционных самосмазывающихся материалов/А. Ф. Ильющенко, В. А. Оковитый, А. И. Шевцов. – Минск: Беспринт, 2005. – 253 с. **16.** Оковитый, В. А. Получение композиционного керамического материала для нанесения износостойких покрытий / Оковитый В. А., Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Пантелеенко Ф. И., Оковитый В. В. // Порошковая металлургия.– Минск.: Белорусская наука, 2008. – Вып. 31. – С. 156–162. **17.** Оковитый, В. А. Модификация плазменных износостойких покрытий ипульсным лазером / Оковитый В. А., Пантелеенко Ф. И., Шевцов А. И., Девойно О. Г. , Пантелеенко А. Ф., Оковитый В. В., //Вестник Брестского государственного технического университета. Машиностроение. – Брест, 2009. – Вып.4(58). – С. 49–53. **18.** Оковитый, В. А. Исследование процессов модификации плазменных износостойких плазменных покрытий ипульсно-плазменной обработкой / Оковитый В. А., Пантелеенко Ф. И., Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Асташинский В. М., Пантелеенко А. Ф., Оковитый В. В., //Вестник Белорусского национального технического университета. БНТУ – Минск, 2009. – Вып. 5. – С 38–43. **19.** Sulit, R. A. Thermal spray applications in the U. S. Novy T. Thin Thin Solid Films, 1991, 83, № 3, p. 373–374. **20.** Оковитый, В. А. Получение композиционного керамического материала для нанесения износостойких покрытий / Оковитый В. А., Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Пантелеенко Ф. И., Оковитый В. В. // Порошковая металлургия. – Минск.: Белорусская наука, 2008.– Вып. 31. – С. 156–162.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЦИКЛОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Переверзев П. П., Акинцева А. В. *(Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия)*
Email: dtnppp@yandex.ru, akintseva_av@mail.ru

Abstract.*The problem of designing of cycles in the conditions of modern automated production which solution is development of the theory of designing of optimal automatic cycles for metal-cutting machines with ChPU is opened. This theory is based on a method of dynamic programming and allows to optimize an any number of managing parameters for all transaction types of machining which are carried out on machines with ChPU.*
Keywords*: automatic cycle, CNC, control program, optimization, dynamic programming.*

На большинстве предприятий машиностроительной отрасли России принят следующий порядок проектирования операции механической обработки: 1) выбор оборудования и режущего инструмента (характеристика круга, мощность станка и т.д.); 2) назначение технологических наладок (геометрические параметры круга, величина перебега круга и т.д.); 3) определение структуры цикла (количество ступеней цикла, распределение припуска по ступеням и др.) и режимов обработки (частота вращения круга и детали, радиальная подача и т.д.). При этом представленные в различной нормативно-справочной литературе рекомендации и методики по выбору инструмента, режимов обработки и др. параметров обработки имеют широкий диапазон и не всегда охватывают весь перечень параметров управлением цикла [1 и др.]. Поэтому циклы, спроектированные по данным рекомендациям и методикам, являются «стартовыми» и требуют адаптации к исходным данным. Учитывая нелинейную взаимосвязь всех технологических факторов, невозможно быстро и просто подобрать параметры оптимального цикла, который бы обеспечил выполнение требований чертежа по точности и качеству за минимально возможное время обработки. В результате производственная мощность современных станков с ЧПУ используется на 40-60%. Часто производительность данных станков ниже, чем на универсальных станках особенно при малых партиях деталей.

Решением вышеописанной проблемы является разработка теории комплексной оптимизации параметров управления циклом. Основой данной методологии служит математическая модель, адекватно описывающая процесс съема металла, как при всех возможных сочетаниях основных технологических факторов, так и во всех диапазонах их допустимого варьирования [2, 3].Модель съема металла по сути своей является моделью управления процессом, которая отражает зависимость между программной, фактической подачами и упругими деформациями технологической системы.

Из-за наличия упругих перемещений в технологической системе и инерционности перемещающихся масс фактическая подача не равна программной. При ступенчатом переключении программной подачи значение фактической подачи приближается к ней по экспоненциальному закону. На протяжении всего цикла текущее значение фактической подачи ограничивается комплексом технологических ограничений, включающим в себя такие основные ограничения, как требуемая точность получаемого размера, шероховатость, стойкость режущего инструмента, мощность привода станка и др. (рис. 1). Для обеспечения максимальной производительности операции необходимо стремится к тому, чтобы текущее значение фактической подачи на протяжении всего пути снятия припуска максимально приближалась к области ограничений. В результате величина фактической подачи

будет максимально допустимой тем или иным ограничением, а цикл производительней. Управление траекторией фактической подачи осуществляется путем ступенчатого изменения программной. В статье [4] можно увидеть разработанную нами модель съема металла на примере внутреннего шлифования.

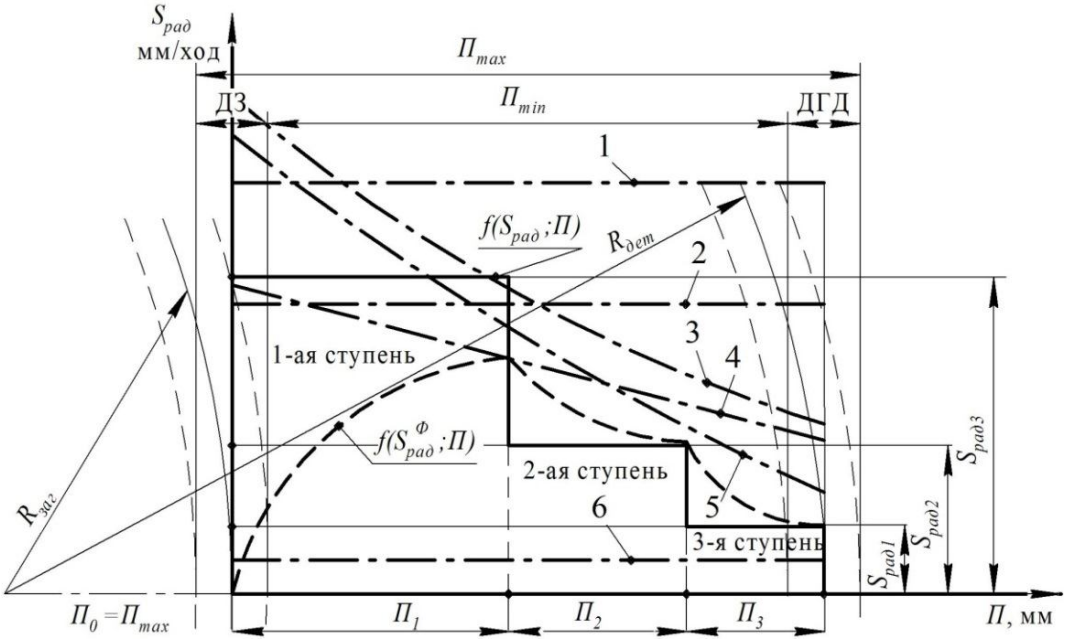


Рис. 1. Двухмерное представление 3-х ступенчатого цикла внутреннего шлифования с наложением областей ограничений: 1 – ограничение по максимальной подаче станка; 2 – ограничение по осыпаемости круга; 3 – ограничение по прижогу; 4 – ограничение по точности размеров; 5 – ограничение по шероховатости; 6 – ограничение по минимальной подаче станка; ДЗ – допуск на заготовку; ДГД – допуск на готовую деталь; $S_{Фрад}$ – фактически снятый припуск, мм/ход; $S_{рад}$ – программное значение радиальной подачи, мм/ход; $П$ – припуск, мм;

Задача оптимизации цикла для обработки конкретной партии заготовок требует нахождения детерминированных режимных параметров цикла при нестабильных значениях ряда технологических ограничений и условий обработки. Такая постановка задачи оптимизации является наиболее сложной и относится к области нелинейного программирования. Анализ методов дискретной оптимизации показал, что наиболее приемлемым для оптимизации циклов является метод динамического программирования (МДП) [5]. Применение МДП обусловлено тем, что данный метод не требует предварительного построения границ области допустимых ограничений и не является чувствительным к свойствам моделей управления и ограничений.

Оптимизация цикла проводится МДП по аналогии с оптимизацией транспортной задачи, требующей нахождения оптимального маршрута на разветвленной сети дорог из начального пункта в конечный [5]. Применительно к оптимизации цикла обработки дорожная схема аналогична «вариантам состояния процесса» при разных подачах на различных частях припуска. В нашем случае начальный пункт – это исходное состояние процесса (параметры заготовки, характеристика инструмента и т.д.), конечный пункт – это конечное состояние процесса (параметры готовой детали по точности и качеству, основное время и т.д.). В результате возникает задача нахождения цикла, имеющего минимальное основное время среди различных возможных вариантов циклов.

Рассмотрим процедуру поиска оптимального цикла на примере круглого врезного шлифования [6]. Процедура проводится на координатной сетке (рис. 2) «Программная подача $S_{П}$m – Припуск $П_n$». Шкала программной подачи имеет уровни m, а шкала припуска – уровни n. Каждое пересечение координатной сетки определяется координатами (m, n), которые в дальнейшем будем называть координатами состояния процесса шлифования. На каждом пересечении координатной сетки помещена «информационная клетка», содержащая в себе следующие данные: оптимальное (минимальное) время достижения состояния $T_{n,m}$ и уровень m*, откуда сделан оптимальный ход. Определение минимального времени достижения состояния определяется посредством перебора возможных вариантов переключения (изменения) подачи внутри проектируемого цикла – конкурирующих ходов. Каждый ход проверяется по всем ограничениям и включается в список допустимых ходов, из которых выбирается оптимальный ход, а его уровень запоминается переменной m*.

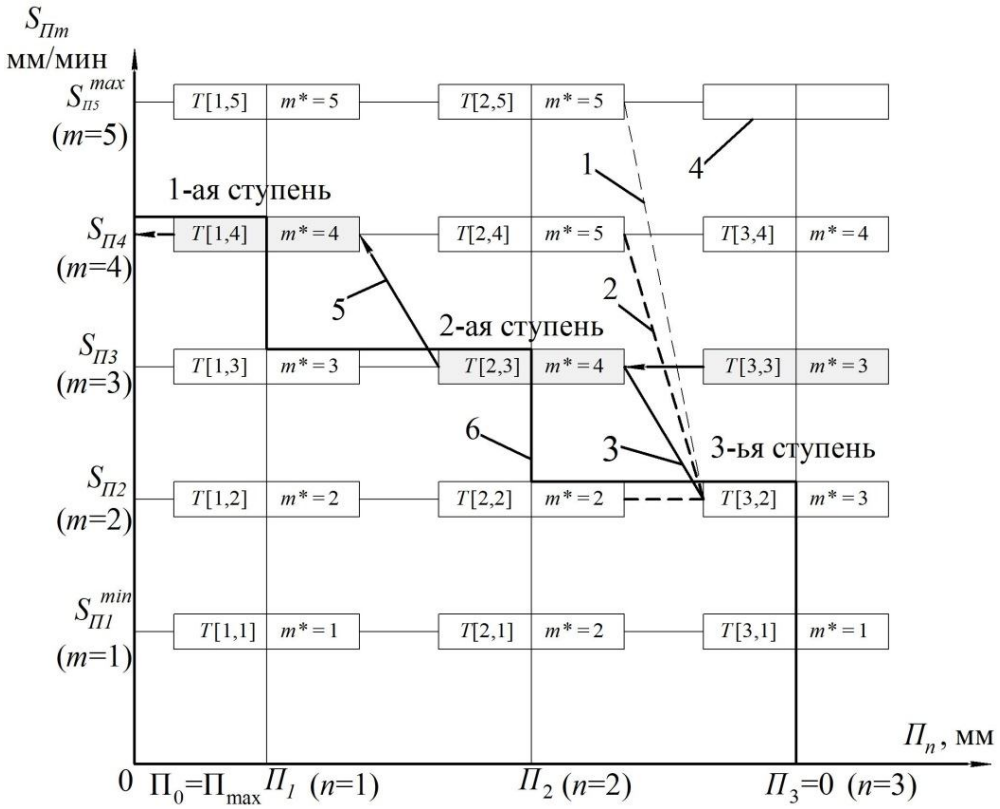


Рис. 2. Координатная сетка для оптимизации цикла круглого врезного шлифования методом динамического программирования: T [m, n] – оптимальное время достижения состояния $T_{n,m}$; 1 – конкурирующие ходы; 2 – допустимые ходы; 3 – оптимальный ход; 4 – выбывшие из расчета информационные клетки; 5 – процедура обратного хода; 6 – траектория оптимального управления;

Для фиксации оптимальной траектории управления циклом шлифования необходимо выполнить процедуру обратного хода, которая начинается из этого единственного конечного состояния, имеющего минимальное время цикла $\tau_ц$. Поясним процедуру обратного хода на примере (рис. 2). В клетках на пересечениях координатной сетки условно приведены только численные значения m* (n, m), которые получены после оптимизации цикла шлифования. Пустые клетки означают, что эти пересечения не имеют допустимых ходов и информационная клетка выбыла из расчета. Допустим, что минимальное время $\tau_ц$ на последнем уровне n = 3 будет в состоянии [3,

2]. В этой клетке записано m^* [3, 2] = 3, что говорит о том, что в состояние [3, 2] был произведен оптимальный ход при программной подачи $S_{П2}$ с предыдущего уровня припуска n = 2 из состояния [2, 3]. В клетке состояния [2, 3] записано значение m^* [2, 3] = 4, т.е. оптимальный ход в это состояние был произведен с предыдущей дискреты припуска из состояния [1, 4]. Состояния, откуда произведен оптимальный ход последовательно соединены стрелками, начиная с последней дискреты припуска – рис. 3. Поскольку в первую дискрету припуска всегда идет только прямой ход, то в состояние [1, 4] был произведен ход при программной подачи $S_{П4}$. В результате проведения процедуры обратного хода получается траектория оптимального управления, т.е. рассчитанная управляющая программа ступенчатого изменения подач, обеспечивающая минимальное время цикла.

Траектория оптимального цикла, полученная выше МДП, не учитывает ограничения по количеству ступеней цикла. Она может содержать любое количество ступеней, ограниченное только числом узлов координатной сетки, на которых возможно переключение. Например, при координатной сетке с дискретами 100*100 получится 100-ступенчатый цикл, в то время как в производстве реальные циклы обработки состоят в большинстве случаев из 3-5 ступеней [2, 3].

Отметим также, что МДП не ограничивает ни количество оптимизируемых параметров управления, ни количества ограничений целевой функции. В результате становится возможным расширить количество оптимизируемых параметров (диаметр и ширина круга; величина перебега; число оборотов заготовки и др.) и проводить многопараметрическую оптимизацию в многомерном пространстве управляющих параметров.

Теория комплексной оптимизации параметров управления циклом охватывает все виды операций механической обработки (включая токарные, фрезерные, шлифовальные, сверлильные и др.), выполняемых на станках с ЧПУ. В результате становится возможным разработка методик проектирования оптимальных циклов для каждого вида операций механической обработки. На данный момент разработаны методики проектирования оптимальных циклов с частичной оптимизацией для круглого врезного (оптимизируемый параметр – радиальная подача) [6] и внутреннего шлифования [7] (оптимизируемые параметры – радиальная подача, скорость осевой подачи и перебег круга).

Список литературы: **1.** Режимы резанья на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах: справочник. – Челябинск: Изд-во АТКОСО, 2007. – 384 с. **2.** Переверзев П. П., Акинцева А. В. Теория проектирования оптимальных циклов для металлорежущих станков с ЧПУ – 1 часть // СТИН. – №1, 2017. – С. 11-18. **3.** Переверзев П. П., Акинцева А. В. Теория проектирования оптимальных циклов для металлорежущих станков с ЧПУ – 2 часть // СТИН. – №2, 2017. – С. 13-18. **4.** Pereverzev P. P., Akintseva A. V. Modeling of metal removal during an internal grinding in view of kinematics cutting features // Russian Engineering Research. – vol. 36 (no. 10), 2016. – P. 888-893. **5.** Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: издательство иностранной литературы, 1960. – 400 с. **6.** Переверзев П. П. Моделирование и оптимизация управляющих программ в автоматизированном машиностроительном производстве // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – № 12 (271), 2012. – С. 152-157. **7.** Pereverzev P. P., Akintseva A. V. Automatic cycles' multiparametric o ptimization of internal grinding // Procedia Engineering. – Vol. 129, 2015. – P. 121-126.

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Петров М. Г., Михайлов А.Н., Аль-Судани Т. Я. Т, Головятинская В. В.
(ДонНТУ, г. Донецк, БТУ, г. Багдад)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@fimm.donntu.org

Abstract: *Correlation of methods of technological impacts made on functional elements of detonation coatings is interconnected with embodiment of separate elements of a detonation plant used for detonation deposition and is aimed at providing the element characteristics as to given or present operating functions. The cause-and effect-relations that influence engineering and design adaptation of the process of deposition of functionally oriented detonation coatings are stated and examined.*
Keywords: *detonation equipment, functionally oriented detonation coatings, deposition, crankshaft journals, engineering and design adaptation.*

На современном уровне развития и использования технологии нанесения детонационных покрытий наиболее широкое применение при изготовлении и реставрации деталей и механизмов различного назначения имеют следующие виды детонационных покрытий: однородные, многослойные и градиентные. Соответственно развитие и реализация синтеза технологий и технологического оборудования для нанесения детонационных покрытий в основном ориентируется на эти виды покрытий. Однако в ряде случаев при нанесении детонационных покрытий на поверхности деталей или их конструктивных элементов, например, шеек коленчатых валов, одним из путей повышения эксплутационных и триботехнических свойств детонационных покрытий является формирование функционально-ориентированных детонационных покрытий (ФОДП) [1]. Выбор схемы реализации технологических воздействий и параметров технологического процесса нанесения ФОДП связаны с физико-механическими и другими соответствующими свойствами используемых порошковых материалов. Реализация технологического процесса нанесения ФОДП может быть осуществлена с использованием различных приемов технологических воздействий, влияющих на формирование физико-механических и эксплутационных свойств соответствующих участков и зон покрытия. Кроме того, корреляция технологических воздействий на функциональные элементы ФОДП взаимосвязана с конструктивным исполнением детонационной установки и направлена на обеспечение свойств этих элементов к задаваемым или имеющим место эксплуатационным функциям. При синтезе технологического процесса рационально деление ФОДП на функциональные элементы по уровню глубины технологии, что прагматично реализовывать в рамках функционально-ориентированного подхода [2, 3]. Деление ФОДП на функциональные элементы дает возможность осуществить структурный анализ и реализовать логически обоснованный выбор используемых конструктивно-технологических решений, как обеспечивающих комплексный процесс детонационного нанесения покрытий, так и согласующих множество технологических воздействий на функциональные элементы покрытий в процессе их формирования.

При реализации технологии нанесения ФОДП имеющая место необходимость адаптации конструктивного исполнения отдельных блоков и элементов детонационного оборудования, что, прежде всего, относится к исполнению следующих узлов и элементов детонационной установки:

– выходной и прилегающей к ней части ствола детонационной установки;

– исполнение многоствольной детонационной установки с отдельными дозаторами порошкового материала или ствола с установленными на нем несколькими дозаторами порошкового материала [4];

– отражатели, улавливатели и экраны, установленные между торцом выходной части ствола детонационной установки и обрабатываемой деталью [5, 6];

– блок подачи рабочих газов;

– дозаторы порошкового материала;

– система инициирования поджига взрывчатой газовой смеси.

В зависимости от конфигурации обрабатываемой части поверхности детали и выбранной схемы нанесения ФОДП выходная и прилегающая к ней часть ствола детонационной установки может быть выполнена круглого, овального, квадратного, прямоугольного, треугольного, а также иного допустимого и заданного сечения. Заданное исполнение выходной части ствола в ряде случаев может исключить использование при нанесении ФОДП отражателей, улавливателей, экранов и других аналогичных функциональных элементов.

Использование многоствольной детонационной установки с отдельными дозаторами порошкового материала или ее ствола с установленными на нем несколькими дозаторами порошкового материала согласуется как с выбранной технологической схемой нанесения ФОДП, так и используемыми порошковыми материалами. При нанесении ФОДП из порошковых материалов, существенно отличающихся по своим физико-механическим свойствам, например, двухкомпонентного, одна часть поверхности которого формируется из окиси алюминия, а вторая из бронзы, рабочая часть ствола детонационной установки будет отличаться по длине ориентировочно на 700?900 мм. Проблематичность нанесения качественных покрытий из данных материалов, реализуемых с использованием рабочей части ствола одинаковой длины, определяет нецелесообразность конструктивного исполнения ствола детонационной установки с установленными на нем двумя дозаторами порошкового материала, соответственно, для окиси алюминия и бронзы. Поэтому данное обстоятельство при напылении указанных порошковых материалов фактически предопределяет использование детонационной установки с двумя отличающимися по длине рабочих частей стволами с установленными на них дозаторами порошкового материала.

Отражатели, улавливатели и экраны, установленные между торцом выходной части ствола детонационной установки и обрабатываемой деталью, используются с целью:

– обеспечение формирования заданной топографии ФОДП;

– отсечение соответствующих зон двухфазного потока продуктов детонации, истекающего из открытой части ствола детонационной установки;

– изменение газодинамических характеристик двухфазного потока продуктов детонации, истекающего из открытой части ствола детонационной установки;

– управление физико-динамическими условиями формирования единичных пятен покрытия.

Конструктивное исполнение отражателей, улавливателей и экранов при нанесении ФОДП:

– связано с технологическими особенностями нанесения порошковых материалов, отличных по своим физико-химическим и иным соответствующим свойствам:

– направлено на обеспечение повышения качества формируемых покрытий.

Геометрические параметры и конструктивное исполнение отражателей, улавливателей и экранов должны учитывать форму напыляемой поверхности детали – цилиндрическую, коническую, плоскую и т.п., а также технологическую последовательность морфологии формирования ФОДП.

Конструктивная реализация блока подачи рабочих газов при нанесении ФОДП должна предусматривать возможность компонентного формирования их разовых доз из различных газовых сред, подаваемых в стол детонационной установки, что связано с необходимостью создания соответствующих окислительно-восстановительных условий в продуктах детонации при напылении порошковых материалов, различных по своим химическим или физико-механическим свойствам. Составляющие элементы блока подачи рабочих газов должны обеспечивать возможность изменения в разовом цикле работы детонационной установки, как объема подаваемых компонентов рабочих газов, так и давления в них. Данные требования связаны с необходимостью изменения технологических режимов при нанесении порошковых материалов, различных по физико-механическим свойствам, и особенностями структурного синтеза технологического процесса формирования ФОДП.

Конструктивная реализация дозаторов порошкового материала при нанесении ФОДП должна обеспечивать стабильность подаваемой дозы порошкового материала при изменении цикличность его подачи. Данные требования к дозаторам порошкового материала при нанесении ФОДП связаны:

– с имеющими место технологическими особенностями формирования заданной топографии ФОДП;

– нарушением стабильности единичной дозы порошкового материала при изменении установленной равномерной цикличности работы дозатора порошкового материала.

Реализация системы инициирования поджига взрывчатой газовой смеси при нанесении ФОДП должна предусматривать возможность цикличного поджига:

– с открытой части ствола детонационной установки;

– с закрытой части ствола детонационной установки;

– за пределами открытой части ствола детонационной установки.

Данное требование преимущественно относится к использованию при нанесении ФОДП ствола детонационной установки с установленными на нем несколькими дозаторами порошкового материала, что позволяет в зависимости от используемых составов взрывчатых смесей и порошковых материалов:

– оптимизировать организацию формирования и взаимодействия компонентов двухфазного потока в стволе детонационной установки, а также заданным образом влиять на его истечение из ствола детонационной установки;

– расширить потенциал использования различных технологических способов организации и взаимодействия компонентов двухфазного потока в стволе детонационной установки;

– учесть конструктивные особенности реализации соответствующих узлов и элементов детонационной установки.

При нанесении ФОДП применительно в конструктивной адаптации вышеуказанных узлов и элементов детонационной установки, а также выбранной технологической схемы нанесения ФОДП и конструктивных особенностей обрабатываемой детали, соответствующая конструктивная адаптация также распространяется на ее следующие узлы и элементы:

– линии подачи рабочих компонентов газов и порошковых материалов, включая устройства обеспечения их защиты от обратных ударов, возникающих в процессе детонирования взрывчатой смеси;

– манипулятор (манипуляторы) перемещения ствола (стволов), детали (деталей), отражателей, улавливателей, экранов и других аналогичных функциональных элементов;

– система управления и контроля;

– система охлаждения узлов и рабочих элементов, как детонационной установки, так и соответственно манипулятора (манипуляторов);

– устройство температурной стабилизации подложки обрабатываемой детали и формируемых элементов ФОДП.

Линии подачи рабочих компонентов газов и порошковых материалов должны обеспечивать достаточную пропускную способность при изменении давления подаваемых рабочих газов, что может быть обеспеченно, например, при одновременном включении дополнительных линий. Данное требование возникает, прежде всего, при использовании ствола детонационной установки, на котором установлено несколько дозаторов порошкового материала, в случаях нанесения ФОДП из порошковых материалов, имеющих существенные отличия в их физико-химических и других соответствующих свойствах.

При конструктивной адаптации манипулятора (манипуляторов) необходимо учитывать спектр как планируемых технологических режимов и используемых технологических приемов нанесения ФОДП, так и особенности морфологии формирования последнего.

Система управления и контроля должна быть адаптирована не только под совокупность управляемых и контролируемых рабочих узлов и элементов детонационной установки, что само по себе обязательно, но и под потенциальный спектр возможных технологических приемов, используемых при нанесении ФОДП.

Система охлаждения узлов и рабочих элементов, как детонационной установки, так и соответственно манипулятора (манипуляторов), должна предусматривать возможность заданного или автоматического переключения соответствующих линий, обеспечивающих охлаждение узлов и рабочих элементов, последовательно используемых в процессе технологической реализации нанесения ФОДП.

Устройство температурной стабилизации подложки обрабатываемой детали и формируемых элементов ФОДП адаптируется под решение технологической задачи обеспечения заданной температуры в зонах нанесения конструктивных элементов ФОДП согласно особенностям синтеза технологического процесса.

Список литературы: **1.** Михайлов А. Н., Петров М. Г., Головятинская В. В., Петров А. М. Повышение износостойкости пары трения за счет функционально-ориентированных покрытий // Les problemes contemporains de la technosphere et de la formation des cadres d’ingenieurs. Recueil des exposes des participants de la VI Conference internationale scientifique et methodique sur l’ile de Djerba du 11 au 18 octobre 2012. – Donetsk: UNTD, 2012. – P. 196-199. **2.** Михайлов А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. **3.** Петров М. Г. Функционально-ориентированный подход к разработке технологии восстановления шеек коленчатых валов // Зб. наук. праць ПДАТУ. – Тернопіль: СМП "ТАЙП", 2016. – Вип. 24. – Ч. 2.– С. 206-217. **4.** Михайлов А. Н., Петров М. Г., Шейко Е. А., Михайлов Д. А. Технологические особенности реализации детонационных функционально-ориентированных покрытий в машиностроении // Наукоемкие технологии в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2016. – Т.1. – № 4. – С. 35-41. **5.** Буря А. И., Петров А. М., Петров М. Г. Использование технологических приемов детонационно-газового напыления порошка для улучшения триботехнических и физико-механических свойств наносимых покрытий // Тр. 8-го междунар. симп. по фрикционным изделиям и материалам в Ярославле 28-30 сентября 2010 г. – Ярославль: Ярофри, 2010. – С. 138-141. **6.** Патент РФ 2121887, МПК B05B7/20 Устройство для напыления покрытий // авторы М.Г. Петров, А.М. Петров – Подачи заявки: 27.11.1996; публикация патента: 20.11.1998, бюл. № 32, 2ил.

РАЗРАБОТКА СПОСОБА И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Поветкин В. В., Керимжанова М. Ф., Татыбаев М. К., Букаева А. З.
(Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан)
Тел. 8 (727) 292-69-19; E-mail: vv1940_povetkin@mail.ru

Abstract: *The article describes a method for grinding materials in a cylindrical grinding drum using grinding elements made in the form of spherical glass or metal balls comprising feeding grinding elements into the cylindrical chamber. The grinding of the starting material occurs by creating a complex rotation of the flow of the medium, which provides the centrifugal forces of rotation and the gravitational displacement of this medium.*
Keywords: *Bead mill, grinding elements, cylindrical chamber, gravitational force, centrifugal force.*

Получение сверхтонких порошков из твердых материалов, в настоящее время является актуальной проблемой. Для получение измельченного материала используется различные устройства, обеспечивающий тонкость и чистоту порошкообразного материала. Для анализа и разработки существующих методов и устройств для измельчения, рассмотрим различные способы измельчения и устройств.

Так, например, известен способ измельчения материалов в потоке энергоносителя и устройство вихревого помола для его осуществления [1].

Способ измельчения материалов в потоке энергоносителя и устройство вихревого помола для его осуществления относятся к машиностроению для химической, пищевой, строительной, а также других областей промышленности и могут быть использованы в вихревых мельницах. Способ включает подачу в цилиндрическую помольную камеру струи энергоносителя, создание зон звуковых и/или ультразвуковых колебаний, поперечных к вращающемуся потоку, в которых колебания второй гармоники основной частоты усилены дополнительными резонансными колебаниями, загрузку и измельчение исходного материала, отбор полученного порошка. Устройство включает цилиндрическую помольную камеру с соплом, ориентированным вдоль сечения ее внутренней поверхности и подобным образом ориентированными полостями, причем каждая из первых полостей сопряжена с меньшей второй полостью, наклоненной по отношению к первой. Содержатся также загрузочное приспособление и выходное отверстие для порошка и энергоносителя.

Недостатком изобретения является использование данного способа и устройства не обеспечивают хороший контакт энергоносителя с исходным материалом и чистоты помола.

Также известно устройство бисерной мельницы по авторскому свидетельству [2].

Изобретение относится к средствам измельчения пастообразных материалов. Бисерная мельница содержит вертикальный рабочий орган с соосно установленными гуммированными дисками со сквозными отверстиями и гуммированными втулками с выступами. Также содержит рабочий цилиндр, включающий наружную и внутреннюю

оболочку, снабженную футеровкой в виде соосно установленных отдельных кольцевых элементов, выполненных из высокоэластичного материала. Кольцевые элементы и гуммированные диски расположены попарно и симметрично относительно общей диаметральной плоскости, перпендикулярной вертикальной оси рабочего органа, а высота кольцевых элементов h=(0,5?0,6)δ, где δ – шаг установки кольцевых элементов и гуммированных дисков.

Недостатком известной конструкции является пониженная эффективность эксплуатации, связанная со сложностью обеспечения нормального теплового режима технологического процесса, протекающего в бисерных мельницах, что приводит к росту энергозатрат на поддержание оптимальной температуры пигментной суспензии и снижению качества готового продукта.

Наиболее близким техническим решением, взятого за прототип является способ измельчения твердых частиц [3].

Способ включает использование бисерной мельницы со стеклянными шариками диаметром 1,6-2 мм, приготовление суспензии перхлората аммония, который предварительно измельчают, при этом при приготовлении суспензии ее циркулируют посредством центробежного насоса в течение от 20 до 30 минут, а в процессе измельчения перхлората аммония в бисерную мельницу через каждые 208-221 час добавляют по 5 кг шариков, через 1600 часов работы мельницы проводят полную замену стеклянных шариков.

Однако использование изобретения не обеспечивает устойчивость тонкости и чистоты помола.

Наибольшее распространение и в широких масштабах для тонкого диспергирования пигментов при изготовлении красок получили применение бисерные машины (мельницы), где измельчение проводят в присутствии мелющих тел в виде шариков. Технология изготовления красок с использованием бисерных машин описана в книге П.И. Ермилова [4].

Как показали лабораторные исследования и опробование в заводских условиях бисерные мельницы и технологические схемы на их базе могут быть применены для получения тонких и сверхтонких частиц материалов.

Общим недостатком измельчения материалов мелющими телами, в том числе в бисерных мельницах, является попадание изнашиваемой части мелющих тел, так называемого намола, в продукт, загрязняя его.

Поскольку бисерные мельницы на входе и на выходе снабжаются сеткой или решеткой для удержания шариков, то последние должны иметь определенный размер, чтобы не было их проскока в процессе работы. Кроме того, из-за их постепенного износа размеры исходных шариков должны обеспечить определенный ресурс для непрерывной работы. Непрерывные технологические схемы связаны с циркуляцией суспензии. Ритмичная работа установки может быть обеспечена только при устойчивой суспензии, что требует предварительной подготовки ее.

Технической задачей данного изобретения является интенсификация измельчения твердых частиц [5].

Технически результат при измельчении твердых частиц достигается за счет непрерывного измельчения пульпы в центробежно-гравитационным измельчителе,

работа которого осуществляется за счет расположения оси вращения измельчителя (барабана) под некоторым углом от 5 до 45° к геометрической оси вращения.

Эффект измельчения происходит за счет вращения массы стеклянных шариков и пульпы, и одновременного перемещение пульпы за счет центробежных сил вращения барабана и гравитационных сил.

Поставленной задачей совершенствования устройства для измельчения твердых материалов, в котором путем конструктивных изменении обеспечивается лучший контакт стеклянных шариков с материалом помола, при их перемещения за счет центробежных сил вращения барабана и гравитационных сил при вертикальном их перемещении.

В способе измельчения материалов за счет сложного перемещения материала с измельчаемыми элементами, а именно, при измельчении исходного материала, происходит сложное его перемещение вместе с измельчаемыми элементами в общем потоке, за счет суммирования центробежных и гравитационных сил, обеспечивается непрерывное перемещение помольной среды, при постоянном контакте с помольными элементами (стеклянными шариками). За счет такого сложного перемещения происходит интенсивное измельчение твердых частиц.

Способ включает подачу в цилиндрическую помольную камеру исходного материала и измельчающих элементов, отбор полученного порошка, измельчение исходного материала происходит за счет вращающего потока пульпы, с истирающими элементами и его гравитационного перемещения дважды за один оборот барабана. В данном случае вращающийся поток перемещается за счет центробежных сил и его падения за счет гравитационных сил, в результате происходит интенсификация процесса истирания частички исходного материала в непрерывном вращающемся потоке истирающих элементов.

Загрузка исходного материала и истирающих элементов и выгрузка готового материала (порошка) осуществляется циклично через каналы загрузки и выгрузки.

В устройстве для измельчения материала, включающем цилиндрическую помольную камеру, загрузочного и выходного патрубков для порошка и истирающих элементов, согласно изобретению, вал вращения расположен под углом от 5° до 45° относительно геометрической оси вращения барабана и проходит через центр геометрической оси, а вдоль внутренней поверхностей барабана, через каждые 15° выполнены выступы, позволяющие вращать пристеночный слой исходного материала. Отверстие выгрузки снабжены решеткой, выполненный из тонкой сетки, для задержки помольных элементов, позволяющей выгружать измельченный материал.

Совокупность приведенных признаков предлагаемого способа обеспечивает разрушение исходного материала после ввода помольных элементов (стеклянных шариков) в помольную камеру (барабан) путем организации сложного движения всего потока, за счет центробежных сил вращения барабана и гравитационного падения всей массы потока, тем самым достигается, при таком сложном движении потока измельчаемого материала, постоянный контакт при трении стеклянных шариков с разрушаемым материалом. Следовательно, происходит интенсификация разрушения материала и уменьшение тонкости помола.

Совокупность приведённых признаков предлагаемого устройства обеспечивает разрушение исходного материал за счет обеспечения сложного движения потока исходного материала в помольной камере при центробежном и гравитационном перемещении материала, обеспечивающего за счет установки вала вращения барабана под некоторым углом (5°-45°) к геометрической оси вращения барабана и, тем самым, достигается технической результат, то есть интенсификация контакта помольных элементов с исходным материалам, вследствие увеличения площади контактирования и турбулентности потока, а также стабилизации процессов измельчения путем сложного перемещения и непрерывного его контакта с помольными элементами. При этом повышается чистота помола.

Использование предлагаемого устройства для его осуществления.

На рисунке 1 изображен схематический чертеж устройства вид спереди, на рисунке 2 вид в разрезе.

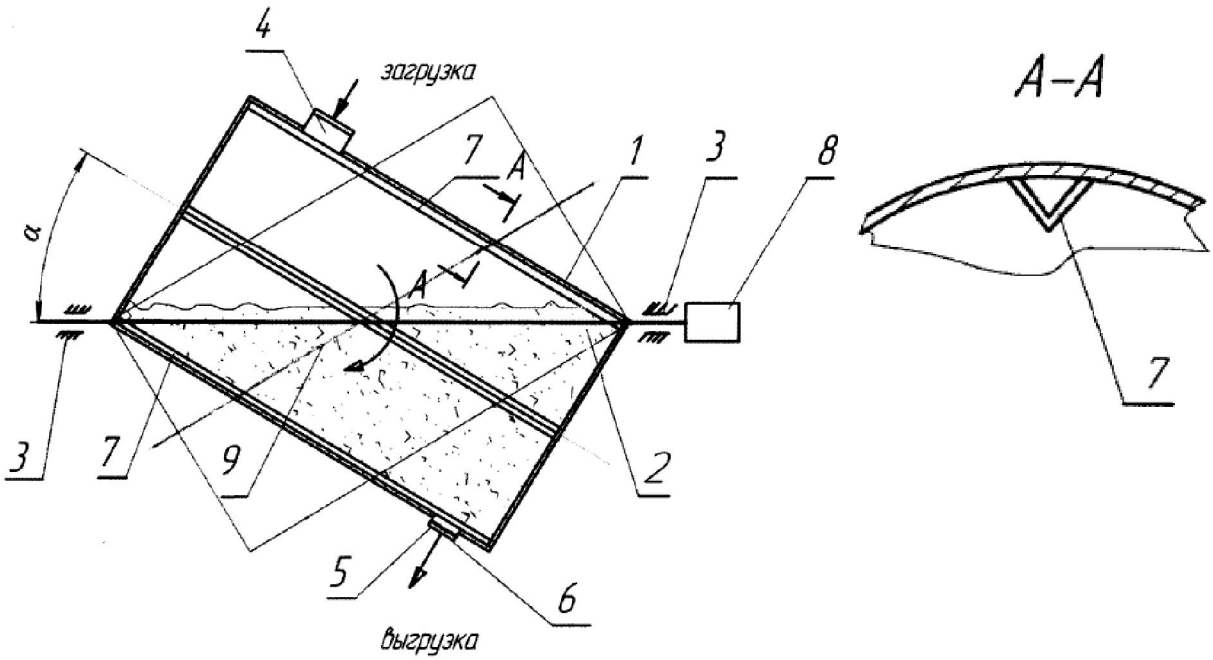


Рис. 1. Устройство для тонкого помола твердых материалов

Устройство содержит цилиндрический помольный барабан 1, с осью вращения 2, расположенной под углом α, в пределах от 5° до 45° к геометрической оси вращения барабана, и проходящей через ее центр, ось вращения 2 расположено в опорах 3, жестко закреплена с барабаном 1, загрузочного канала 4 и выгрузочного канала 5, с защитной сеткой 6, выступов 7 проходящим вдоль помольной камеры, для обеспечения вращения пристеночного слоя материала, и привода 8 для вращения барабана. Выступы 7 ориентированы вдоль внутренней полости барабана захватывают пристеночный слой вращающего потока 9 и перемещает его до точки отрыва и гравитационного падения. Вращения привода 8, барабана 1 обеспечивает, за счет центробежных сил, подъем вращающего потока до критической точки подъема и его падения за счет гравитационных сил, то есть обеспечивает сложное движение потока 9, в процессе

которого интенсивное движение мелющих тел и, как следствие, истирание исходного материала.

Предлагаемый способ и устройство для его осуществления работает следующим образом, через входной патрубок 4, расположенный в верхней части барабана 1 на его образующей, загружают исходную среду и помольные элементы, выполненные в виде стеклянных или металлических шариков, затем происходит вращение барабана 1 от привода 8 через ось 2, расположенную в подшипниковых опорах 3 и жестко закрепленную с цилиндрическим барабаном. За счет выполнения вала барабана под некоторым углом к ее геометрической оси α происходит сложное перемещение обрабатываемого материала, который в процессе перемещения интенсивно истирается при трении о помольные элементы. При достижении необходимой фракции исходного материала, помольный барабан 1 устанавливается с выгружаемым отверстием 5 в нижнем положении.

При открывание крышки 5 происходит выгрузка истирающего материала через защитную сетку 6, после процедуры выгрузки крышка опять закрывается, цикл повторяется. Небольшие выступы 7 расположенный на внутренней поверхности барабана 1 осуществляет перемещение и отрыв пристеночного слоя перемещающего материала.

Использование предлагаемого способа и устройства при осуществлении сложного движении обрабатываемой среды в помольном барабане, позволит существенно уменьшить помол исходного материала до размеров частиц менее 100 мкм.

Выводы

Выполнен анализ способов и устройств для тонкого измельчения твердых и порошкообразных материалов в среде помольных элементов.

В результате изучение технологии тонкого помола и устройств для их осуществления, разработана новая конструкция устройства для измельчения твердых материалов, реализующей способ помола с использованием гравитационных и центробежных сил, воздействующих на твердую среду в цилиндрической камере, геометрическая ось которого расположена под углом 5^0 - 45^0 к оси вращения барабана. Разработанное устройство позволит получить структуру тонкого помола в гравитационных и центробежных силовых полях вращающегося барабана.

Список литературы: 1. Шостак В. В., Кулаков М. П. Патент РФ №2100082. Способ измельчения материалов в потоке энергоносителя и устройство вихревого помола для его осуществления. Опубл. 27.12.1997, бюл. № 12. **2.** Сербин В. М., Пенкин Н. С., Пенкин А.Н. Патент РФ №2371253. Бисерная мельница. Опубл. 27.12.1997, бюл. № 12. **3.** Колосов Г. Г., Чернов М. А., Новокрещенных А. И., Тудвасев В. И., Божья-Воля Н. С. Патент РФ №2247101. Способ измельчения твердых частиц. Опубл. 27.02.2005, бюл. № 6. **4.** Ермилов П. И. Диспегирование пигментов (физико-химические основы). – Москва: Химия, 1971. – 300 с. **5.** Поветкин В. В., Байшуаков А. А. Патент РК №31610. Способ измельчения твёрдых материалов и устройство для его осуществления. Опубл. 30.09.2016, бюл. № 12.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ВИБРОРОТОРНОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА

Прейс В. В., Усенко К. С., Усенко Н. А. *(ТулГУ, г. Тула, Россия)*
Тел. +7 (4872) 734493; E-mail: rabota-preys@yandex.ru

Abstract: *Examines the theoretical framework for parametric synthesis of vibrorotary hopper feeding device based on the mathematical model and results of computer simulation of processing object movement in the hopper.*
Keywords: *computer simulation, processing object, vibrorotary hopper feeding device, mathematical model.*

Вибророторное бункерное загрузочное устройство (БЗУ) представляет собой многопозиционное роторное БЗУ, в котором вибрационное БЗУ, имеющее бункер с обратным конусом, горизонтальную кольцевую накопительную зону с несколькими выдающими лотками, совершает непрерывное вращательное транспортное движение вокруг неподвижной вертикальной оси транспортно-несущего устройства роторного БЗУ [1].

Независимость процесса транспортирования и процессов подготовки к захвату, ориентирования и выдачи предметов обработки позволяет реализовать в вибророторных БЗУ управление относительной скоростью движения предметов обработки по дну бункера путем изменения параметров его колебаний (амплитуд, фазового угла, частоты) посредством вибрационного электромагнитного привода с раздельным возбуждением вертикальных и крутильный колебаний.

Потенциальная производительность вибророторных БЗУ для малогабаритных предметов обработки может достигать нескольких тысяч штук в минуту. Технологические и технические возможности этого класса БЗУ, воплотивших в себе достоинства вибрационных БЗУ и роторных технологических машин, еще не раскрыты полностью.

Теоретическими основами параметрического синтеза вибророторного БЗУ являются математическая модель и результаты компьютерного моделирования движения предметов обработки по коническому дну бункера БЗУ, совершающего вращательное (транспортное) движение с постоянной угловой скоростью, а также крутильные и вертикальные колебания с возможностью сдвига фаз между ними. Движение предмета обработки по внутренней конической поверхности бункера вибророторного БЗУ описывается системой дифференциальных уравнений движения материальной точки в безотрывном режиме, когда нормальная реакция больше нуля [2]. Для численного решения системы дифференциальных уравнений использован метод Рунге-Кутта четвертого порядка, реализованный в среде *Spyder* программного пакета *Python* с набором расширений *Anaconda*.

Компьютерное моделирование движения материальной точки по коническому дну бункера вибророторного БЗУ было проведено для следующего массива входных параметров [3]: частоты вертикальных и крутильных колебаний бункера $\nu = \Omega = 50$ Гц (314 рад/с); геометрические параметры конического бункера: $R = 0{,}25$м; $\alpha = 0{,}25$рад. Варьируемые параметры: коэффициент трения скольжения между материальной точкой и конической поверхностью бункера $? = 0...0{,}25$; амплитуда вертикальных колебаний бункера $A = 0...0{,}00099$[м]; амплитуда крутильных колебаний бункера $B = 0{,}001...0{,}04$[рад]; фазовый угол между вертикальными и крутильными колебаниями бункера $\varepsilon = 0...2\pi$; угловая скорость транспортного вращения бункера $\omega = 1...10$[рад/с].

В результате компьютерного моделирования получили зависимость общего времени движения материальной точки от амплитуды вертикальных колебаний бункера и коэффициента трения скольжения между материальной точкой и конической поверхностью бункера (рис. 1).

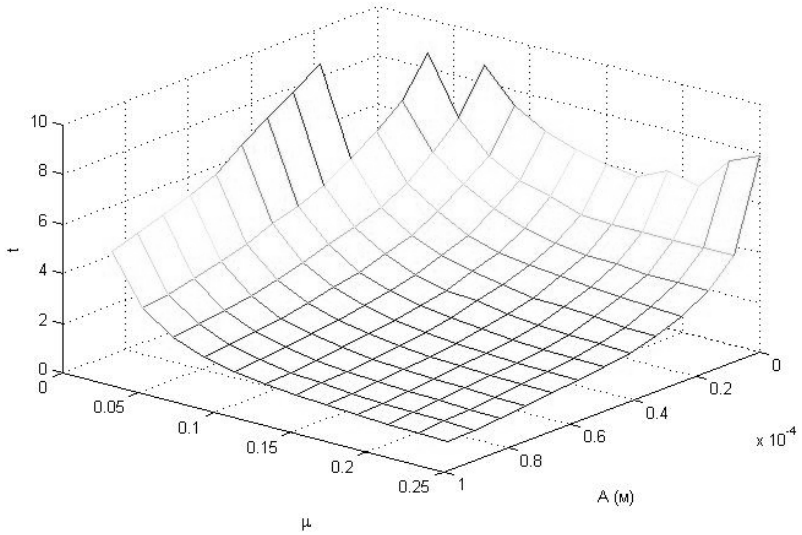


Рис. 1. Зависимость общего времени движения материальной точки
от амплитуды вертикальных колебаний бункера и коэффициента трения

Результаты моделирования показывают сильное влияние амплитуды вертикальных колебаний на время движения материальной точки, при этом увеличение коэффициента трения скольжения между материальной точкой и конической поверхностью бункера не привносит дополнительного эффекта. Это можно объяснить тем, что наличие вибрации приводит к снижению коэффициента трения скольжения при вибрационном перемещении. В случае безотрывного движения имеет смысл выбирать максимальное значение амплитуды вертикальных колебаний бункера БЗУ, удовлетворяющее неравенству $A\Omega^2 \le g$.

На рис. 2. представлена зависимость общего времени движения материальной точки от амплитуды крутильных колебаний бункера и его угловой скорости транспортного вращения.

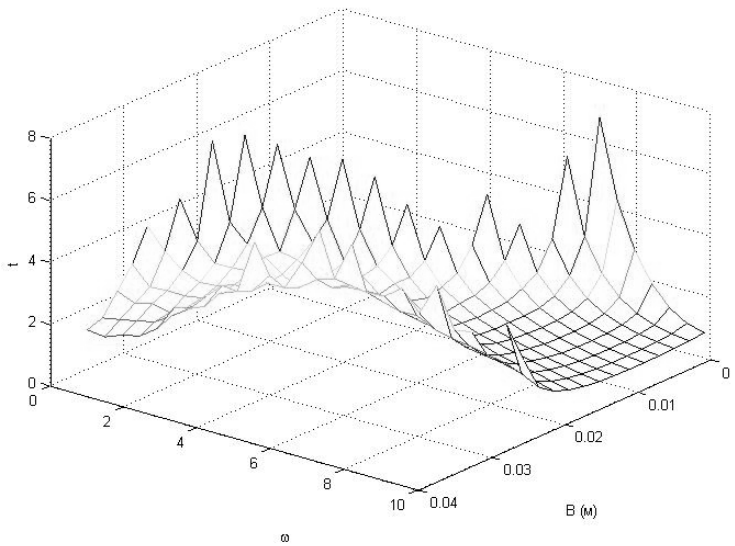


Рис. 2. Зависимость общего времени движения материальной точки от амплитуды крутильных колебаний бункера и угловой скорости его транспортного вращения

График на рис. 2 недостроен в двух областях. В этих областях заданы параметры, при которых материальная точка не достигает борта бункера. При малых значениях обоих параметров (дальняя недостроенная область) материальная точка не уходит с начального радиуса бункера, т.е. не выполняется условие начала её движения. Невозможность движения материальной точки при больших значениях обоих параметров (ближняя недостроенная область на рис. 2) можно объяснить, проанализировав траекторию движения материальной точки (рис. 3).

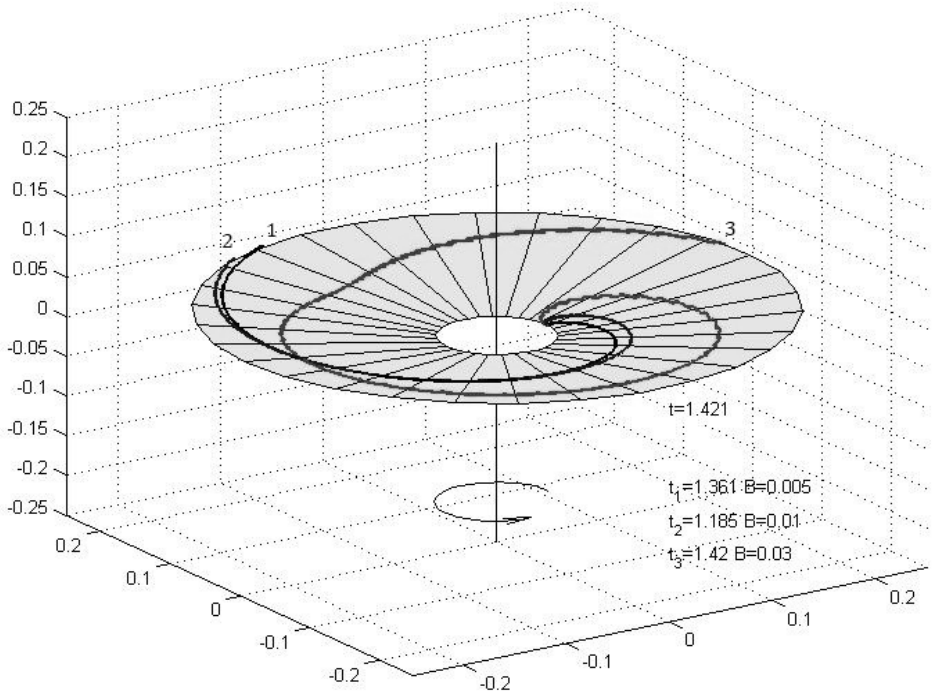
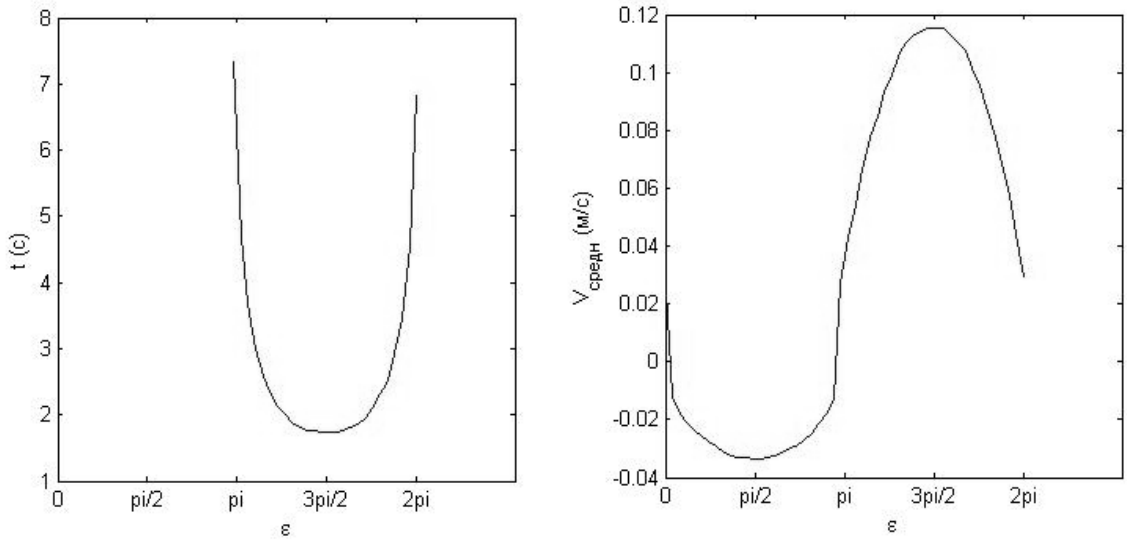


Рис. 3. Искривление траектории движения материальной точки при увеличении амплитуды крутильных колебаний бункера

Из рис. 3 видно, что при большом значении амплитуды, траектория движения материальной точки искривляется – отсюда и увеличение времени её движения. Искривление траектории обусловлено тем, что существует отрезок времени, когда проекции сил инерции в азимутальном направлении, порождаемые вращением и крутильными колебаниями бункера, сонаправлены. На высоких скоростях на этом отрезке могут произойти кардинальные изменения в траектории двжения материальной точки. При значениях угловой скорости $\omega = 7...10\,[\text{рад/с}]$ и амплитуды крутильных колебаний в интервале $B = 0{,}005...0{,}02\,[\text{рад}]$, достигается наименьшее время движения. Однако в таком случае радиальная скорость материальной точки при приближении к борту бункера может быть слишком высока.

Влияние разности фаз между вертикальными и крутильными колебаниями (фазового угла) на параметры движения (общее время движения и среднюю скорость) материальной точки показано на рис. 4. Из результатов моделирования следует, что фазовый угол $\varepsilon = 3\pi/2$ гарантирует максимальную скорость и минимальное время движения материальной точки. Такая разность фаз между вертикальными и крутильными колебаниями бункера обеспечивает минимальную силу трения при максимальных силах, действующих на материальную точку в положительном радиальном направлении. Возможность задать фазовый угол является одним из основных преимуществ вибрационных БЗУ с раздельным возбуждением колебаний.



а б

Рис. 4. Влияние фазового угла на параметры движения материальной точки:
а – на общее время движения; б – на среднюю скорость

Изменения фазового угла влекут за собой изменения в траектории движения материальной точки, что может быть использовано при решении различных конструкционных задач. Однако в подавляющем большинстве случаев рекомендуется выбирать фазовый угол $\varepsilon = 3\pi/2$.

Таким образом, результаты компьютерного моделирования процесса движения материальной точки по конической поверхности бункера вибророторного БЗУ позволяют проанализировать зависимости общего времени и средней скорости её движения от значений параметров колебаний и угловой скорости вращения бункера. Однако влияние частоты ω и амплитуды B крутильных колебаний бункера на параметры движения материальной точки в бункере вибророторного БЗУ требует дополнительного исследования.

Существует ряд задач параметрического синтеза вибророторного БЗУ, которые требуют дальнейшего решения. Среди них: синтез устройств для ориентирования предметов обработки, выбор оптимальной траектории движения предметов обработки, исследование движения предметов обработки в закрытых и полузакрытых каналах бункера БЗУ и др. Конечной целью параметрического синтеза является создание эффективного вибророторного БЗУ, обеспечивающего требуемую производительность при рациональном числе рабочих позиций и режимах работы вибропривода.

Вместе с тем, уже полученные результаты являются теоретической основой параметрического синтеза вибророторных БЗУ на стадии проектирования.

Список литературы: 1. Усенко Н. А. Эволюция загрузочных устройств автоматических роторных и роторно-конвейерных линий патронного производство // Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. Вып. 6: в 2 ч. Ч. 2. С. 98–103. **2.** Системы автоматической загрузки штучных предметов обработки в технологические машины-автоматы: учебное пособие / Н. А. Усенко, В. В. Прейс, Е. В. Давыдова, Е. С. Бочарова; под ред. проф. В. В. Прейса. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. 310 с. **3.** Прейс В. В., Усенко К. С., Усенко Н. А. Компьютерное моделирование процесса движения предмета обработки в вибророторном бункерном загрузочном устройстве // Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины: сб. науч. статей по материалам XII междунар. научно-техн. конф.: в 2 ч. Курск: ЮЗГУ. 2016. С. 158-165.

УСТОЙЧИВОСТЬ ШАРНИРНО ЗАКРЕПЛЕННОГО ТРУБОПРОВОДА

Радин В. П., Щугорев В. Н., Щугорев А. В., Новикова О. В.
(*НИУ МЭИ, г. Москва, Россия*),
E-mail: Shchugorev.VN@gmail.com

Аннотация: *При расчете на устойчивость механических систем, находящихся в условиях сложного нагружения, возникает задача об определении границ области устойчивости в пространстве нагрузок. Если среди внешних сил имеются неконсервативные нагрузки, то конфигурация этих границ зачастую непредсказуема с точки зрения эйлеровой теории устойчивости, применимой для потенциальных сил. В данной работе показано, что неучет упругих свойств кардинально меняет задачу исследования динамического поведения механической системы.*

Ключевые слова: *устойчивость, неконсервативное нагружение, следящая сила, формы собственных колебаний стержня*

В современной технике задачи неконсервативной теории упругой устойчивости вызывают постоянный интерес [1]. Это и устойчивость объектов с реактивной тягой и истечение жидкостей из шлангов, труб и т.д. В работе [2] обсуждались вопросы выбора расчетных схем механических систем при исследовании их устойчивости в условиях нагружения неконсервативными силами. В частности было показано, что упрощения, связанные с дискретизацией инерционных и/или упругих свойств, широко применяемые в случае расчета вынужденных колебаний систем, в случае неконсервативной устойчивости могут привести к существенным ошибкам как качественного, так и количественного характера.

Рассмотрим участок вертикально расположенного трубопровода, шарнирно закрепленный на одном конце и свободный на другом (рис. 1, *а*). Шарнир имеет некоторую жесткость c по отношению к поворотным перемещениям верхнего сечения трубопровода. По трубопроводу погонной массой m_0 длиной l со скоростью u протекает жидкость, погонная масса которой в трубе равна m. В случае нулевой жесткости в шарнире ($c = 0$) и в предположении о недеформируемости трубы возникает задача о собственных колебаниях свободно подвешенного трубопровода с протекающей жидкостью. Такая задача носит скорее учебный характер для демонстрации влияния кариолисовых сил на движение твердых тел и ее решение приведено в [3].

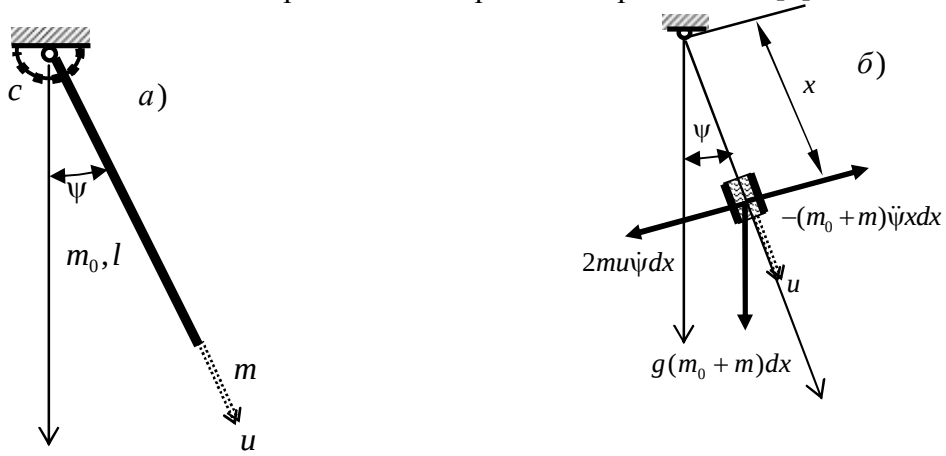


Рис. 1. Участок трубопровода с шарнирно закрепленным концом

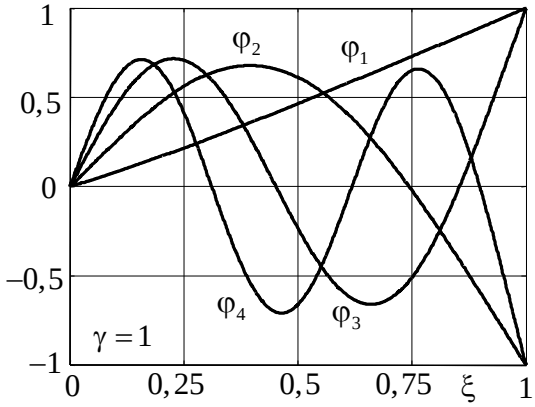


Рис. 2. Формы собственных колебаний трубопровода при $\gamma = 1$

Действительно, рассмотрим силы, действующие на элемент dx трубопровода (рис. 1 *б*). Кроме силы веса $(m_0 + m)gdx$, где $g -$ ускорение свободного падения, даламберовой силы инерции $(m_0 + m)\ddot{\psi}xdx$ на элемент действует кариолисова сила $2mu\dot{\psi}dx$ После интегрирования по x исходя из принципа Даламбера получим уравнение колебаний в виде

$$\frac{(m_0 + m)l^3}{3}\ddot{\psi} + mul^2\dot{\psi} + \frac{g(m_0 + m)l^2}{2}\psi = 0. \qquad (1)$$

Частота свободных колебаний рассматриваемой системы определяется по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{3}{2}\frac{g}{l} - \left[\frac{3mu}{(m_0 + m)l}\right]^2}. \qquad (2)$$

$$u \geq \frac{(m_0 + m)l}{3m}\sqrt{\frac{3}{2}\frac{g}{l}}$$

Из этой формулы видно, что рост скорости жидкости снижает частоту и при движение трубопровода при некоторых начальных возмущениях становится апериодическим. Что касается устойчивости, то вертикальное положение участка трубопровода в изложенной постановке задачи является устойчивым при любых значениях параметров протекающей по трубопроводу жидкости.

Подредактируем расчетную схему. Во-первых, учтем то, что трубопровод имеет некоторую изгибную жесткость EI и, во-вторых, сопротивление поворотным деформациям крайнего верхнего сечения обусловлено не только гравитационными силами, но и а самой конструкцией трубопроводной системы. Жесткость шарнира при этом характеризуется некоторой величиной c. В этом случае имеем классическую задачу устойчивости трубопровода при действии неконсервативных сил, коими являются силы со стороны протекающей по нему жидкости. Неконсервативная задача устойчивости для защемленного на одном конце участка трубопровода была решена еще в середине прошлого столетия Пайдуссисом М. Р. [4], Феодосьевым В. И. [5]. Рассмотрим задачу об устойчивости трубопровода с упруго закрепленным одним концом

Отклонения сечений трубопровода от вертикального положения обозначим через $w(x,t)$. Тогда уравнение малых колебаний в окрестности невозмущенной формы равновесия $w \equiv 0$ примем в виде

$$EI\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}+\left(m_0+m\right)\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}+2mu\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial t}+mu^2\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}=0. \tag{3}$$

Уравнение (3) необходимо дополнить граничными условиями

$$w=0,\quad EI\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}-c\frac{\partial w}{\partial x}=0,\quad (x=0),\quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}=0,\quad \frac{\partial^3 w}{\partial x^3}=0,\quad (x=l). \tag{4}$$

Введем безразмерные параметры

$$\xi=\frac{x}{l},\quad \mu=\frac{m}{m_0+m},\quad \alpha=u\sqrt{\frac{ml^2}{EI}},\quad \gamma=\frac{cl}{EI},\quad \omega_0=\frac{1}{l^2}\sqrt{\frac{EI}{m_0+m}},\quad \tau=\omega_0 t. \tag{5}$$

За параметры нагружения, на плоскости которых будем строить границу области устойчивости прямолинейной формы равновесия трубопровода, примем: α – параметр, характеризующий расход жидкости (а при фиксированной массе жидкости – безразмерную скорость её протекания), и μ – относительную погонную массу жидкости. Кроме того проведем исследование зависимости положения границы области устойчивости от жесткости упругого шарнира c. Уравнение (3) относительно $w(\xi,\tau)$ и граничные условия (4) с учетом (5) перепишутся следующим образом:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial \xi^4}+\frac{\partial^2 w}{\partial \tau^2}+2\alpha\sqrt{\mu}\frac{\partial^2 w}{\partial \xi\partial \tau}+\alpha^2\frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2}=0; \tag{6}$$

$$w=0,\quad \frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2}-\gamma\frac{\partial w}{\partial \xi}=0,\quad (\xi=0),\quad \frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2}=\frac{\partial^3 w}{\partial \xi^3}=0,\quad (\xi=1). \tag{7}$$

Эффективным способом построения критических поверхностей является метод нормальных координат или метод разложения по формам собственных колебаний [7]. Вместо форм собственных колебаний может быть взята и другая система функций, удовлетворяющая граничным условиям, а также условиям полноты и ортогональности. Представим решение $w(\xi,\tau)$ уравнения (6) в виде ряда по формам собственных колебаний

$$w(\xi,\tau)=\mathbf{q}^{\mathrm{T}}(\tau)\boldsymbol{\varphi}(\xi), \tag{8}$$

где $\mathbf{q}(\tau)-$ вектор обобщенных координат, $\boldsymbol{\varphi}(\xi)-$ вектор форм собственных колебаний консольного стержня, Размерность этих векторов равно числу удерживаемых членов в разложении (8). Собственные частоты $\omega_k=\beta_k^2/l^2\cdot\sqrt{EI/(m_0+m)}$ и формы $\varphi_k(\beta_k\xi)$ определим из уравнения (6) с теми же граничными условиями (7), положив в нем $\alpha=0$. Частотные параметры β_k для стержня с упруго опертым одним концом и свободным другим определяются из уравнения

$$\det\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ \gamma & \beta & \gamma & -\beta \\ -\sin\beta & -\cos\beta & \mathrm{sh}\beta & \mathrm{ch}\beta \\ -\cos\beta & \sin\beta & \mathrm{ch}\beta & \mathrm{sh}\beta \end{bmatrix} = 0 \qquad (9)$$

Если $\gamma = 0$, то уравнение (9) принимает вид $\mathrm{tg}\beta = \mathrm{th}\beta$, а при $\gamma \to \infty$ $-1 + \mathrm{ch}\beta\cos\beta = 0$. Для случая $\gamma = 1$ первые четыре формы представлены на рис. 2.

Применяя процедуру метода Бубнова-Галеркина к уравнению (6), получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений относительно обобщенных координат $q_k(\tau)$. Матричная форма этих уравнений имеет вид

$$\mathbf{A}\ddot{\mathbf{q}} + 2\alpha\sqrt{\mu}\mathbf{B}\dot{\mathbf{q}} + \left(\mathbf{C} + \alpha^2\mathbf{D}\right)\mathbf{q} = 0, \qquad (10)$$

где матрицы $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}$ и $\mathbf{D}$ вычисляются по формулам

$$\mathbf{A} = \int_0^1 \boldsymbol{\varphi}(\xi)\boldsymbol{\varphi}^{\mathrm{T}}(\xi)\,d\xi, \quad \mathbf{B} = \int_0^1 \boldsymbol{\varphi}(\xi)\left[\frac{d\boldsymbol{\varphi}(\xi)}{d\xi}\right]^{\mathrm{T}} d\xi, \quad \mathbf{C} = \int_0^1 \boldsymbol{\varphi}(\xi)\left[\frac{d^4\boldsymbol{\varphi}(\xi)}{d\xi^4}\right]^{\mathrm{T}} d\xi, \quad \mathbf{D} = \int_0^1 \boldsymbol{\varphi}(\xi)\left[\frac{d^2\boldsymbol{\varphi}(\xi)}{d\xi^2}\right]^{\mathrm{T}} d\xi$$

Представим вектор обобщенных координат в виде $\mathbf{q}(\tau) = \mathbf{q}_0 \exp(\lambda\tau)$ и, подставляя это выражение в уравнение (10), относительно характеристических показателей λ получим алгебраическую проблему собственных значений в виде матричного полинома

$$\mathbf{P}_2\lambda^2 + \mathbf{P}_1\lambda + \mathbf{P}_0 = 0, \text{ где } \mathbf{P}_2 = \mathbf{A}, \quad \mathbf{P}_1 = 2\alpha\sqrt{\mu}\mathbf{B}, \quad \mathbf{P}_0 = \mathbf{C} + \alpha^2\mathbf{D} \qquad (11)$$

Характеристические показатели λ полностью определяют поведение системы во времени в окрестности исследуемого на устойчивость положения равновесия. Положение равновесия будет асимптотически устойчивым, если действительные части всех характеристических показателей отрицательные, т.е. $\forall \mathrm{Re}\lambda < 0$, т.е.все характеристические показатели находятся в левой полуплоскости. При изменении параметров нагрузки потеря устойчивости соответствует переходу хотя бы одного характеристического показателя в правую полуплоскость. Границу области устойчивости можно построить либо непосредственным определением характеристических показателей из уравнения (11), либо применением какого-либо критерия устойчивости, например, критерия Рауса-Гурвица, который и применялся в рассматриваемой задаче.

Результаты вычислений по определению положения границы области устойчивости на плоскости μ, α представлены на рис. 3 – 6. При этом изменялись значения относительной жесткости шарнирной опоры γ. Характерной особенностью области устойчивости трубопровода при невысоких значениях жесткости шарнира является её неодносвязность. Этот факт ввиду его исключительности кроме упомянутых выше методов проверялся также и непосредственным интегрированием уравнения возмущенного движения. Потеря устойчивости при пересечении границы происходит только колебательным образом, т.е. по типу флаттера. Кроме того, граница флаттера трубопровода является немонотонной как при низких, так и при высоких значениях γ, что подвергалось серьезным сомнениям в работе [7]. При неограниченном возрастании жесткости шарнира граница флаттера стремится к кривой Пайдуссиса (рис. 6).

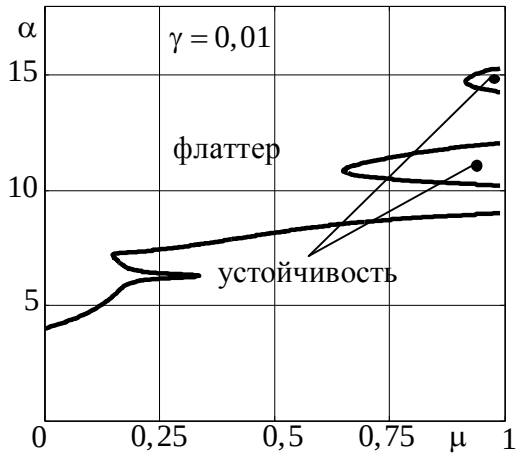


Рис. 3. Границы области устойчивости при $\gamma = 0,01$

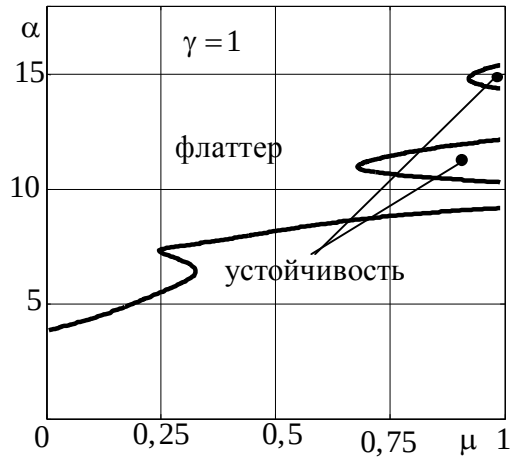


Рис. 4. Границы области устойчивости при с $\gamma = 1$

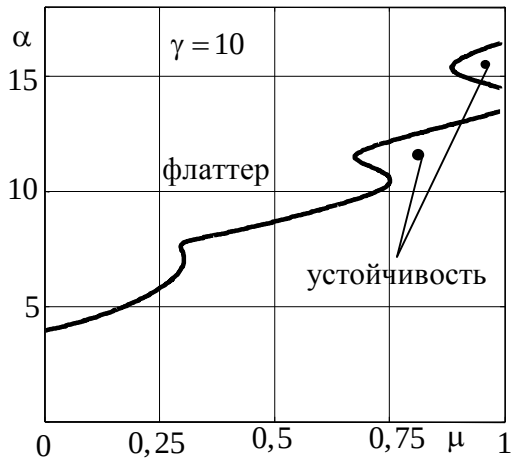


Рис. 5. Границы области устойчивости при $\gamma = 10$

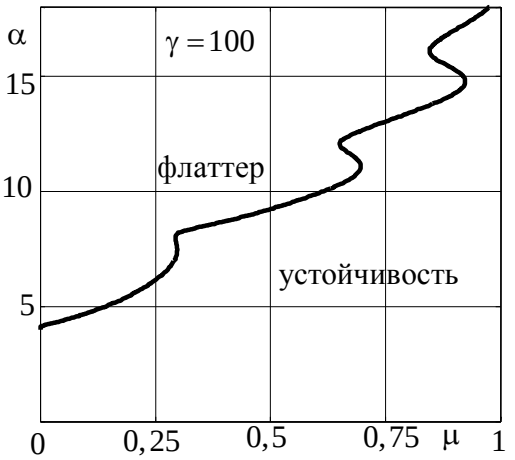


Рис. 6. Границы области устойчивости при $\gamma = 100$

Список литературы: 1..Радин В. П., Щугорев В. Н., Щугорев А. В., Зайкина Ж. В. Устойчивость трубопровода с упругой опорой. Материалы XXI международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», Севастополь 2014. С 224-228. **2.** Зайкина Ж. В., Радин В. П., Щугорев А. В.. Щугорев В. Н. О влиянии инерционных свойств на устойчивость механических систем при неконсервативном нагружении. Механика и математическое моделирование в технике. Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения В. И. Феодосьева. Сборник трудов. 17–19 мая 2016 г. Москва 2016. С 189–197. **3.** Светлицкий В. А. Задачи и примеры по теории колебаний. Учебное пособие, ч. 1. М. : Издво МГТУ, 1994. 308 с. **4.** Paidoussis M. P., Issid N. T. Dynamic stability of pipes conveying fluid // Journal Sound and Vibration. 1974. V. 33. P. 267–294. **5.** Феодосьев В. И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов. М.: Наука. 1973. 400 с. **6.** Болотин В. В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. – М.: Физматгиз, 1961. 339 с. **7.** Elishakov I., Vittori P. A paradox of non-monotonicity in stability of pipes conveying fluid / Teoret. Appl. Mech., 2005, Vol. 32, No. 3, pp. 235–282.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ракунов Ю. П., Абрамов В. В. *(НИУ МГСУ; г. Москва; Россия)*
Тел. +7 (916) 810 71 26; +7 (910) 436 51 32;
E-mail: rakunov1991@mail.ru, valabramov@rambler.ru

Abstract: *The purpose of this work was to elucidate the algorithm of the process of engineering activity throughout the life cycle of the product using computer-aided design systems. The block diagram of the 1st stage of the engineering design process using an automated information retrieval database is shown. The stages of creating a new product and the structure of the engineering process are indicated. The concept of the process of engineering design as an evolutionary and creative thinking combining a scientific approach and intuitive creativity is analyzed. It is proved that the ability to design is both a science and an art. Just as science is inseparable from art and analysis is associated with synthesis, evolutionary changes and the emergence of a new occur simultaneously.*
Keywords: *engineering design, process stages, process structure, production manager, design skill, evolution, creation of new, science and art.*

Инженерное проектирование начинается после того, как поставлена общая цель, которая должна быть достигнута в результате физической реализации спроектированного объекта [1- 4].

Процесс инженерного проектирования можно представить в виде замкнутой (обратной связью) итерационной последовательности. Уяснение задачи (техническое задание) – синтез (изобретательство) инженерный анализ и расчёт – принятие решения [5-7].

Например, рассмотрим задачу проектирования устройства для быстрого изготовления конструкторской документации (КД) и задачу проектирования системы (устройств), автоматизирующей изготовление (вплоть до выращивания прототипированием) различных деталей.

Первым этапом (стадией) (этап анализа) инженерного проектирования является поиск возможного пути решения задачи. Этот этап заключается в выборе оптимального способа достижения цели как известного, так и принципиально нового (генерирование способа или технологии реализации). В первом примере в устройстве быстрого изготовления КД могут быть использованы методы вычерчивания документов электромеханическим, электрохимическим, электронным, термическим и др. способами. Во втором примере в проектируемой для автоматизации изготовления деталей технологической системе возможно использование методов литья, горячей объёмной штамповки, холодной листовой штамповки, лазерного раскроя, гидроабразивной резки, механической обработки резанием, пластического поверхностного упрочнения, импульсной обработки порошка и т. д.

Результатом данного этапа после принятия решения об использовании оптимального способа является более детальное описание задачи, которая должна быть решена для достижения общей цели. На базе основной идеи в виде оригинального или известного способа, но по-новому используемого для проектирования заданного объекта, далее осуществляется выбор принципиальной схемы объекта. На следующем этапе проводится инженерный анализ и расчёт выбранного варианта (рис. 1).

Анализ предполагает создание аналитической или экспериментальной модели и получение с её помощью количественных результатов с тем, чтобы убедиться, что принципиальная схема изделия (устройства) удовлетворяет ТЗ с учётом всех заданных параметров и ограничений (например, качество и производительность, наличие

оборудования и инструментов, квалифицированных специалистов и персонала для производства).

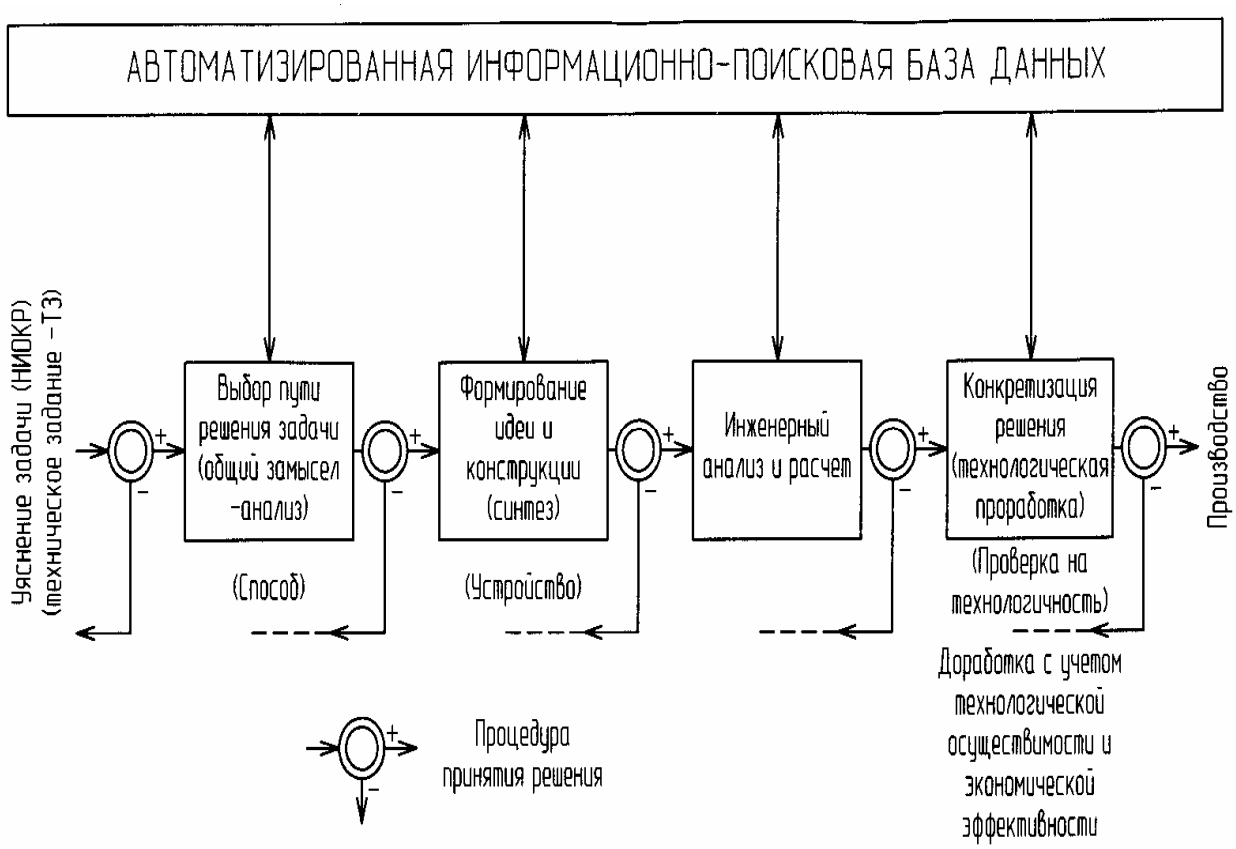


Рис. 1. Блок-схема I-го этапа процесса инженерного проектирования

После принятия решения на следующем (последнем) этапе проводится технологическая проработка. Основное содержание данной стадии заключается в изучении и сопоставлении производственных возможностей (наличие инструмента и технологической оснастки, нормализованных и унифицированных узлов и деталей) с дальнейшей доработкой конструкции устройства с учётом этих технологических возможностей.

Затем спроектированный объект запускается в производство (серийное). Переход от одной стадии к другой (см. рис. 1) сопровождается процедурой принятия решения. Любая стадия может многократно повторяться до получения положительного (оптимального) решения. Сущность процесса проектирования сводится к предложению подходящего метода, схемы или идеи и количественному анализу предложения [8-12].

Основу процесса проектирования представляет собой этап синтеза технического решения. Именно хорошая (достойная) идея (или несколько идей) в конечном счёте приводит к изделию с высокими технико-экономическими показателями [13-15].

Процесс разработки нового изделия можно представить в виде ряда контролируемых (инженерно-технических) процессов (рис. 2).

1) Поиск новых идей, их получение от внутренних и внешних источников;

2) Отбор идей: отсеивание идей, явно несоответствующих целям и возможностям фирмы – выполняют руководители формы, поскольку они имеют наиболее полное представление о целях и задачах производителя;

3) Разработка изделия – конструирование и проверка на всех этапах: от идеи, представленной на бумаге (или электронный чертёж) до получения готовой продукции.

Точно определяют типоразмер, рабочие характеристики, форму, вес и назначение изделия, патентоспособность, материалы, методы их обработки, технологическую оснастку и инструмент, производственные затраты и порядок обслуживания. По существу, эта стадия – НИОКР составляет относительно небольшую часть программы разработки новой продукции, т. к. результатом НИР обычно являются знания, а результатом разработки – опытный образец;

4) Анализ возможностей производства и сбыта – переход от идей к конкретным рекомендациям, включая разработку первоначальной программы создания изделия. Программа предусматривает:

– проверку создаваемого изделия на конкурентоспособность и оценку возможностей сбыта;

– определение потребностей производства, основного и вспомогательного оборудования;

– финансовых затрат на окончательную отработку изделия»;

– определение каналов распределения продукции.

5) Опытное производство – относительно небольшое число изделий (установленная партия), изготовленных на производственной линии для проверки:

– квалификации исполнителей (персонала);

– контроля качества и технического обслуживания;

– точности и прочности инструмента и зажимных приспособлений;

– времени, затрачиваемого на изготовление изделия;

– оценки себестоимости.

В опытном производстве отрабатывается технология для серийного производства изделия [16-17].

6) Проверка состояния рынка – выбирают участок (сегмент) рынка сбыта, на который направляют опытную продукцию. Специалистов по сбыту интересует спрос на изделие (реакция покупателей), его конкурентоспособность и круг потребителей. Эти коммерческие эксперименты необходимо проводить до принятия решений об организации серийного, а тем более массового, производства.

7) Организация опытного (массового) производства. После тщательного изучения результатов, полученных на предыдущих этапах, составляется программа производства и сбыта продукции. Репутация фирмы и её ресурсы с этого момента зависят от нового изделия. На протяжении этого периода руководители фирмы должны непрерывно собирать и обрабатывать все данные, которые способствуют совершенствованию изделия, технологии его производства и способов реализации.

Процесс инженерной деятельности

Превращение идеи в новое изделие, которое имеет успех и удовлетворяет необходимым критериям, связанным с его производством и сбытом, обладает высоким качеством при минимальных затратах на производство и своевременно поставляется потребителю, зависит от таланта и творческих способностей инженерного персонала. Затраты времени и денег на проектирование и разработку нового изделия напрямую зависят от эффективности идеи и успешности применения известных конструкционных материалов и прогрессивных технологических процессов [18-21].

Разработка изделия представляет собой процесс проектирования – итерационная кибернетическая система с наличием прямых и обратных связей – находится в компетенции инженерного персонала (рис. 3).

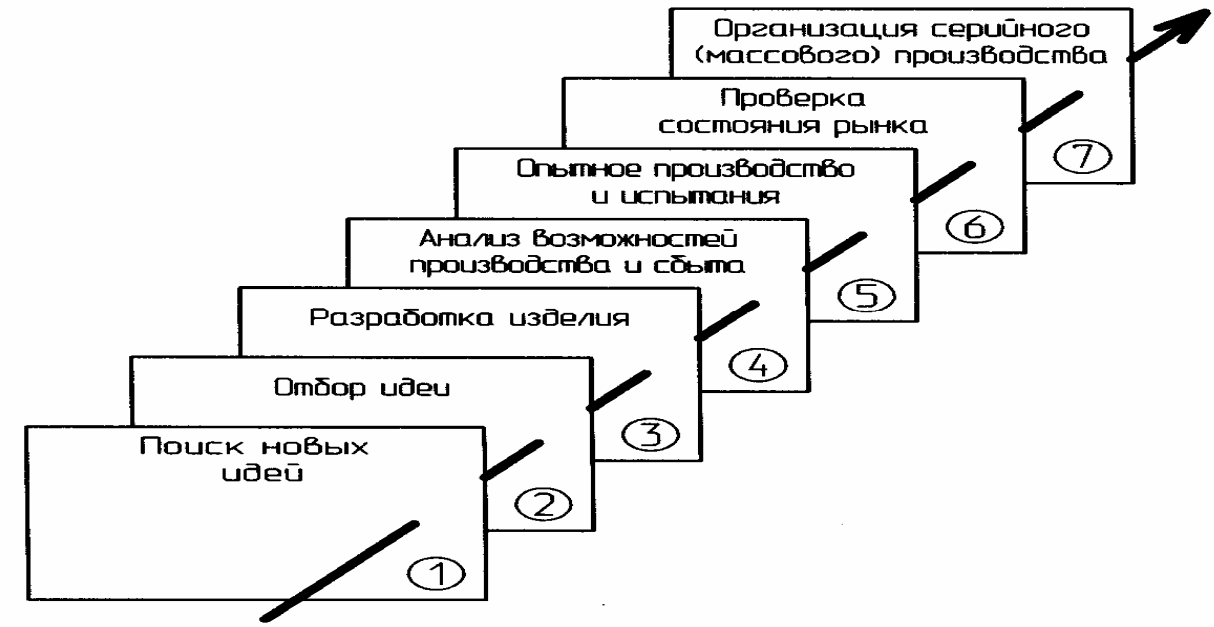


Рис. 2. Этапы создания нового изделия

Проектирование изделия в соответствии с ТЗ состоит из конструирования, расчёта и анализа конструкции: схемы членения (номенклатуры сборочных единиц), рабочих органов, особо сложных и ответственных деталей, а также испытаний опытного образца. Конструирование – наиболее ответственный этап, поскольку здесь определяют типоразмер, физическую форму и технические характеристики изделия и проверяют осуществимость (реализуемость) технического решения. Для успеха работы на данном этапе её надо поручить квалифицированным инженерам-конструкторам, которые должны знать и понимать (а на мелких фирмах и выполнять) обязанности конструктора-проектировщика и дизайнера, исследователя технических решений, чертёжника, изготовителя макетов, инженера-испытателя, экономиста-калькулятора, материаловеда и технолога [22-25].

Для проверки и подтверждения реализуемости идей необходимо провести расчёт и анализ конструкции. Следует отличать интуитивные решения, которые часто приводят к большим затратам, т.к. на разработку методом проб и ошибок требуется много ресурсов от формализованной оценки, основанной на расчётах оптимального использования инструментов и материалов оборудования и рабочей силы, позволяющих определить соответствие изделия прогнозируемым характеристикам, указанным в ТЗ. Испытания опытного образца – наиболее дорогостоящий этап, поскольку для их проведения требуется специально оборудованное место и аппаратура. Поэтому необходимо их тщательное планирование. Испытания позволяют подтвердить технические параметры, обнаружить недостатки изделия при нормальных условиях эксплуатации и проверить требуемый ресурс изделия.

Следующая стадия создания изделия – разработка серийного технологического процесса (ТП) состоит из трёх фаз: (см. рис. 3)

1) организацией потоков: информационного, материального и энергетического;
2) управления предприятием и его ресурсами;
3) изготовления изделия в соответствии с технологическим маршрутом.

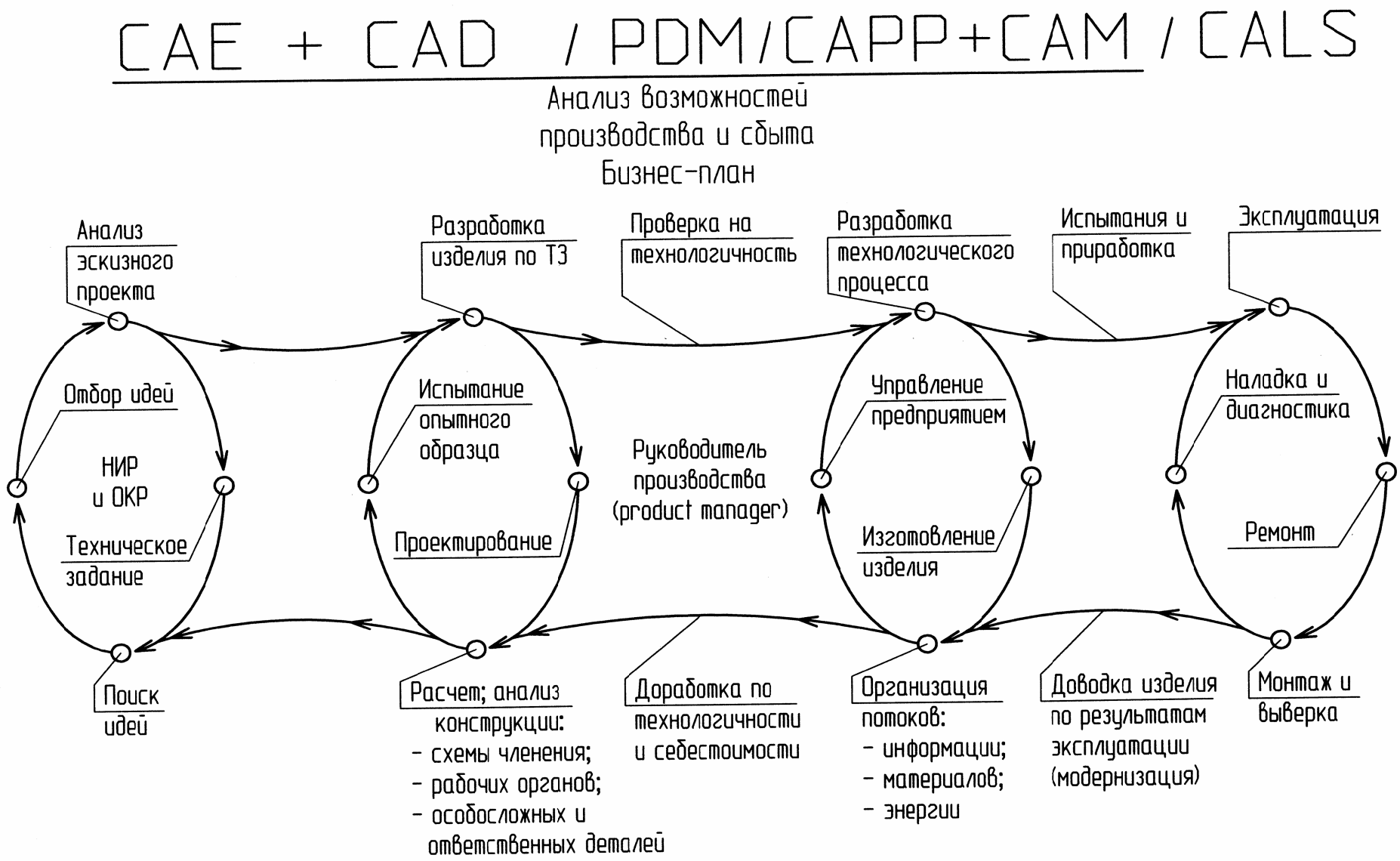


Рис. 3 Процесс инженерной деятельности на протяжении жизненного цикла изделия

Инженер-технолог, консультируясь с конструктором (иногда они спорят, но всегда должны найти компромисс), разрабатывает технологию изготовления изделия и контроля его качества, при этом он выбирает оборудование, станки и аппаратуру, необходимые для того, чтобы изделие удовлетворяло техническим условиям и требованиям потребителя (заказчика) и рынка.

Движение материалов (материальный поток) включает закупку, получение и обработку всех материалов, идущих на изготовление изделия, а также хранение и перевозку готовой продукции.

Одним из наиболее трудно поддающихся формализации и прогнозированию видов деятельности является управление предприятием, поскольку оно связано с отбором и переработкой огромных массивов информации, профессиональной подготовкой и распределением кадров, контролем готовности рабочей силы, исправностью оборудования и перечисленными выше потоками.

Управление предприятием при создании нового изделия осуществляет руководитель производства (***production manager***). Разработка ТП должна быть увязана с разработкой и проектированием изделия; это обеспечивает экономию (времени, ресурсов и средств) и приводит к совершенствованию изготавливаемых изделий, а также в процессе эксплуатации позволяет получать представление о том, какого вида новые изделия удовлетворяют современным требованиям с точки зрения производства и сбыта. Разработка ТП будет наиболее эффективной при полной осведомлённости (информации) обо всех технических новшествах и изменениях модели изделия, осуществляемых в конструкторском отделе.

Для согласования интересов большого числа функциональных подразделений, участвующих в создании новых изделий, руководители фирмы должны чётко определить ответственность за разработку изделия, свести к минимуму нарушения рабочих контактов и наладить функциональные и информационные взаимоотношения. Поэтому целесообразно составлять рабочие задания с их регулярным (ежемесячным) пересмотром на начальных этапах реорганизации. Процесс планирования мероприятий и этапов требует применения руководителями эффективных методов контроля сроков исполнения.

Отбор идей должен осуществляться на основе чётко сформулированных конкретных целей фирмы. При этом надо учитывать, на какие затраты можно пойти при создании нового изделия. Затраты определяются рабочей силой, производственной мощностью и площадью, материалами, рынками сбыта (торговыми организациями), а также тем, входит ли в планы фирмы дублировать данный ассортимент изделий (услуг) или его расширять (в типоразмерный ряд).

Руководители должны оценивать возможности производства и сбыта нового изделия до того, как будут вложены средства и затрачено время на его разработку. При поверхностном анализе изделие обычно оказывается неудачным, т.к. исключение из анализа плохо изученных вопросов наблюдается довольно часто, поскольку фирма, приступающая к разработке новых изделий, не имеет достоверных данных по их производству и сбыту. Чем большей новизной характеризуется изделие, тем труднее провести анализ. Для успешного анализа требуется тщательное и полное изучение рынка (тенденция его изменения, его ёмкость, конкуренция), возможностей получения прибыли, потребностей покупателей и данные, характеризующие отношение потребителей к новому изделию.

Инженерное проектирование

Проектировать – это значит творить (create), создавать что-то новое. Инженерное проектирование – это непрерывный процесс, в котором научная и техническая информация используется для создания новой системы, нового устройства

или процесса, приносящих обществу определённую пользу. Результатом проектирования должны быть изделия, обеспечивающие получение прибыли.

Умение проектирования (*ability make design*) или (*skill project*) – это одновременно и наука, и искусство. Как науку проектирование можно постигнуть путём систематических занятий, накопление опыта и решения проблем. Как искусство проектирование требует полной отдачи от тех, кто стремится овладеть этим умением. Проектирование предполагает применение анализа и синтеза как двух методов научного познания [4, 5, 18, 19].

Анализ иногда отождествляют с проектированием, ибо считают, что если проведён хороший анализ, то и проектирование выполнено хорошо. Анализ (дифференцирование), т. е. расчленение рассматриваемой задачи на контролируемые этапы и изучение каждого из них в отдельности, выполняется при проектировании для проверки первоначально поставленной цели. Синтез (интегрирование) – объединение элементов в единое целое – ближе к проектированию, чем любой другой процесс, но он должен быть творческим, чтобы комбинация объединяемых элементов была оригинальной. В процессе проектирования наука и искусство, анализ и синтез неотделимы друг от друга и проявляются (работают) одновременно [9, 16, 17].

При проектировании системы, устройства или процесса можно базироваться на одном из двух принципов: 1) эволюционные изменения (*evolution*); 2) создание нового (*creation*).

В настоящее время в большой степени, чем когда-либо проектирование связано с непрерывным созданием новых изделий. Бурный рост научных и технических открытий, конкуренция между фирмами за рынки сбыта выдвинули на первый план создание новых изделий, что настоятельно требует внедрения технических новшеств. В этом случае творческих навыков конструктора и его способностей к анализу бывает недостаточно, поскольку нет опыта, на основе которого можно было бы принимать решения. Поэтому такая практика проектирования сопряжена с большим риском. С самого начала мысль конструктора должна быть направлена на создание нового, на поиск жизнеспособной идеи, обладающей оригинальностью. Подобно тому, как наука неотделима от искусства и анализ связан с синтезом, эволюционные изменения и появление нового происходят одновременно.

Метод проектирования начинается с получения информации о состоянии предметной области, технических устройствах, материалах, методах (инструментах) изготовления, компонентах, технологических процессах, состоянии рынка и т.д.

По мере работы над проектом конструктор непрерывно сверяет свои идеи с прошлым и текущим состоянием вопроса. Проектирование может быть нацелено на будущее, но его результаты должны основываться на том, что было известно в прошлом (преемственность конструкции). Таким образом, конструктор одновременно создаёт новое и осуществляет эволюционные изменения.

Наибольших успехов в проектировании может достигнуть тот, кому присущи следующие качества, приобретаемые в процессе обучения (в том числе путём самообразования), а также благодаря внутренней дисциплине и любви к творчеству:

1) грамотность – конструктор дожжен знать физические законы и основы математики;

2) мастерство – конструктор должен разрабатывать и совершенствовать аналитические и графические методы решения задач, методы экспериментальной работы;

3) заинтересованность – активная любознательность, проявление научной добросовестности, ответственность за разрабатываемую конструкции, желание

принимать решения, умение излагать и отстаивать свои идеи и выводы на основе опыта;

4) творчество – стремление добиваться оригинальных результатов и искать области применения устройств (конструкций), желание избегать традиционных (тривиальных) решений, а также убеждённость в том, что творческое решение существует.

Список литературы: 1. Джонс Дж. К. Методы проектирования / пер с англ. М.: Мир, 1986. 322 с. **2.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с. **3.** Автоматизация поискового конструирования: искусственный интеллект в машиностроительном проектировании / А. И. Половинкин и др.; под общ. ред. А. И. Половинкина. М.: Радио и связь, 1981. 344 с. **4.** Абрамов В. В., Ракунов Ю. П., Герасименко В. Б., Суэтина Т. А. Технические основы создания машин и оборудования производства строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Граница, 2009. 432 с. **5.** Быков В. В., Быков В. П. Исследовательское проектирование в машиностроении. М.: Машиностроение, 2011. 256 с. **6.** Акулович Л. М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроения: учебное пособие / Л. М. Акулович, В. М. Шелег. – Минск: Новое знание. – М: ИНФРА-М, 2012. – 488 с. – (Высшее образование). **7.** Бреховских С. М., Прасолов А. П., Солинов В. Ф. Функциональная компьютерная систематика материалов, машин, изделий и технологий. М.: Машиностроение, 1995. 552 с. **8.** ГОСТ Р ИСО 10303-1-99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. М.: Госстандарт РФ, 2000. **9.** Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход / пер. с польск. М.: Мир, 1981. 456 с. **10.** Евгеньев Г. Б. Системология инженерных знаний: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 376 с. **11.** Интеллектуальные системы принятия проектных решений / А. В. Алексеев, А. Н. Борисов, Э. В. Вилюмс и др. Рига: Зинатне, 1997. 260 с. **12.** Колчин А. Ф., Овсянников М. В., Стрекалов А. Ф., Сумароков С. В. Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис, 2002. 304 с. **13.** Крайнев А. Ф. Идеология конструирования. М.: Машиностроение-1, 2003. 384 с. **14.** Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 376 с. **15.** Сольницев Р. И. Информационные технологии в проектировании. МВО РФ, ГУАП, 2000. 360 с. **16.** Ракунов Ю. П. Разработка системы многоуровневой базовой технологии // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – № 1, 2012. – С.40-46. **17.** Ракунов Ю. П. Подсистема синтезирования многоуровневой базовой технологии // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – № 10, 2012. – С.36-46. **18.** Хилл П. Наука и искусство проектирования / пер. с англ. М.: Мир, 1973. 270 с. **19.** Хубка В. Теория технических систем / пер. с нем. М.: Мир, 1987. 208 с. **20.** Jorgensen E. DoD classes of electronic technical manuals. // Naval surface warfare center. 1994. **21.** Giffler B., Thompson G. Algorithms for Solving Production-Scheduling Problems // Operat. Res. 1964. N 2. **22.** Blanton J., Wainwright R. Multiple Vehicle Routing with Time and Capacity Constraints Using Genetic Algorithms // Proc. of 5th Int. Conf. on GA. Morgan Kaufmann Publ., San 0 0 0 Mateo. 1993. **23.** Walsh N. A Technical Introduction to XML. // http://www.arbortext.com/Think_Tank/ XML_Resources/ **24.** http://www-3.ibm.com/solutions/engineering/esenovia.nsf/ **25.** Mackrell J. Supporting Collaborative Product Definition via Scaleable, Web-based PDM. Prepared by CIM-data, Inc. 2000.

ПРЕЦИЗИОННАЯ ЛАЗЕРНАЯ ПРОШИВКА ОТВЕРСТИЙ МЕТАЛЛИЧЕКИХ ФИЛЬТРОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рахимов Р. Р.,Звездин В. В., Исрафилов И. Х., Саубанов Русл. Р., Звездина Н. М.
(НЧИ К(П)ФУ, г. Набережные Челны, Россия)
Тел.:+7 (8552) 589538, Email: rafisih88@mail.ru

Abstract: *The paper presents experimental studies of laser hole piercing and investigation of the effect of laser radiation parameters on the quality of holes in metal products. To analyze the effect of laser radiation parameters and to reveal an informative parameter, series of experiments were carried out and analyzed.*
Keywords: *laser radiation, quality, informative parameter, parameters.*

Введение.

Лазерное сверление отверстий является основным для остальных видов лазерной обработки, поскольку в основе лазерного резания и фрезерования лежит постепенная абляция материала из полного подлежащего к удалению его объема, производимая последовательным сверлением отверстий.

Применение лазерных технологических комплексов (ЛТК) позволяют достигнуть максимальных технологических и экономических результатов, которое особенно актуально при обработке металлических и неметаллических материалов, таких как конструкционные стали, твердые металлические сплавы, керамика, стекло, рубин, алмаз и т.д.[2,6]

Создание микроотверстий в металлических изделиях является востребованной и актуальной задачей. Основная сложность задачи заключается в возникновении жидкой фазы с последующим образованием плазменного факела, которая многократно снижает поглощение ЛИ. Поэтому целью исследования является определение информативных параметров лазерной прошивки микроотверстий в металлических изделиях для эффективной прошивки отверстий с требуемыми показателями качества.

Были проведены исследования с фильтрами применяющимися в литейном производстве, которые подвергались обработке твердотельным импульсным лазером LRS–150A. На исследование представлен фильтр с четырьмя сквозными ступенчатыми отверстиями, в соответствии с рисунком 1. Первая ступень просверлена механическим способом, а следующая лазерным импульсом.

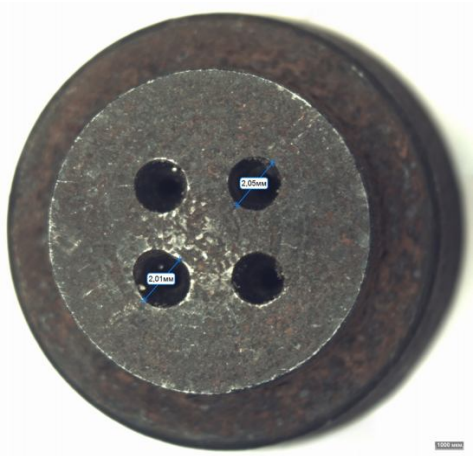


Рис. 1. Общий вид отверстий на поверхности фильтра, х 8.

Химический состав металла фильтра определялся по ГОСТ 54153-2010 на эмиссионном спектрометре «SPECTROMAXx» с применением адаптера для мелких проб, свидетельство поверки прибора № 3946 от 06.09.2016 г., действительно до 06.09.2018 г.

Микроструктура металла фильтра представляет собой троостомартенсит с микротвёрдостью 495 – 519 HV0,3 (49 – 50 HRC).

Результаты химического анализа материала фильтра в процентах представлены в таблице 1.

Таблица 2.1 – Результаты химического анализа материала фильтра

Содержание элементов, %									
C	Mn	Si	Cr	V	Mo	Ni	Cu	S	P
Требования ГОСТ 5950-2000 для стали марки 4Х5МФС «Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали»									
0,32-0,40	0,20-0,50	0,90-1,20	4,50-5,50	0,30-0,50	1,20-1,50	≤ 0,40	≤ 0,30	≤ 0,030	≤ 0,030
Фактическое содержание в пробе, %									
0,41	0,30	1,02	4,45	0,35	1,32	0,24	0,10	0,010	0,020
Примечание. Протокол № 98 от 15.02.2017 г.По углероду допуск 0,01; по хрому допуск 0,10ГОСТ 5950-2000.									

Диаметральное сечение отверстия с результатами геометрических замеров полученные единичным импульсом представлено на рисунке2.Прошивка отверстий диаметром 300 мкм, просверленных импульсным излучением длительностью 1,5 мс на рабочей поверхности фильтра 1 мм, выявило следующий результат. По всей глубине отверстия на его боковой поверхности образуется дефектный слой. Это связано с образованием жидкой фазы и неполным ее удалением из зоны обработки. К этому добавляется образование на поверхности детали валика из застывшей жидкой фазы, расположенного вокруг входного диаметра отверстия, и сколов в этом месте. Известно, что дефектный слой в видезоны или термоупрочнения, или отпуска на боковой поверхности отверстий, а также и валик образуются и при их лазерной обработке в различных металлах. В этом слое возможно и наличие микротрещин.

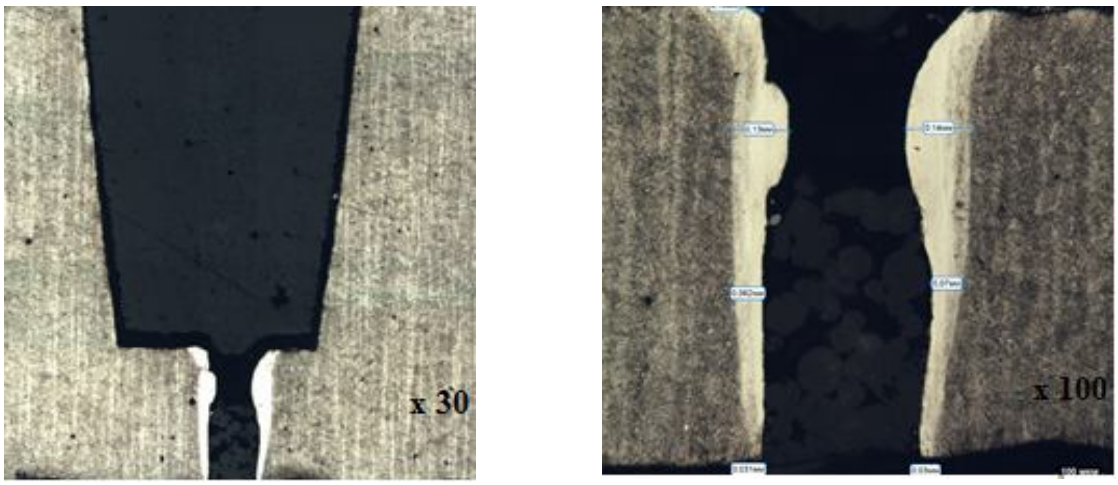


Рис. 2. Общий вид отверстия с усл. № 1 в сечении микрошлифа.

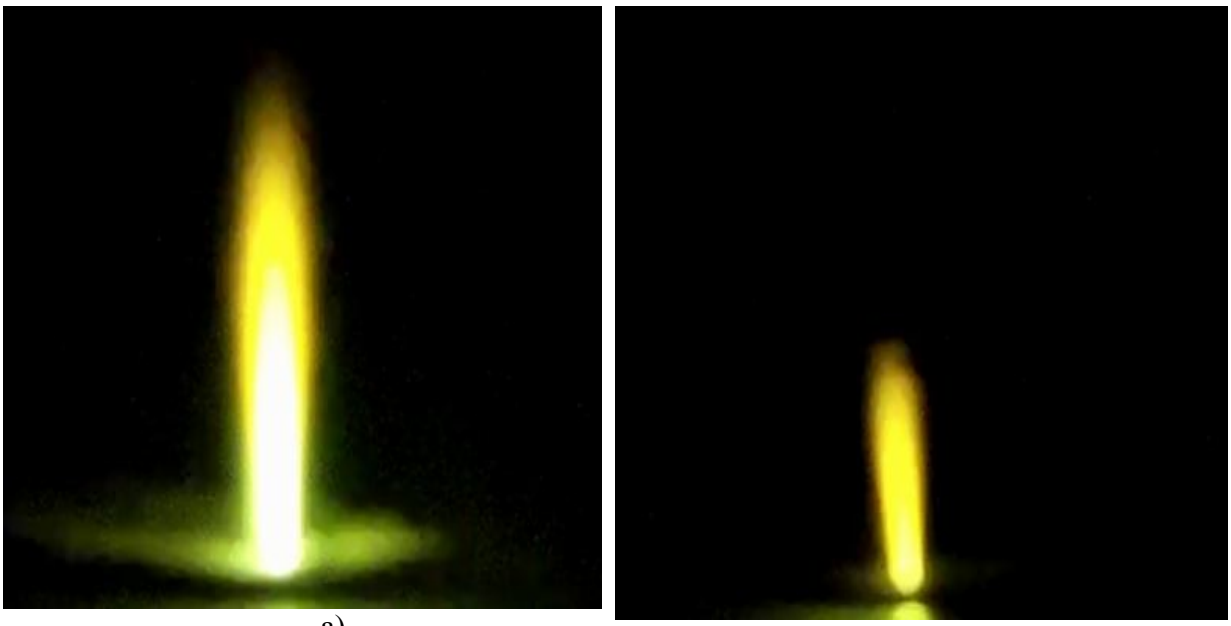
При многоимпульсной обработке получаются более хорошие результаты так как все последующие импульсы создают эффект шлифовании отверстии. Многоимпульсная обработка сквозных отверстий с максимально возможной глубиной проводилась одиночными импульсами. ЛИ фокусировалось на поверхности фильтра.

Разрез отверстий позволило оценить количество жидкой фазы на их боковой поверхности. Обработка прекращалась после того, как получали сквозное отверстие, которое определялся по размеру и цвету факела.

Одним из важных параметров, влияющих на энерговклад при лазерной прошивке (ЛП), является эффективный коэффициент поглощения ЛИ. Если длительность импульса τ принимает малое значение для данного материала, то плазменный факел около поверхности материала не возникает, следовательно, эффективный коэффициент поглощения может достигать высоких значений (до 0,9). Из этого следует, что эффективность передачи энергии ЛИ обрабатываемому материалу характеризует эффективный КПД процесса ЛП [6].

Процесс ЛП производился до получения сквозного отверстия. Способ ориентировочного определения момента прекращения цилиндрического формообразования заключается в фиксации скоростной видеокамерой цвета, размера факела [1]. Этому соответствует увеличенный размер факела, в составе которого имеется периферийная часть ярко-белого цвета. Ультразвук, издаваемый вылетаемыми частицами, является высокочастотным. Фотографии плазменного факела при фокусировке ЛИ на поверхности, полученные с помощью камеры высокоскоростной съемки, представлены на рис. 4.

Исследование плазменного факела позволяет оптимизировать процесс прошивки отверстий. Этот информативный параметр удобно использовать для контроля и управления процессом ЛП отверстий. Данный метод особенно удобен при необходимости прошивки материала с неизвестными физико-химическими свойствами, когда неизвестно характер влияние того или иного значения времени импульса. Способ контроля глубины отверстия по размеру плазменного факела отличается простотой, по сравнению с классическими методами, которые используются на производстве [2-6].Изменение указанного цвета, состава и звука означает, что обработку пора прекратить. Затем уже потребуется несравненно меньше времени для того, чтобы экспериментально откорректировать их количество соответственно требуемой глубине обработки. Излишнее их число ничего, кроме увеличения толщины дефектного слоя на боковой поверхности отверстия, не принесет.



а) б)

Рис. 4. Фотографии со скоростной видеосъемки процесса лазерной прошивки отверстии при напряжении накачки ламп 450 В, время импульса1,5 мс: а – первый импульс, б – последний импульс.

Выводы

Процесс лазерной обработки отверстий и его результаты зависят, в том числе и от формы импульса ЛИ, а также от отражающей способности боковой поверхности формирующегося отверстия. При прошивке отверстий удовлетворительные результаты были получены при снижении длительности импульса прямоугольной формы.

Эффективный путь снижения временных затрат и других мешающих факторов является многоимпульсный метод с высокой частотой. При этом глубина определяется суммарной энергией импульсов, а диаметр в основном зависит от положения фокусного пятна относительно поверхности изделия.

Список литературы: 1. Практика прецизионной лазерной обработки / Вакс Е. Д., Миленький М. Н., Сапрыкин Л. Г. // Москва: Техносфера, 2013. — 696 с. **2.** Исследование лазерной прошивки отверстия в неметаллических изделиях / Р. Р. Рахимов, Русл. Р. Саубанов, Рам. Р. Саубанов // Безопасность и проектирование конструкций в машиностроении и строительстве: мат. Международная научно-практ. конференция. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2013. Т.1. С. 408-412. **3.** Физические основы лазерной обработки материалов: учебное пособие/ В. Ф. Лосев, Е. Ю. Морозова, В. П. Ципилев// Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 199 с. 4. Контролируемый процесс лазерной обработки в импульсном режиме неметаллических изделий/ Р. Р. Саубанов, В. В. Звездин, Р. Р. Рахимов // Машиностроение и техносфера XXI века: XX международная научно – техническая конференция 16-21 сентября 2013 в Севастополе. – Донецк: Издательство ДонНТУ, 2013. С. 274–278. **5.** Способ измерения информативного параметра на основе оптико-физических методов исследований / Р. М. Алеев, В. В. Звездин, Р. Р. Саубанов, Р. М. Галиев, Р. Р. Рахимов // Интеллектуальные системы в производстве. – №1(17). – 2011. – С. 231–237 **6.** Лазерная прошивка многокомпонентных неметаллических материалов / Рахимов Р. Р., Звездин В. В., Исрафилов И. Х. // В сборнике: BEAMTECHNOLOGIES&LASERAPPLICATION Proceedings of the International scientific and technical Conference. 2016. С. 370–374.

ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ: ОПОРЫ РОТОРОВ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Савин Л. А., Родичев А. Ю., Поляков Р. Н., Бабин А. Ю. *(ОГУ имени И. С. Тургенева, г. Орел, Россия)*
Тел.: +7 (4862) 75-13-18; E-mail: alex.mech.osu@gmail.com

Abstract: *Market analisys was carried out in the field of training of mechanical engineers and mechatronic engineers. Operation principles are described for active bearings, such as: active magnetic, rheodynamic, radial and thrust hybrid bearings. Functional diagrams are presented for a bearing node with active control and for a lab test rig for complex study of active hybrid bearings. Peculiarities are presented of methodology of application of lab test rigs with automated data acquisition systems used during class exercises and scientific experimental studies.*
Keywords: *laboratory equipment for engineering training, active control, control systems, lab test rig, active hybrid bearings.*

Одним из основных элементов роторной машины, определяющим её работоспособность и надежность, является опора ротора. Для совершенствования опор роторов помимо многочисленных технологических и конструктивных приемов используется внедрение систем активного управления, которые позволяют в реальном времени контролировать различные параметры работы роторно-опорной системы и, при необходимости, корректировать их посредством интегрированных в конструкцию опоры исполнительных элементов. В частности, активные опоры помогают бороться с известной проблемой вибраций в роторных системах, приводящих к преждевременному износу ее элементов и необходимости дорогостоящего ремонта. Это обеспечивается возможностью осуществлять контролируемое силовое воздействие на ротор посредством регулирования реакций опоры и тем самым регулировать его перемещения, компенсируя нежелательные отклонения.

Активная опора, используя механизм считывания и цифровой обработки информации, может реализовывать не только изменение реакций и уровня демпфирования, но генерировать управление наклона лопаток направляющих аппаратов, регулирование площади поперечных сечений входного устройства и/или сопла, расход рабочих тел, характеристики демпфера, зазоры в уплотнениях, регулирование подачи топлива, стабилизацию горения и газодинамических процессов в компрессоре, гидродинамических течений жидкостей в насосах, что невозможно достигнуть при пассивном подвесе роторов.

Реализация активного управления основана на системном подходе, предполагающим рассмотрение роторной машины как единой мехатронной системы, объединяющей функции диагностики, контроля и управления вибрацией, гидрогазодинамическими, термоакустическими и расходными характеристиками. При этом роторно-опорный узел следует рассматривать как связующий элемент динамической и информационной системы.

Роторные агрегаты входят в состав практически всех транспортных, технологических и энергетических систем, значительной части бытовых и медицинских устройств. Электромеханические и пневмогидравлические приводы вращательного и поступательного движения, насосы, компрессоры, детандеры, вариаторы, двигатели и другие объекты имеют в своем составе валы с установленными на них рабочими колесами, подшипниковые узлы, демпферы уплотнения, дроссели, направляющие аппараты, клапаны и другие элементы. Постоянное развитие технологий приводит к тому, что требования, предъявляемые к технологическим машинам и их отдельным частям, повышаются. Эти требования связаны, прежде всего, с такими характеристиками, как надежность, энергоэффективность, долговечность, экологичность, безопасность и т.д. Соблюдение этих требований при проектировании

роторных систем во многом определяется характеристиками подшипников, которые часто являются одними из наиболее важных элементов роторных систем. Подшипники во многом определяют долговечность, износостойкость, виброустойчивость, надежность в целом, а также другие важные характеристики роторных систем. Поэтому оптимизация и модернизация подшипников является необходимым условием для улучшения роторных систем.

Колебания ротора в системе могут вызываться различными причинами. К базовым видам колебаний можно отнести: свободные колебания – являются результатом возникновения внезапной внешней импульсной нагрузки, аэродинамического удара в газопроводе, скачка напряжения статора электродвигателя; вынужденные колебания – появляются вследствие наличия в системе: начального дисбаланса (результат неравномерного износа лопаток), температурного изгиба, погрешностей изготовления и сборки. Переменные масса и дисбаланс, зависящие от технологического процесса, являются источниками параметрического возбуждения [1].

Таким образом, сложные условия работы роторной системы часто являются причиной выхода из строя агрегата, не способного вовремя прекратить рабочий цикл или каким-либо образом скомпенсировать эти изменения. В целом, факторы вызывающих поперечные колебания роторов, являющиеся наиболее опасными для радиальных опор, могут быть разделены на три основные группы:

1) конструктивные – вопросы монтажа и статической балансировки;

2) технологические – погрешности форм и размеров ротора и втулки неизбежные при их изготовлении отклонения, погрешности при сборке, неточное динамическое уравновешивание;

3) эксплуатационные – связанные с технологическим процессом.

Эффективные решения вопроса балансировки роторов имеются уже на протяжении длительного времени. Примером такого решения является проведение компьютерной диагностики ротора и дальнейшая статическая или динамическая балансировка. С развитием, как аппаратных, так и программных средств для проведения такой операции, прецизионная балансировка роторов позволила снизить уровень собственных колебаний ротора в опоре и, соответственно, увеличить срок службы и опоры, и агрегата в целом.

В настоящее время развитие интеллектуальных технологий и аппаратных средств позволяет проводить операции балансировки роторов с большей точностью, а системы диагностики позволяют быстро отключать оборудование, в составе которого обнаружился дефектный элемент, тем самым предотвращая нежелательные последствия для всей машины. Тем не менее, существует определенный класс агрегатов и определенный класс задач, решение которых предполагает безостановочную работу роторной системы в течение заданного времени и определенный допустимый уровень колебаний ротора. Внедрение современных технологий управления в опоры роторов позволяет решать широкий класс задач, связанных с повышением виброустойчивости, и послужило толчком к развитию такого направления исследований, как активные опоры роторов.

В мире существует много компаний, так или иначе занимающихся изготовлением опорных узлов роторных машин. Большинство из них занимается изготовлением упорных и радиальных подшипников качения с возможностью контроля параметров опоры во время работы, однако, на рынке есть фирмы, занимающиеся более сложными газовыми опорами и активными магнитными опорами. Такие фирмы, как, например, PI USA, RKB Bearings и NTN SNR, являются довольно известными в своем секторе, однако, не занимаются напрямую изготовлением лабораторного оборудования для студентов. Отдельные компоненты, которые можно приобрести, могут быть использованы в учебном процессе, но в большинстве случаев заказчик должен сам «собрать» установку, самостоятельно подбирая такие компоненты, как элементы информационно-измерительной системы. Анализ рынка выявил почти

полное отсутствие поставщиков лабораторного оборудования для исследования активных подшипников в России, не считая нескольких дочерних предприятий или партнеров крупных мировых компаний, производящих гибридные опоры скольжения и демонстративные роторные агрегаты. Тем не менее, нельзя не отметить повышенный интерес как исследователей с точки зрения получения новых научных результатов, так и преподавателей инженерных специальностей, в частности, «Детали машин и основы конструирования», «ТАУ» и т.д. с точки зрения подготовки инженеров-механиков и мехатроников. Таким образом, разработка такого оборудования является перспективной и актуальной задачей.

Научный авторов и коллектива Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева занимается разработкой теоретической базы для исследования активных гибридных опор скольжения. Гибридные опоры в данном контексте обозначает совместную гидродинамическую несущую способность опоры за счет действия вязких сил в слое жидкости-смазки и гидростатическую за счет подачи смазочной жидкости в область трения под давлением. Для проверки теоретических данных на базе проблемной научно-исследовательской лаборатории создан реконфигурируемый стенд, концептуальная модель которого представлена на рис. 1.

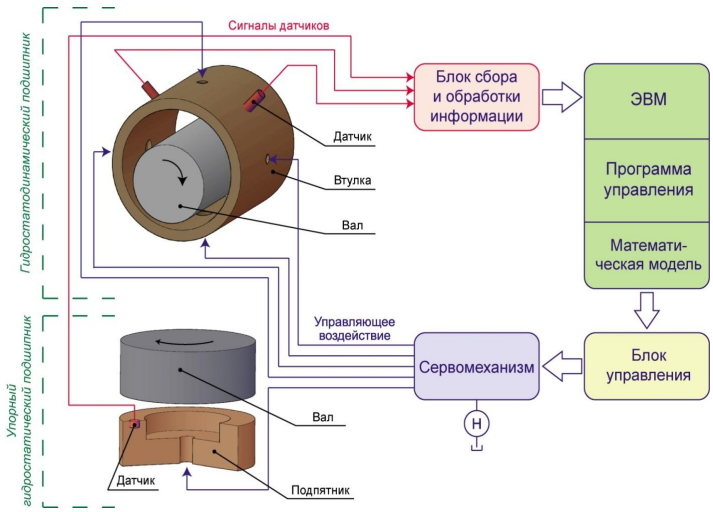


Рис. 1. Концептуальная модель экспериментальной установки по исследованию активных гибридных опор

Функционально установка работает следующим образом: вал с опорным диском вращается в двух радиальных активных опорах скольжения, осевая нагрузка воспринимается активным упорным подшипником. Для отслеживания положения вала используются датчики положения, способные работать при наличии жидкости в области регистрирования перемещения. Также, в корпусах подшипников и во втулках имеются каналы для подачи смазочного материала отдельно в каждую опору. На гидравлических трактах, ведущих к активным подшипникам располагаются сервомеханизмы – электромагнитные сервоклапаны с возможностью управления степенью открытия. Каждый сервоклапан может сопровождаться датчиками давления для проведения дополнительных исследований, например, расхода смазочного материала. Сигналы с датчиков поступают на вход АЦП/ЦАП блока сбора и обработки информации. В соответствии с необходимым положением вала в каждой опоре, система управления выдает соответствующие сигналы через блок управления на сервоклапаны с целью увеличения или уменьшения давления в питающих камерах, что непосредственно влияет на силу реакции смазочного слоя подшипника скольжения.

Теоретические исследования коллектива авторов и ПНИЛ «Моделирование гидродинамических систем» на базе ОГУ имени И.С. Тургенева подтверждают возможность использования такого способа управления положением ротора.

Опубликованые работы [2-5] рассматривают численное моделирование активных радиальных и гибридных опор с учетом наличия системы управления и корректирующих устройств. Для проверки работоспособности активных опор разработана реконфигурируемая установка (рисунок 2), используемая для дальнейших научных исследований и для занятий студентов по дисциплине «Теория автоматического управления».

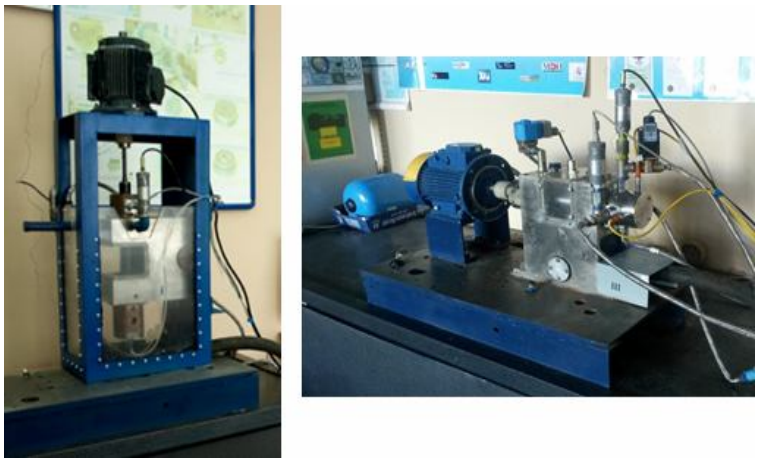


Рис. 2. Реконфигурируемая установка для исследования активных упорных (слева) и радиальных (справа) опор скольжения

Ввиду очевидной необходимости в разработке как учебного, так и научного оборудования для подготовки инженеров-механиков и мехатроников, коллективом авторов планируется разработка единого стенда, который являлся бы практическим инструментом для студентов и экспериментальным стендом для проведения комплексных сложных научных исследований в области реологии, трибологии, автоматического управления и мехатроники.

Статья подготовлена в рамках выполнения проекта №9.2952.2017/ПЧ государственного задания.

Список литературы: 1. Магнус К. Колебания: Введение в исследование колебательных систем. М.: Мир, 1982. 304 с. **2.** Шутин Д. В., Савин Л. А., Бабин А. Ю., Типы активных опор и перспективы их применения в роторных машинах, Проблемы теории и практики центробежных машин: монография. – Сумы: ООО «ПД «Папирус», 2014. – С. 165-174, **3.** Alexander Babin, Denis Shutin, Leonid Savin, Roman Polyakov, Control of the Reaction Forces of the Lubricant Film in the Journal Hybrid Bearing, INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS APPLICATIONS, ENGINEERING & DEVELOPMENT, Volume 9, 98–102, 2015. **4.** Alexander Babin, Leonid Savin, Thrust hydrostatodynamic bearing with a controllable supply of the lubricant, Proceedings of the Conference: 14th EDF – Prime Workshop (тезисы), p. 58, 2015 **5.** Бабин А. Ю., Савин Л. А., Шутин Д. В. Повышение энергетических характеристик роторных машин путем применения подшипниковых узлов с активным управлением, Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XIV международной научно-практической интернет-конференции (15 марта – 30 июня 2016 г., г. Орёл, ОГУ имени И. С. Тургенева) / под редакцией д-ра техн. наук, проф. О. В. Пилипенко, д-ра техн. наук, проф. А. Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю. С. Степанова. – Орёл: ОГУ им. И. С. Тургенева, 266 – 271, 2016.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНОГО МОДИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ ШУНГИТОВОГО УГЛЕРОДА ДЛЯ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ И КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

Сенють В. Т., Витязь П. А., Валькович И. В., Хейфец М. Л.,
(ОИМ НАН Беларуси, Президиум НАН Беларуси, ОАО НПО «Центр» НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)
Тел./Факс:+375 (017) 284 24 01; E-mail: vsenyut@tut.by
Тел./Факс: +375 (017) 284 18 22; E-mail: mlk-z@mail.ru

Abstract: *The processes for the production of the modifiers based on shungite carbon with a functionalized surface are developed. It is shown, that the functionalization of shungite carbon contributes to the better distribution of shungite particles in the alloys based on Al and Cu and improves the adhesion of the modifier to the matrix.*
Keywords: *schungite carbon, modification, surface functionalization, thermal treatment, composite material*

Введение. Современные тенденции развития технического прогресса заключаются в создании энергонасыщенной высокопроизводительной техники, содержащей тяжелонагруженные высокоскоростные узлы трения, что требует разработки новых триботехнических материалов с повышенными потребительскими свойствами. Возрастающим требованиям к механическим, трибологическим, защитным свойствам поверхностей трения могут отвечать композиционные материалы (покрытия), имеющие гетерогенную структуру с непрерывной металлической или полимерной матрицей и распределенной в ней дисперсной фазой (включения мелкодисперсных частиц твердых материалов, упрочняющих фаз т.п.). Подобная структура удовлетворяет принципу Шарпи, согласно которому наиболее твердые структурные составляющие с низким коэффициентом трения и малой склонностью к задирам должны залегать в виде изолированных друг от друга включений, а наиболее вязкие – образовывать сплошную матрицу, что обеспечивает высокие антифрикционные и износостойкие свойства композита, а также его прочность, вязкость и другие свойства, предъявляемые к триботехническим материалам и покрытиям [1].

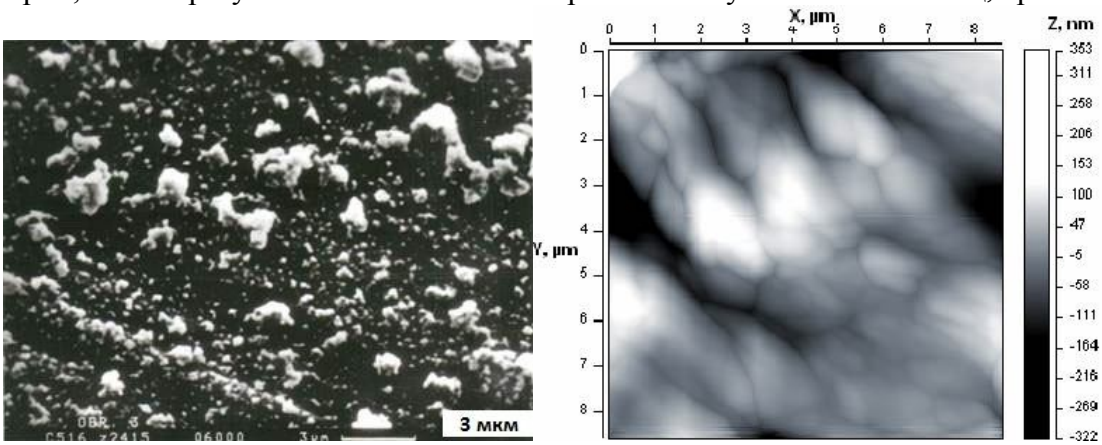
Добавки микро- и наноструктурных тугоплавких частиц в качестве примесных модификаторов позволяют эффективно изменять структуру сплавов и покрытий, способствуют ее измельчению и повышению механических, триботехнических и эксплуатационных характеристик [2]. В качестве модификаторов цветных сплавов и покрытий на их основе широкое применение получили углеродные наноматериалы (углеродные нанотрубки, фуллерены, шунгитовый углерод, а также ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза) [3].

Постановка задачи. Углеродные наночастицы характеризуются высоким краевым углом смачивания с расплавами на основе алюминия и меди, поэтому для обеспечения эффективного взаимодействия углеродных наноматериалов с матричными расплавами цветных металлов необходимо осуществить функционализацию поверхности наноуглеродных модификаторов, что обеспечит улучшение взаимодействия наночастиц в расплаве, повысит равномерность их распределения в матрице.

Цель работы – разработка процессов получения углеродных модификаторов на основе шунгитового углерода с функционализированной поверхностью для модифицирования конструкционных материалов и покрытий на основе цветных сплавов алюминия и меди.

Получение наноструктурного модификатора на основе шунгитового углерода после функционализации его поверхности алюминием. В качестве исходного материала использовали порошок шунгита с содержанием углерода до 40 мас. %, который предварительно измельчали в аттриторе до размера частиц менее 10 мкм. Далее была выполнена его химико-термическая обработка (функционализация поверхности), которая заключалась в высокотемпературном отжиге порошка шунгита в восстановительной атмосфере соответственно в среде галогенидов алюминия или меди. В результате были получены композиционные порошки на основе шунгитового углерода, поверхность которых функционализирована медью или алюминием. Содержание металлов на поверхности порошков шунгита изменяли в широких пределах (5–30 мас. %) в зависимости от технологических параметров отжига.

Порошки шунгита после химико-термической обработки представляют собой конгломераты частиц, состоящие в свою очередь из полиэдрических агрегатов размером до 1 мкм. Медь и алюминий распределены в порошке достаточно равномерно, не образуя скоплений на поверхности шунгитовых частиц, рис. 1.



а) б)

Рис. 1. Внешний вид порошков модификатора на основе шунгитового углерода после измельчения и функционализации: а – шунгит–Cu; б–шунгит –Al

Разработанные наноструктурные модификаторы использовали при получении отливок оловянной бронзы БрО4Ц4С17 и эвтектического силумина АК12М2МгН, широко применяемых для изготовления деталей антифрикционного назначения. Исследования отливок сплавов, полученных с использованием композиционных модификаторов показали, что функционализация шунгитового углерода способствует более равномерному распределению частиц шунгита в сплавах и повышению адгезии модификатора к матрице по сравнению с образцами из тех же сплавов, в которые добавляли порошок шунгитового углерода без функционального покрытия.

Исследования поддержаны белорусско-российским грантом БРФФИ-РФФИ по проекту Т16Р-176.

Список литературы: 1. Русецкий, А. М. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А. М. Русецкий, П. А. Витязь, М. Л. Хейфец, Л. М. Акулович, В. И. Бородавко и др./ под общ. ред. А. М. Русецкого.– Минск: Беларус. навука, 2012. – 239 с. **2.** Чернышова Т. А. О модифицировании литых алюмоматричных композиционных материалов тугоплавкими наноразмерными частицами / Т. А. Чернышова, Л. И. Кобелева, И. Е. Калашников // Металлы.–№1.– 2009.– С. 79–87. **3.** Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками /Витязь П. А., Жорник В. И., Кукареко В. А., Комаров А. И., Сенють В. Т./под общ. ред. Витязя П. А. – Минск, Белорусская наука. – 2011. – 522 с.

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ НА СООТНОШЕНИЕ УПРОЧНЕНИЯ И РАЗУПРОЧНЕНИЯ ЦИНКА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Скворцов А. И., Сергеева А. В. *(ВятГУ, г. Киров, Россия)*
Тел. +7 (8332) 74-24-91; E-mail: scvortsovai@mail.ru

Abstract: *Microstructure and hardness of matching studied zinc if you increase the degree of plastic deformation at room temperature.*
Keywords: *Zinc, microstructure, hardness, plastic deformation at room temperature.*

Введение

В работах [1–5] показана неоднозначность в изменении физико-механических свойств и структуры при пластической деформации при комнатной температуре сплавов Zn–Al монотектоидного типа, богатых Zn. Одной из основных структурных составляющих таких сплавов является β-фаза (фаза на основе Zn). Представляет интерес изучение соответствия в изменении микроструктуры и физико-механических свойств этой структурной составляющей при увеличении степени пластической деформации. Материалом для такого исследования может послужить чистый цинк.

Целью настоящей работы является определение соответствия в изменении микроструктуры и твердости цинка при увеличении степени пластической деформации при комнатной температуре.

Материал и методика исследований

Исследовали цинк Ц0 (не более 0,15 % примесей), переплавленный в открытой тигельной печи. Отливки цилиндрической формы получали литьем в металлическую форму. Из отливок изготавливали образцы диаметром 11 мм и высотой 16 мм. Перед пластической деформацией образцы подвергали закалке от 350°С в воде. Далее образцы деформировали осадкой на гидравлическом прессе при комнатной температуре (не ниже 23 °С) с нарастающей степенью пластической деформации ε в интервале до 81 % со средней скоростью 0,5 мм/с.

Микроструктуру изучали на микроскопе «Neophot 21» после травления погружением в реактив составом: H_2SO_4 – 10 мл, HF – 10 мл, H_2O – 80 мл, с последующей промывкой в горячей воде.

Изучаемое свойство – твердость *HV*, которую измеряли на приборе Виккерса ТВМ 1000 по стандартной методике.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Из рис. 1 видно, что твердость цинка с увеличением степени пластической деформации измененяется с максимумом. На этой зависимости можно выделить 3 характерные области, соответствующие степеням пластической деформации (%): 0; 36 – область максимума твердости; 81 – область разупрочнения при максимальной степени деформации. Этим областям соответствует микроструктура, показанная на рис. 2.

Микроструктуре исходного перед пластической деформации состояния цинка характерно наличие столбчатых кристаллитов (зерен), вытянутых в направлении, в частности, от поверхности литой заготовки (образца) до ее оси. На рис. 2, *а* показан фрагмент такого кристаллита толщиной примерно 50 мкм.

Пластическая деформация степенью 36 % вызывает измельчение зеренной структуры (рис. 2, *б*), существенно увеличивая, соответственно, площадь поверхности границ зерен. Механизмом измельчения зерен являются рекристаллизационные процессы (температура рекристаллизации цинка – 20 °С [6]).

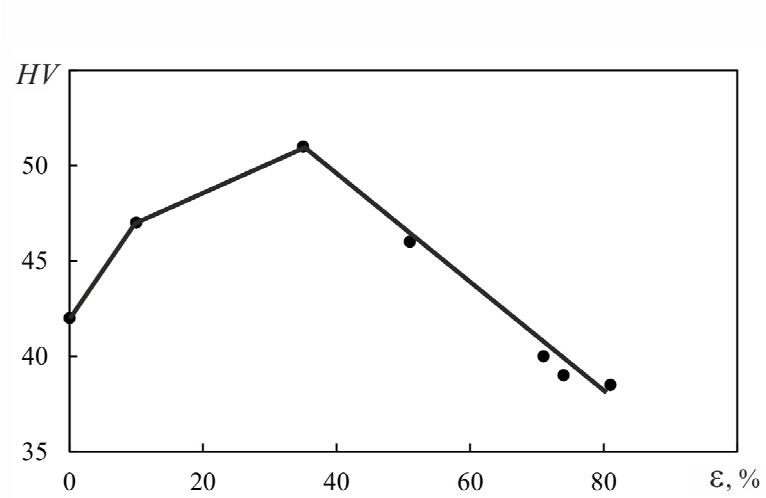
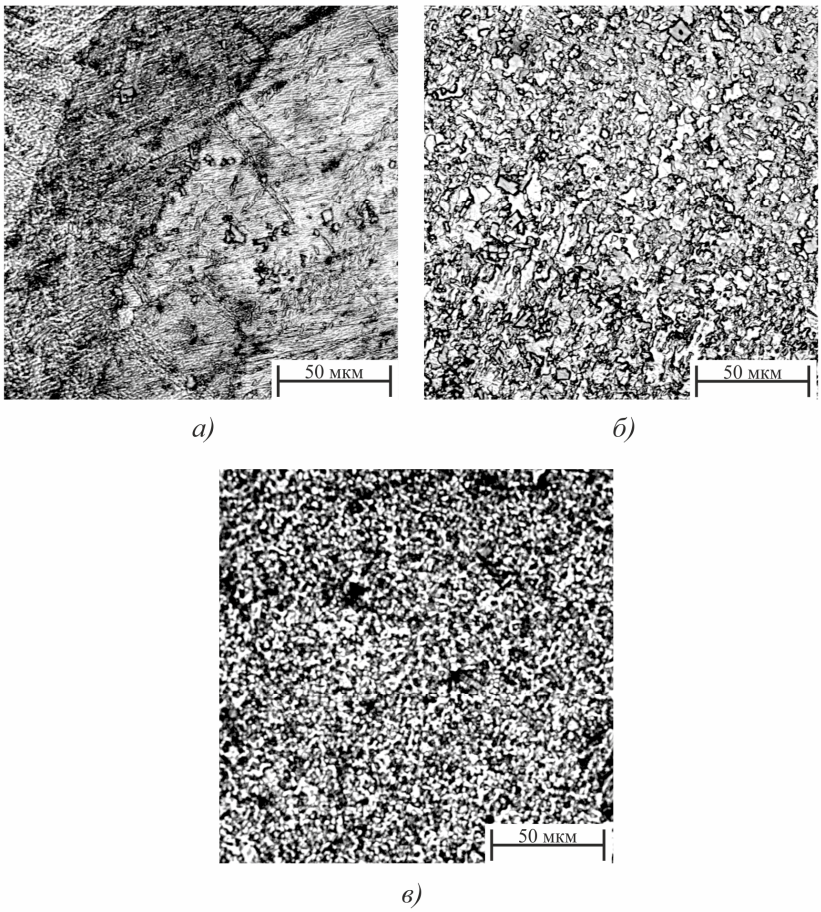


Рис. 1. Влияние степени пластической деформации при комнатной температуре на твердость цинка



а) *б)*

в)

Рис. 2. Микроструктура цинка, соответствующая степени пластической деформации при комнатной температуре (%): 0 (*а*), 36 (*б*) и 81(*в*)

Согласно закона Холла-Петча это должно приводить и приводит к увеличению характеристик прочности, в данном случае, к увеличению твердости. Необходимо

отметить, что на плоскости шлифа форма множества зерен близка к форме многогранников с углами, включая острые углы, углы 90°.

Последующее увеличение степени пластической деформации, в частности до 81 % приводит к образованию еще более дисперсной зеренной структуры (рис. 2, *в*). Однако измельчение зеренной структуры не сопровождается увеличением твердости, а наоборот (рис. 1). Из сравнения рис. 2, *б*, *в* видно, что зерна становятся более округлыми. То есть измельчение зеренной структуры, опровождающееся округлением зерен, ведет к разупрочнению цинка.

Итак, на I стадии деформирования, то есть при деформации со степенью примерно до 36 %, основным механизмом формирования твердости, согласно закона Холла-Петча, является дислокационный механизм. Увеличение площади поверхности границ зерен с увеличением степени пластической деформации ведет к повышению сопротивления движению и размножению дислокаций. На II стадии деформирования, то есть при деформации со степенью примерно выше 36 %, основным механизмом формирования твердости становится механизм зеренограничного скольжения благодаря измельчению зеренной структуры, сопровождающемуся округлением зерен.

Выводы

1. Зависимости твердости цинка от степени пластической деформации характерны 2 стадии деформирования: стадия упрочнения и стадия разупрочнения.

2. На I стадии деформирования, то есть при деформации со степенью примерно до 36 %, способствующей упрочнению, сопровождающемуся измельчением зеренной структуры, основным механизмом формирования твердости является дислокационный механизм.

3. На II стадии деформирования, то есть при деформации со степенью примерно выше 36 %, способствующей разупрочнению, сопровождающемуся дальнейшим измельчением зеренной структуры и округлением зерен, основным механизмом формирования твердости становится механизм зеренограничного скольжения.

Список литературы: **1.** Скворцов А. И., Веселов Н. Н., Скворцов А. А., Обухова Ю. Б. Зависимость свойств и кристаллической структуры сплава Zn–23%Al от степени пластической деформации // Деформация и разрушение материалов. 2013. № 7. С. 22–25. **2.** Скворцов А. И., Скворцов А. А. Влияние старения на твердость и структуру закаленно-деформированного сплава Zn–23%Al // Металловедение и термическая обработка металлов. 2014, № 12. С. 41–45. **3.** Скворцов А. И. Явление разупрочнения сплавов на основе цинк–алюминий с увеличением степени пластической деформации при комнатной температуре // Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов / Материалы XXII Уральской школы металловедов-термистов. Орск: Издательство ОГТИ (филиала) ОГУ, 2014. С. 43. **4.** Скворцов А. И., Толстобров А. К. Закономерности влияния различных режимов термической обработки на характер зависимости твердость – степень пластической деформации сплава ЦА23 // Технология металлов. 2015. № 1. С. 18–21. **5.** Скворцов А. И., Толстобров А. К. Влияние термической обработки на зависимость твердости от степени пластической деформации для сплава ЦА39 // Деформация и разрушение материалов. 2015. № 8. С. 43–45. **6.** Свойства элементов: Справочник / Под ред. Дрица М. Е. – М.: Металлургия, 1985. – 672 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ РОЛИКОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Скляров В. Н. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел.: +38 (062) 3010787; E-mail: gztl@fimm.donntu.org

Abstract: *In the work is shown the design prototype roller, suggestions for increase of its reparability results of bench and acceptance testing an experimental batch of 30 rollers. It has been established that resistance to rotation of experienced barrel-shaped rollers after the acceptance test during 921 hours, when it has been transported 476 thousand tons of rock, commensurate with the resistance to the rotation control batch rollers with ball bearings.*
Keywords: *belt conveyor, roller, bearing, maintainability, operability, durability.*

В настоящее время ленточные конвейеры находят широкое применение во всех отраслях промышленности. Как транспортные машины непрерывного действия с бесконечно замкнутым тягово-несущим органом в виде ленты, они обеспечивают практически любую производительность перемещения насыпных или штучных грузов, требуемую для современных транспортно-технологических комплексов [1, 2]. Однако работа ленточных конвейеров сопряжена с трением тягового органа с роликоопорами приводными и отклоняющими барабанами, а также другими элементами. Именно указанные силы трения являются одними из основных причин износа и выхода из строя ленты конвейера и его элементов.

Развитие теории и разработка методов расчета ленточных конвейеров с подвесными роликоопорами для горных предприятий проведено в работах [3, 4]. Исследования [5, 6] посвящены определению сил сопротивления движению ленты по роликам и исследованию параметров системы «груз-конвейерная лента-роликоопора». Экспериментальные и аналитические зависимости сопротивлений движению от конструктивных параметров конвейерного става, физико-механических свойств ленты и груза получены в работе [7]. Настоящая статья является продолжением указанных исследований.

Одним из основных элементов ленточных конвейеров, определяющим, в значительной мере, работоспособность последних, являются роликоопоры, на долю которых приходится до 30% стоимости всей конвейерной установки. Опыт эксплуатации показывает, что на шахтных ленточных конвейерах основными факторами, определяющими ресурс роликоопор, являются выход из строя подшипниковых узлов и износ обечайки роликов. По этим причинам ресурс роликоопор и роликов снижается на горных предприятиях до 5–7 месяцев.

Кроме того, процесс перемещения горной массы неравномерной толщины и с колебаниями скорости вызывает автоколебания ленты, роликоопор из-за изменения нагрузок на жесткий став ленточного конвейера и реакции с его стороны на все элементы конвейера. В результате указанных сложных процессов в системе «жесткий став конвейера – роликоопоры и конвейерной ленты с грузом» возникают дополнительные динамические нагрузки на конвейерную ленту и поддерживающие ролики, что приводит к их преждевременному износу и повреждению.

Важным направлением увеличение ресурса роликоопор, отдельных роликов и конвейерной ленты является применение подшипников нового технического уровня повышенной долговечности и ремонтопригодности и внедрения элементов контроля сопротивления движения ленты. Проведенный анализ показал, что в настоящее время на шахтах Донбасса в роликах ленточных конвейеров практически не применяются подшипники скольжения. Из зарубежного опыта есть сведения о применении в США роликов из негорючего материала на графитопластмассовых подшипниках скольжения,

не требующих смазки. Основная цель применения таких покрытий – возможность работы без смазки, хотя во многих случаях при наличии смазки детали с такими покрытиями могут показывать еще более высокую работоспособность

Основной областью применения металлофторопластовых подшипников являются узлы сухого трения. У металлофторопластового материала все рабочие характеристики близки к наилучшим, что делает этот материал наиболее универсальным по своим свойствам. Наиболее ценные из этих свойств состоят в том, что при работе без смазки металлофторопластовый материал допускает очень большие удельные нагрузки (до 350 МПа); сохраняет работоспособность в широком диапазоне температур (от –250 до $+300^0$С); имеет теплопроводность и коэффициент термического расширения почти такие же, как у стали; на поверхности не возникает статическое электричество, фреттинг-коррозия и ложное бренеллирование.

С целью значительного повышения долговечности подшипников и установления возможности эффективной замены в роликах шахтных ленточных конвейеров шарикоподшипников на подшипники скольжения при сохранении значений величин сопротивления вращению ролика равных или близких к аналогичному параметру, достигаемому в роликах с подшипниками качения, на кафедре горнозаводского транспорта и логистики ДонНТУ были выполнены научно-исследовательские работы по созданию роликов шахтных ленточных конвейеров с металлофторопластовыми втулками. Конструкция ролика разработана на базе серийного ролика с подшипниками качения для конвейера 1Л1000 и представлена на рис. 1.

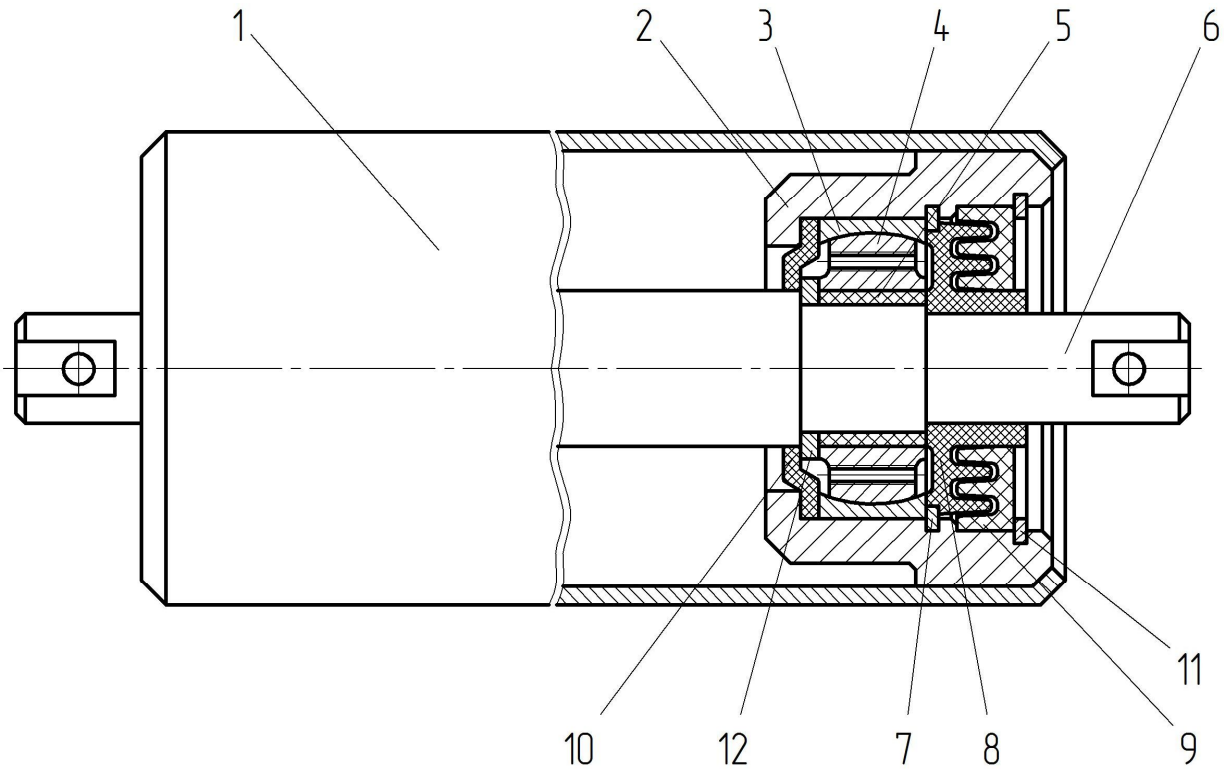


Рис. 1. Ролик ленточных конвейеров с металлофторопластовыми подшипниками скольжения

Ролик ленточных конвейеров включает цилиндрическую обечайку 1, с двух сторон которой предусмотрены стаканы 2 сферическими кольцами 3, в которых размещены корпуса подшипников 4 с металлофторопластовыми втулками 5. Стаканы 2

завальцованы с обоих боков обечайки. Сферическое кольцо 3 с корпусом подшипника закреплены в выемке стакана 2 с помощью пружинного кольца 7 и обеспечивает соосную установку оси ролика относительно корпуса подшипника 4, пылезащитных колец 8 и 9, которые замыкаются стопорным кольцом 11. Между корпусом подшипника 4 и заплечиками оси 6 установлено кольцо 12 по посадке с натягом. Для снижения трудоемкости ремонта и повышения ремонтопригодности ролика боковая поверхность корпуса подшипника 4 имеет два резьбовых отверстия, в которые можно ввинчивать шпильки и демонтировать изношенный подшипник 4.

Ролик ленточного конвейера работает следующим образом. Обечайка 1 приводится во вращательное движение конвейерной лентой. Крутящий момент от обечайки 1 передается стаканам 2, уплотнениям 9 с пружинным кольцами 11, сферическим кольцам 3, корпусам подшипника 4, металлофторопластовой втулки 5, которая позволяет им свободно оборачиваться вокруг оси 6 и уплотнений 8. При этом при желании смазывания подшипника масло удерживается во внутренних пространствах между уплотнениями 8, 9 и защитным кольцом 12 и с другой стороны – пружинным кольцом 7. Это снижает осевые нагрузки на пылезащитные уплотнения 8, что обеспечивает их нормальную работу и снижает износ ролика.

Экспериментальные ролики в количестве 10 шт. прошли испытания в лаборатории кафедры горнозаводского транспорта, где в пылевой камере была проведена их обкатка под нагрузкой в течение 16 часов, после чего были сняты данные о силе сопротивления вращению роликов и радиальным зазорам в подшипнике. Замеры проводились при частоте вращения шпинделя станка 375 об/мин, что соответствовало окружной скорости обечайки ролика 2,5 м/с. Радиальный зазор измерялся при помощи индикатора часового типа.

Опытная партия роликов в количестве 30 шт. имела 20 роликов с цилиндрической формой корпуса подшипника и 10 роликов с бочкообразной формой. Контрольная партия состояла из 30 роликов с подшипниками качения. Все ролики маркировались в торце стаканов насечками и устанавливались на ленточном конвейере породного комплекса шахтоуправления «Донбасс». Ролики проработали 921 час и за это время было перевезено 476 тыс. тонн породы. Чрезмерного нагрева и отказов роликов опытной партии не выявлено. После завершения испытаний ролики были сняты с конвейера и в лаборатории ДонНТУ проведены повторные замеры контролируемых параметров, значения которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты приемочных испытаний роликов

Типы роликов	Сила сопротивления вращению роликов, приведенная к его обечайке, Н		Износ подшипников, мм
	до начала испытаний	в конце испытаний	
1. Ролики с цилиндрической формой корпуса подшипника	20,5±0,82	9,05±1,3	0,062±0,009
2. Ролики с бочкообразной формой корпуса подшипника	9,35±0,39	6,45±1,0	0,067±0,019
3. Опытная партия роликов в целом	16,8±0,56	8,18±0,95	0,064±0,009
4. Контрольная партия роликов с подшипниками качения	14,1±2,8	6,92±1,0	0,047±0,010

Как видно из таблицы, опытные ролики с бочкообразной формой корпуса подшипника до начала испытаний имели сопротивление вращению более чем в 2 раза меньше, чем ролики с корпусами подшипников цилиндрической формы. После испытаний это соотношение составило 1, 4. По нашему мнению это можно объяснить тем, что бочкообразная форма корпуса подшипника позволяет компенсировать неточности изготовления и монтажа, которые могут вызывать перекосы подшипников скольжения.

Сопротивления вращению роликов с бочкообразной формой корпуса металлофторопластового подшипника скольжения соизмеримы с сопротивлениями вращению роликов с подшипниками качения. Это дает основание считать, что ленточный конвейер, оснащенный металлофторопластовыми подшипниками скольжения не даст увеличения энергозатрат при одновременном увеличении ресурса ролика до первого капремонта 10000 часов (примерно большего в 5…6 раз по сравнению с роликами с подшипниками качения).

Выводы.

1. Обоснована целесообразность применения металлофторопластовых подшипников скольжения в роликах роликоопор шахтных ленточных конвейеров вместо подшипников качения. При этом ресурс ролика до первого капремонта увеличивается в 5…6 раз и составляет 10000 часов.

2. Конструкция ролика позволяет за счет резьбовых отверстий в корпусе подшипника производить многократную его замену (до 5 раз), чем значительно повышает ремонтопригодность и ресурс ролика до 50000 часов.

3. В результате установлено, что для роликов с фторопластовым покрытием подшипника не возникает статическое электричество, поэтому указанные ролики можно использовать в угольных шахтах опасных по газу и пыли.

Список литературы: 1. Расчеты и проектирование транспортных средств непрерывного действия: учебное пособие для вузов / А. И. Барышев, В. А. Будишевский, Н. А. Скляров и др.; под ред. В. А. Будишевского; – Донецк: Норд-Пресс, 2005. - 689 с. **2.** Техника и технология погрузки, разгрузки, транспортирования и складирования в энергоемких производствах: учебное пособие для вузов / В. А. Будишевский, В. О. Гутаревич, В. Н. Маценко и др.; под ред. В. А. Будишевского, А. А. Сулимы; – Донецк: ДонНТУ, 2000. – 350 с. **3.** Яхонтов Ю. А. Исследование автоколебаний подвесных роликоопор / Ю. А Яхонтов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 3–5. – С. 26–33. **4.** Яхонтов Ю. А. Вывод уравнения движения подвесной роликоопоры ленточного конвейера с исследованием автоколебательных процессов / Ю. А. Яхонтов // Известия вузов. Геология и разведка. – 2005. – № 2. – С. 60–63. **5.** Корнеев С. В. Анализ факторов, определяющих силу сопротивления вращению роликов ленточных конвейеров / С. В. Корнеев, В. П. Долгих // Сб. науч. трудов ДонГТУ. – Вып. 41. – 2013. – С. 33–36. **6.** Корнеев, С. В. Структурирование компьютерной модели системы «груз – конвейерная лента – роликоопоры» в программном комплексе Ansys Workbench / С. В. Корнеев, В. П. Долгих // Сборник научных трудов НГУ. – 2014. – № 45. – С. 105–111. **7.** Lodewijks G. Energy Consumption of Pipe Belt Conveyors: Indentation Rolling Resistance / G. Lodewijks, M. Zamiralova // FME Transactions. – 2012. – Vol. 40. – P. 171–176.

ОТ РЫЧАГА ДО РОБОТА

Степанова Е. А. *(КамчатГТУ, г. Петропавловск–Камчатский, Россия)*
E-mail: len_sta@rambler.ru

Abstract: *The article describes the history of the development of the theory of mechanisms and machines. The main stages are shown, scientists are listed, who made a great contribution to the development of science.*
Keywords: *machines, mechanisms, technical inventions, science, robotics.*

Одной из проблем инженерного образования является незнание студентами истории развития изучаемых дисциплин, что приводит часто к непониманию необходимости таких общеинженерных дисциплин, как теоретическая механика, теория механизмов и машин, сопротивление материалов. Кроме того, часто у студентов есть ложное представление о незначительном вкладе отечественных ученых в развитии тех или иных наук.

В данной работе предложен экскурс в историю развития теории механизмов и машин.

Простейшие механизмы использовались человеком с древнейших времён. Развитие человечества сопровождается созданием машин. Простые механизмы (колесо, винтовая передача и др.) широко использовались ещё во времена Древнего Египта. В своих работах по механике древнегреческий учёный Архимед подытожил знания древних и заложил её научные основы. Нелегко прогнозировать будущее науки. Великий русский ученый химик Д. И. Менделеев писал: «Границ научному познанию и предсказанию предвидеть невозможно».

Теория механизмов и машин возникла не сразу. Отдельные задачи этой теории были решены ещё в XVII веке. Теория механизмов появилась сначала как учебная дисциплина. Гаспар Монж [1] был первым преподавателем теории механизмов. В конце XVIII и начале XIX в. Г. Монж создал начертательную геометрию – аппарат кинематики машин и механизмов. В 1808 г. в Париже был издан «Курс построения машин», написанный по программе Гаспара Монжа другими авторами. Этот курс можно считать первым учебником по теории механизмов и машин.

Знаменитый русский ученый, математик и механик, профессор Петербургского университета, член Петербургской академии наук П.Л. Чебышев – основоположник теории структурного и кинематического синтеза механизмов. Его труды стали тем фундаментом, на котором были впоследствии развиты аналитические методы синтеза механизмов. П.Л. Чебышев [1] опубликовал 15 работ по структуре и синтезу рычажных механизмов, изобрел и построил свыше 40 различных новых механизмов и около 80-ти их модификаций. Структурную формулу плоских механизмов называют сейчас формулой Чебышева. П. Л. Чебышев интересовался всю жизнь наукой - теория механизмов и машин, причем он занимался не только теоретическими изысканиями в этой области, но и уделял большое внимание непосредственному конструированию конкретных механизмов. Он показывал, что можно шарнирными механизмами воспроизвести вращательное движение с различным направлением вращения около двух осей. Один из таких механизмов, получил в дальнейшем название парадоксального. Передаточное отношение между ведущим и ведомым валами в этом механизме может меняться в зависимости от направления вращения ведущего вала. П. Л.Чебышев создал ряд так называемых механизмов с остановками. В этих механизмах, широко применяемых в современном автоматостроении, ведомое звено совершает прерывистое движение. В истории развития науки о машинах нельзя указать

ни одного учёного, творчеству которого принадлежало бы столь значительное количество оригинальных механизмов.

Продолжателями [2] работ Чебышева были его ученики и последователи — П. О. Сомов, успешно разрабатывавший теорию структуры механизмов и их классификацию; Н. Б. Делоне, выпустивший «Лекции по практической механике»; В. Н. Лигип, издавший впервые в России монографию «Кинематика»; Х. И. Гохман, написавший «Кинематику машин».

В первой половине XIX столетия [2] рядом ученых эффективно развиваются вопросы динамики машин. Ж. В. Понселе принадлежит труд «Курс механики в приложении к машинам».

Французский геометр Т. Оливье обосновал метод синтеза сопряженных поверхностей в плоских и пространственных зацеплениях с помощью производящей поверхности.

Немецкий ученый [1] Ф. Грасгоф дал математическую формулировку условия проворачиваемости звена плоского рычажного механизма, которое необходимо при его синтезе. Английские математики Д. Сильвестр и С. Роберте разработали теорию рычажных механизмов для преобразования кривых (пантографов).

Русский ученый-математик и государственный деятель И. А. Вышнеградский, известный [2] как один из основоположников теории автоматического регулирования, сконструировал ряд машин и механизмов (автоматический пресс, подъемные машины, регулятор насоса) и, будучи профессором Петербургского технологического института, создал научную школу конструирования машин. В Петербургском технологическом институте и Михайловской артиллерийской академии Вышнеградский И.А. читал курсы прикладной механики, термодинамики, теории упругости, грузоподъёмных машин, токарных станков, паровых машин и др. В 1860 Вышнеградский И.А. опубликовал руководство "Элементарная механика", в течение многих лет считавшееся лучшим в России. Огромной заслугой Вышнеградского явилось введение в учебных заведениях России преподавания машиностроительных дисциплин, подготовка инженерных кадров для производства машин на отечественных заводах.

В середине XIX столетия [1] была написана работа английского ученого Р. Виллиса, посвященная теории механизмов, содержащая классификацию механизмов. Р. Виллис доказал основную теорему плоского зацепления и предложил аналитический метод исследования планетарных зубчатых механизмов. В 1837 г. Виллис опубликовал сообщения о зубчатых зацеплениях и об одонтографе (инструменте для определения вычерчивания вида зубцов, зубчатых колес разного радиуса и числа зубцов). В эти годы он уже писал свои «Принципы механизмов» — одно из классических и основополагающих произведений в науке о машинах. Изучив сочинения своих предшественников, он пришел к выводу, что первое, что нужно сделать, это отделить кинематику от динамики. Он указал, что, прежде чем производить исследование механизмов, их следует классифицировать, исходя из некоторых ясных и логически обоснованных принципов. Виллис предлагает уточнить основное положение учения о механизмах и рассматривать их не как приспособления, служащие для преобразования движения, а как систему жестких звеньев, с помощью которой можно выполнить передачу и преобразование движения и которая зависит исключительно от конструкции этой системы. Тем самым Виллис связывает движение с геометрией механизма и рассматривает механизм как замкнутый на себе объект.

Во второй половине XIX в. [1] публикуются работы Ф. Рёло. Немецкий инженер-машиновед Ф. Рело разработал графический метод синтеза сопряженных профилей, известный в настоящее время как «метод нормалей». Им вводятся важнейшие в теории механизмов понятия о кинематической паре и кинематической цепи. Его

«Теоретическая кинематика» является трудом энциклопедическим, охватывающим все стороны учения о механизмах. В 1854 г. он в соавторстве с Моллем издал первый том «Конструирования в машиностроении». До Рело в Германии кинематикой не занимались. Впервые этот предмет Рело начал читать в Швейцарии, в Цюрихском политехникуме, в 1871 г. Затем продолжил его в Берлинском ремесленном институте, а позже — в Ремесленной академии. Одновременно он начал издавать «Кинематические сообщения» и другие мемуары по прикладной теории машин. В 1875 г. Рело опубликовал первый том «Теоретической кинематики». Над идеями «Теоретической кинематики» Рело работал с 1852 г. Таким образом, этот большой трактат явился результатом почти 25-летней интенсивной конструкторской, педагогической и научной деятельности.

Можно говорить о рождении новой науки—теории механизмов и машин - после публикации работ Виллиса, Чебышева, Рёло и ряда ученых второй половины XIX в., создавших те научные основы, которым должна удовлетворять каждая наука.

В последней четверти XIX в. получает развитие динамика машин, связанная, как правило, с исследованием паровых машин и кривошипио-шатунных механизмов. Значительный вклад в динамику машин внес своими трудами русский ученый Н. Е. Жуковский. Он был автором ряда работ по прикладной механике и теории регулирования хода машин.

Развитию механики машин [2] способствовали работы русских ученых Н. П. Петрова, заложившего основы гидродинамической теории смазки; В.П. Горячкина, разработавшего теоретические основы расчета и построения сельскохозяйственных машин, исполнительные механизмы которых должны воспроизводить движения руки человека.

Русский ученый Л. В. Ассур открыл общую закономерность в структуре многозвенных плоских механизмов. Он же разработал метод «особых точек» для кинематического анализа сложных рычажных механизмов; Российский ученый А.П. Малышев предложил теорию структурного анализа и синтеза применительно к сложным плоским и пространственным механизмам.

Русский ученый И. И. Артоболевский [3] являлся организатором отечественной школы теории механизмов и машин; им написаны многочисленные труды по структуре, кинематике и синтезу механизмов, динамике машин и теории машин-автоматов, а также учебники, получившие всеобщее признание.

Ученики и последователи И. И. Артоболевского – А. П. Бессонов, В. А. Зиновьев, Н. И. Левитский, Н. В. Умнов, С. А. Черкудинов и др. – своими работами содействовали дальнейшему развитию науки «Теория механизмов и машин».

Вклад в теорию механизмов и машин внесли: Н. Г. Бруевич, один из создателей теории точности механизмов; Г. Г. Баранов, автор трудов по кинематике пространственных механизмов; С. Н. Кожевников, разработавший общие методы динамического анализа механизмов с упругими звеньями и механизмов тяжело нагруженных машин; Ф. Е. Орлов, Д. С. Зернов – расширили теорию передач; Н. И. Мерцалов – дополнил кинематическое исследование плоских механизмов теорией пространственных механизмов и разработал простой и надежный метод расчета маховика; Л. П. Смирнов – привел в строгую единую систему графические методы исследования кинематики механизмов и динамики машин; В. А. Гавриленко – разработал геометрическую теорию зубчатых передач; Л. Н. Решетов – развил теорию корригирования зубчатых передач, а также планетарных и кулачковых механизмов и положил начало теории самоустанавливающихся механизмов.

И. И. Артоболевский, указывая на важнейший недостаток прикладной механики — почти полное отсутствие теории синтеза механизмов, пришел к выводу, что было бы

своевременным поднять вопрос о создании специального института по теории машин. С 1937 г. он [3] приступил к работе в Комиссии машиноведения при Отделении технических наук АН СССР. После преобразования Комиссии в Институт машиноведения И. И. Артоболевский возглавил в нем отдел машин и механизмов. Структура и классификация механизмов – одна из тем, разработку которой начала Комиссия машиноведения.

Приблизительно с середины 50-х годов начинается период становления и развития машин автоматического действия. Робототехника – одно из знаковых направлений развития науки и техники. Как машина-автомат принципиально нового типа, робот ворвался в сложившуюся структуру машин как что-то инородное. Робот может быть и технологической машиной, и транспортной, и информационной, а может выполнять функции технологического приспособления или средства автоматизации.

С самого начала в развитии робототехники [4] обозначились две, сначала довольно слабо связанные цели – прикладная и фундаментальная. Прикладная цель была объективно обусловлена развитием современного производства, а именно – переходом к комплексной гибкой автоматизации, к гибким автоматизированным производствам. Здесь одной из первоочередных задач стало создание недостающего звена, способного заменить человека при выполнении различных манипуляционных операций.

Из этой задачи сразу же выделилась как самостоятельная проблема высвобождения людей от опасных и вредных работ. Затем, по мере развития робототехники она, естественно, трансформировалась в задачу создания средств робототехники, предназначенных для работ, которые принципиально не могут выполняться с помощью или даже просто в присутствии людей (дальний космос, глубины океана, новые интенсивные технологии). Возникли экстремальная робототехника, медицинская микроробототехника, биоробототехника, шагающие машины и другие специальные разделы.

Сегодня роботы применяются практически во всех сферах человеческой деятельности. А уровень развития робототехники стал важным показателем научно-технического, промышленного и оборонного потенциалов страны.

Вторая, фундаментальная цель робототехники – экспериментальное изучение и воспроизведение феномена разумного поведения живых существ. В своем развитии эта проблема привела к появлению самостоятельного научно-технического направления, получившего название «искусственный интеллект».

В свое время робототехника получила значительное развитие на основе пятилетних государственных планов. Не только по парку и объему внедрения роботов, но и по научно-техническому уровню отечественная робототехника находилась на самых передовых позициях в мире. К сожалению, в дальнейшем вся эта плановая работа по развитию отечественной робототехники на государственном уровне прекратилась. Правда, и в это трудное время отечественная робототехника не утратила ранее достигнутого научно-технического уровня. На рубеже 2000 года начали возрождаться и отраслевые, ведомственные научно-технические программы по робототехнике.

Список литературы: 1. Ковалев В. И. История техники: учебное пособие для вузов – 3 изд. – Старый Оскол: ТНТ, 2009 – 360 с. **2.** Зайцев Г. Н. История техники и технологий. Учебник для вузов. – СПб: Политехника, 2007 – 416 с. **3.** Лепихов А. М. Академик Артоболевский: Сборник. – М.: Знание, 1983 – 176 с. **4.** Тимофеев Г. А. Теория механизмов и машин. – М.: Высшее образование, 2009 – 352 с.

ПРОИЗВОДСТВО ИСКУССТВЕННОГО ЩЕБНЯ ДЛЯ ГРАЖДАНСКОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Таскалиев А. Т[1]., Монтаев С. А[1]., Першин В. Ф. [2],.
([1] Западно – Казахстанский аграрно – технический университет имени Жангир хана; [2] Тамбовский государственный технический университет)

Abstract. *For grinding flask selected roller gear grinder. Flask was calcined in a rotary electric furnace at different temperatures for a specially designed regime. On the basis of chert flask, there have been determined its influence on different technological factors and mechanical properties of artificial gravel. There have been conducted a research on the effect of preliminary thermal treatment of raw granules and fractions. According to the results of experimental research, there have been established the optimal temperature thermal treatment of the objects, for chert flask it is 200-300^{0}C.*

В настоящее время щебень производиться из специальных горных пород, которые сосредоточены в отдельных регионах Республики Казахстан. Для регионов Казахстана, где отсутствуют горные породы, природный щебень транспортируется по железной дороге и возникают проблемы [1-6] своевременной доставки щебня и высокие цены, в связи с увеличением транспортных расходов.

Природный щебень обладает рядом недостатков. Во-первых, средняя плотность щебня составляет 2200–2500 кг/м^3, что относиться к категории тяжелых материалов и ограничивает возможности его применения. Во-вторых, природный щебень имеет высокие теплопроводные свойства, следовательно, малоэффективен как теплоизолятор. Целью нашего исследования является разработка технологии производства искусственного щебня на основе кремнистой породы – опоки по технологии керамики, с улучшенными физико-механическими свойствами. Экспериментальные исследования проводились с использованием естественных проб непосредственно с месторождения опоки.

Учитывая тот факт, что кремнистые породы в природном состоянии обладают некоторой сырцовой прочностью, определение их оптимальных составов производилось в разрезе различных фракций, получаемых путем их дробления [7-9]. Для решения поставленной задачи были проведены следующие работы:

- определение и систематизация размера кусков опоки естественного отбора;
- определение естественной карьерной влажности опоки;
- определение наиболее рациональных способов с целью перевода их на требуемые фракции;
- определение физико-механических свойств опоки по фракциям.

Для определения и систематизации размера кусков опоки естественного отбора с карьера экскаватором была отгружена партия опоки с выгрузкой на автосамосвал в количестве 5 000 кг. Затем отобранная партия подвергалась ситовому анализу. Результаты ситового анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты ситового анализа

Размеры фракций, мм	Содержание фракций, %
более 150	15
150 – 100	15
100 – 50	20
40 – 20	30
20 – 10	15
10 – 5	3
менее 5	2

Для определения естественной карьерной влажности опоки, разделенные фракции сушились в сушильном шкафу при температуре 80 – 90 ^{0}С до постоянной массы. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты определения естественной карьерной влажности опоки

Размеры фракций, мм	Продолжительность сушки, час	Влажность, %
более 150	7–8	19–21
50–100	7–8	17–18
100–50	4–5	16–17
40–20	3–4	15–16
20–10	2–2,5	14–15
10–5	1,5–2	13–14
менее 5	1,0	10–12

Для определения наиболее рациональных способов перевода частиц на требуемые фракции проведен анализ оборудования с учетом максимального выхода требуемой фракции с минимальным образованием пылевидных частиц. На начальном этапе анализированы различные дробилки от ведущих производителей России, Украины, Германии и других стран.

В результате выявлено два вида дробилок наиболее приемлемых для перевода кусковой опоки на требуемые фракции. Это валковые зубчатые и щековые дробилки. Учитывая физико-механические свойства опоки и результаты предварительных лабораторных испытаний, был сделан окончательный выбор в пользу валковых зубчатых дробилок.

После дробления опоку с помощью грохота разделили на три фракции

5–10 мм, 10–20 мм, 20–40 мм и подвергли исследованиям по определению физико-механических свойств. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства опоки Таскалинского месторождения по фракциям

Вид дробления опоки	Размер фракций, мм	Предел прочности при сжатии, Мпа	Водопоглащение, %	Пылевидные частицы, %
Валковая зубчатая дробилка	5-10	3,4	31	3-4
	10-20	3,6	30	2-3
	20-40	3,8	29	1-2
Щековая дробилка	5-10	3,2	31	5-7
	10-20	3,5	30	4-6
	20-40	3,7	29	3-5

Анализ полученных экспериментальных результатов показали, что прочность фракций опок при дроблении с использованием щековой дробилки ниже на 6-7% по сравнению с фракциями, измельченными с помощью валковой зубчатой дробилкой. Кроме того, следует отметить при дроблении фракций опок с использованием щековой дробилки, образование пылевидных частиц больше на 40 – 50% больше чем при дроблении валковой зубчатой дробилкой.

Для проведения дальнейших экспериментальных исследований по подготовке образцов на основе кремнистой породы - опоки, породу подвергали дроблению в валковой зубчатой дробилке до образования кусков 5- 40 мм. Затем дробленую породу с помощью лабораторного грохота разделили на 3 фракции: 5-10мм, 10 -20мм, 20-40мм.

Для производства искусственного щебня из кремнистой породы -опоки технологически важным этапом является предварительная термоподготовка образцов, т. к. от параметров термоподготовки зависят конечные свойства и качество выпускаемой продукции. Основными технологическими параметрами термоподготовки являются начальная температура термообработки и её продолжительность. Оптимальным вариантом термообработки является ускоренный обжиг во вращающихся печах [10].

Для проведения экспериментальных исследований образцы кремнистой породы опоки помещались в лабораторную вращающуюся электрическую печь и термообрабатывались при различных температурах по специально разработанному режиму.

Результаты проведенных экспериментальных исследований приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Зависимость прочности при сжатии насыпной плотности исследуемых объектов от скорости подъема и температуры обжига

Наименование исследуемого объекта	Скорость подъема температур, ^{0}С в час	Максимальная температура обжига, ^{0}С	Прочность при сжатии, МПа	Насыпная плотность, кг/м^3
Кремнистая порода-опока	200	950 ± 20	51	735
	300		54	740
	200	1050 ± 20	65	750
	300		68	760

Как показывают результаты исследований скорость подъема температур и максимальная температура обжига значительно влияют на технологические и физико-механические свойства готовых изделий. При скоростном обжиге 200-300^{0}С наблюдается требуемые качество касательно прочности при сжатии и насыпной плотности.

Таким образом, установлена реальная возможность получения искусственного щебня на основе кремнистой породы – опоки по технологии скоростного обжига.

Работа проведена в рамках реализации грантовых исследований по линии Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Список литературы: 1. Изучение физико-механических свойств керамических масс на основе опоки Таскалинского месторождения Западно-Казахстанской области /

Монтаев С. А., Таскалиев А. Т., Жарылгапов С. М., Монтаева А. С. // Вестник НИИСТРОМПРОЕКТА. – Алматы, 2010. №5 (23). – С. 46–49. **2.** Исследование керамической композиции для получения легкого заполнителя / Монтаев С. А., Таскалиев А. Т., Жарылгапов С. М., Монтаева А. С. Щучкин С. В. // Успехи современного естествознания. – Москва, Академия естествознания, 2012. №6. – С. 40–41. **3.** Устинов А. В. Прочность опок при производстве керамического кирпича способом пластического формования // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: Материалы VI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пенза: ПГУАС, 2011. – С. 238–242. **4.** Монтаев С. А. Разработка технологии производства искусственного щебня на основе опоки Западно – Казахстанской области // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: Материалы VII международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пенза: ПГУАС, 2012. – С. 139-143. **5.** Монтаев С. А., Таскалиев А. Т., Жарылгапов С. М. Технология переработки кремнистой породы опоки для получения искусственного щебня // Научно-технический сборник «Новости науки Казахстана», Национальный центр научно-технической информации. Алматы, 2013. – С. 54-59. **6.** Камалов С. А., Ли К. А. География размещения месторождений природных ископаемых Уральской области и их народнохозяйственной применение. Уральск, 1992. – 139 с. **7.** Пат. 27034 Республика Казахстан, Способ получения искусственного щебня / Монтаев С. А., Таскалиев А. Т., Шакешев Б. Т., Нариков К. А., Жарылгапов С. М., Монтаева А. С.; заявитель и патентообладатель Зап.-Каз. Аграр.-техн. ун-т. – №2012/0930.1; заявл. 31.08.2012; опубл. 14.06.2013, Бюл. №6 – 3 с. **8.** Разработка технологических параметров подготовки кремнистой породы – опоки для производства искусственного щебня / Монтаев С. А., Таскалиев А. Т., Монтаева А. С., Монтаева Н. С. // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: Материалы VIII международной конференции молодых ученых. – Пенза: ПГУАС, 2013. – С. 113-115. **9.** Монтаев С. А.,Таскалиев А. Т., Монтаева Н. С. Технология производства искусственного щебня из кремнистой породы - опоки / // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – Алматы, 2014. №2. – С. 86-92. **10.** Технологические свойства опоки для производства искусственного щебня на стадии подготовки / Монтаев С. А., Таскалиев А. Т., Монтаева А. С., Мухамедов Б. К. // Современные наукоемкие технологии. – Москва, Академия естествознания, 2014. №5. – С. 75–76.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНДЕНТОРА С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ В ПРОЦЕССЕ ППД МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Фёдоров В. П., Нагоркин М. Н., Ковалева Е. В., Топорков М. П. *(БГТУ, г. Брянск, Россия)*
тел.:+7(960)555-61-25; E-mail: nagorkin@tu-bryansk.ru

Abstract: *the influence of processing conditions by superficial plastic deformation of the parts surfaces on the main power and dimensional characteristics of the diamond burnishing and roll burnishing is considered in this article.*
Keywords: *modeling, indenter, processing conditions, factors, surface, interaction characteristics.*

К одним из широко распространённых способов обработки ППД относятся алмазное выглаживание неподвижным сферическим индентором из АСПК и накатывание подвижным стальным сферическим индентором в виде шарика из стали ШХ15. Несмотря на, казалось бы, исчерпывающую изученность этих процессов, для проведения практических расчётов их параметров часто не хватает информации по характеристикам контактного взаимодействия инденторов с обрабатываемой поверхностью, в частности, данных о коэффициенте сопротивления пластической деформации металла обрабатываемой заготовки, который необходим при расчёте силы обработки P_z и других.

Известно, что формирование поверхностного слоя детали при обработке ППД зависит от большого числа факторов [1, 3 и др.], основным из которых является контактное давление в зоне обработки, технологически обеспечиваемое выбором радиуса индентора r и нормальной силы его воздействия на поверхность Q при обработке. Эти факторы совместно с величиной шероховатости предварительно обработанной поверхности (например, $Ra_{пр}$) и определяют величину фактического давления в зоне контакта.

Физическое моделирование процесса взаимодействия индентора с обрабатываемой поверхностью при трогании с места до скорости $V = 10^{-2}$ м/мин осуществлялось с использованием специальной установки с низкоскоростным приводом вращения. Схема установки инденторов и измерения силы F_0 представлена на рис. 1.

В процессе физического моделирования исследовалось влияние следующих факторов ТС:

$Ra_{исх}$,– среднее арифметическое отклонение шероховатости поверхности после предварительной обработки, мкм;

$r_{инд}$ – радиус индентора, мм;

Q – сила воздействия индентора на обрабатываемую поверхность, Н;

T – твёрдость обрабатываемого образца, ГПа;

V – скорость движения индентора относительно поверхности образца, м/мин.

Исследования проводились для следующих случаев:

1) алмазный сферический индентор (АСПК) – поверхность образца из стали 45 при трогании с места до $V = 10^{-2}$ м/мин ;

2) то же самое при трогании с места до скорости $V = 10…50$ м/мин;

3) алмазный сферический индентор (АСПК) – предварительно шлифованная поверхность образца из стали 45 при трогании с места до $V = 10^{-2}$ м/мин

4) сферический подвижный индентор – поверхность образца из стали 45 при трогании с места до $V = 10^{-2}$ м/мин;

5) то же самое при трогании с места до скорости $V = 10…50$ м/мин.

Эксперименты проводились при наличии смазки и без неё. В качестве смазки использовалось масло «Индустриальное И-30».

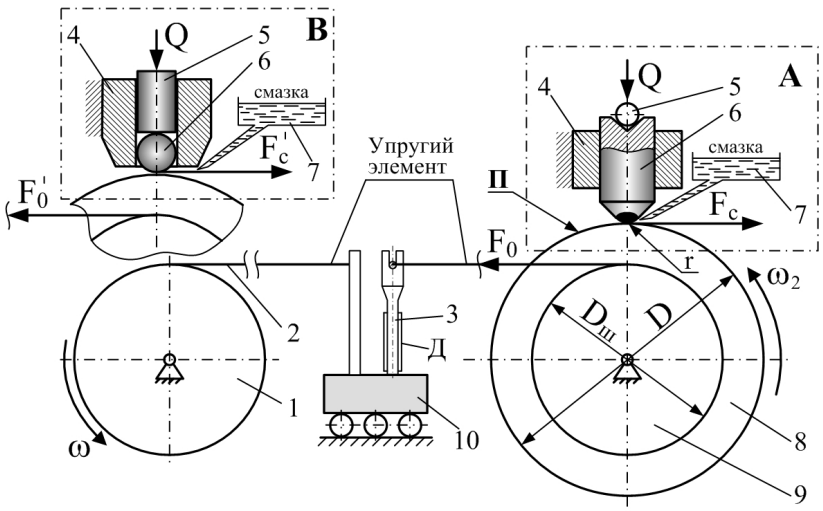


Рис. 1. Схема измерения силовых факторов контактного взаимодействия поверхности П с индентором 6 при обработке ППД алмазным выглаживанием (А) и накатыванием подвижным шариком (В) в момент трогания ($\omega \approx 0$) на моделях: 1 – ведущий шкив низкоскоростного привода; 2 – стальной тросик; 3 – тензобалка равного сопротивления; 4 – направляющие элементы; 5 – передаточные элементы нагрузки; 6 – инденторы; 7 – источники дозированной смазки; 8 – образец с исследуемой поверхностью П; 9 – ведомый шкив; 10 – каретка

Регистрация результатов эксперимента осуществлялась методом тензометрических измерений с использованием датчиков Д, усилителя, блока согласования с компьютером и программы «Осциллограф» [2].

Рассматривались следующие характеристики контактного взаимодействия индентора с обрабатываемой поверхностью (рис. 2):

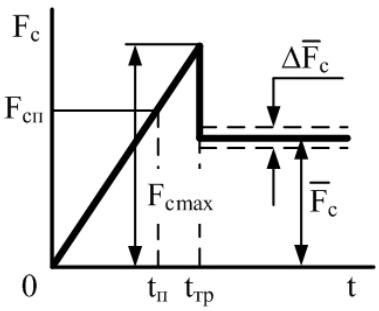


Рис. 2. Силы, возникающие при относительном скольжении тел

– $F_{c\ max}$ – максимальная сила сопротивления; $t_{тр}$ – время трогания;

– $\overline{F}_c$ – сила сопротивления при движении, значение которой в реальных условиях колеблется в пределах $\Delta\overline{F}_c$.

– f_c – коэффициент сопротивления относительного движения с постоянной скоростью, вызванный пластической деформацией поверхностного слоя заготовки;

– f_c' – коэффициент сопротивления при трогании индентора с места.

Исследовались параметры следа остаточной деформации поверхностного слоя образца, который имел форму канавки, сечение которой копирует профиль индентора различной конфигурации и глубины в зависимости от значений исследуемых факторов ($Ra_{исх}$, r, Q, V). В общем случае глубина остаточного следа Y является суммой двух величин ΔY_0 и ΔY_1 (рис. 3).

Анализ типовой картины пластической деформации поверхности под воздействием алмазного индентора показывает, что имеет место вспучивание поверхности на величину ΔY_0 и её вдавливание на величину ΔY_1 относительно линии выступов исходного микропрофиля. Числовые значения этих величин во многом определяются твёрдостью материала обрабатываемой заготовки, высотными параметрами шероховатости поверхности после предварительной обработки и силовыми факторами выглаживания

Для рассматриваемых условий величина ΔY_0 колеблется в пределах от 0,8 до 4,75 мкм, а величина ΔY_1 от 6,5 до 19 мкм. Экспериментально установлено, что величина вдавливания ΔY_1 в зависимости от условий обработки может значительно превосходить величину максимальной высоты исходной шероховатости, что требует дальнейших теоретических обоснований.

За счёт технологического управления величиной ΔY_0 можно методами ППД, в частности алмазным выглаживанием, восстанавливать размеры износившихся поверхностей прецезионных деталей точных соединений.

Помимо указанных характеристик контактного взаимодействия также рассматривались следующие:

– $K_1 = F_c / F_{cmax}$ – коэффициент, показывающий во сколько раз сила трогания индентора больше средней силы сопротивления движению в условиях конкретного опыта;

– $K_2 = \Delta Y_1 / Rmax$ – коэффициент, характеризующий отношение величины вдавливания индентора относительно линии вершин исходного микропрофиля (рис. 3) к максимальной высоте его микронеровностей *Rmax*.

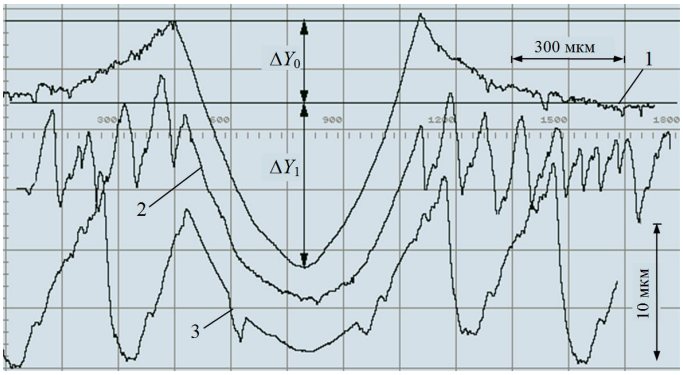


Рис. 3. Профили сечения следов индентора в очагах пластической деформации при АВ: 1 – после шлифования, Ra = 0,2 мкм; 2 – Ra = 1,75 мкм; 3 – после точения композитом 10, Ra = 6,9 мкм

Анализ интервалов варьирования параметров силового взаимодействия индентора с обрабатывающей поверхностью при трогании до скорости $V = 10^{-2}$ м/мин (рис. 4 а, б) показывает, что они изменяются в достаточно широких пределах. Средняя сила сопротивления при движении $\overline{F}_c$ колеблется в пределах от 16 до 63 Н, а коэффициент сопротивления движению f_c – от 0,07 до 0,25. Колебания силы сопротивления $\Delta\overline{F}_c$ в установившемся режиме незначительны.

Процесс взаимодействия индентора с обрабатываемой поверхностью носит достаточно устойчивый характер, на что указывает практически одинаковая и высокая стабильность нахождения характеристик $F_{c\,max}$, f_c, f_c', K_1 в δ-% интервале от их среднего значения. Например, при δ = 0,2 вероятность отклонения от среднего значения составляет $P = \left(|Y| \le \left(\overline{Y} \pm 0{,}2\overline{Y}\right)\right) = 0{,}82$.

Соотношение величин ΔY_1 и $Rmax_{исх}$ характеризуется коэффициентом K_2, значение которого в условиях эксперимента находится в пределах от 0,2 до 2,2.

Надёжность управления параметром ΔY_0 несколько ниже, чем надёжность управления параметром ΔY_1. Это можно объяснить тем, что на формирование величины ΔY_0 большее влияние оказывает исходная шероховатость поверхности, которая носит случайный характер. Этим же объясняется более низкая надёжность управления параметром K_2, так как на его формирование влияет случайная величина $Rmax_{исх}$.

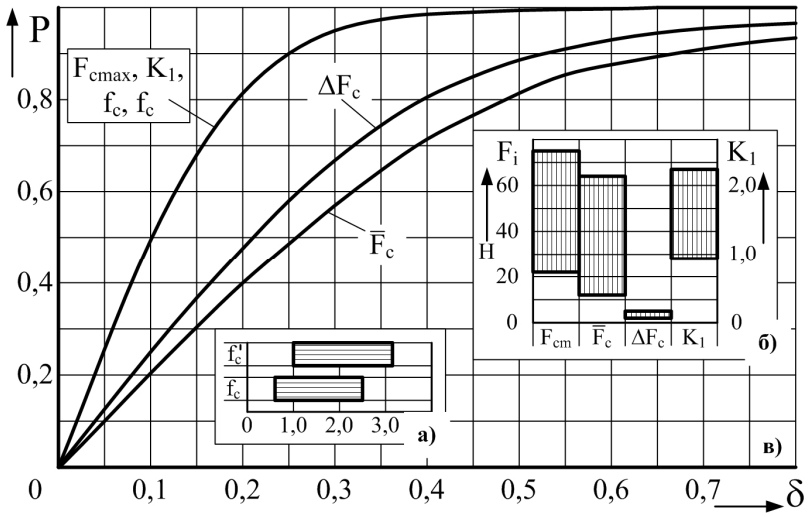


Рис. 4. Интервалы управления (а, б) и стабильность нахождения вероятности P в симметричном δ-интервале (в) триботехнических характеристик контактного взаимодействия «индентор АСПК – сталь 45» при трогании с места индентора до скорости $V \approx 10^{-2}$ м/мин

Коэффициент сопротивления f_c при установившемся относительном движении индентора со скоростью V колеблется в пределах от 0,2 до 0,45. С увеличением скорости f_c, а, следовательно, и средняя сила сопротивления пластической деформации при АВ возрастает. Стабильность поддержания силовых факторов выглаживания в диапазоне скоростей от 11 до 53 м/мин весьма высока (для δ = 0,15 P = 0,85…0,9).

Аналогичные исследования проведены для АВ предварительно шлифованных поверхностей при трогании с места до V = 10^{-2} м/мин. Принципиальных различий между этими результатами и ранее рассмотренными не установлено.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Обработка результатов физического моделирования процесса ППД позволила установить влияние его основных факторов (Q, $Ra_{пр}$, r) на интервалы управления параметрами контактного взаимодействия при ППД сферическим подвижным (шарик) и неподвижным (алмазный индентор из АСПК) инденторами и их величины, а также выявить стабильность их поддержания на заданном уровне.

2. Анализ величин остаточных деформаций в зоне обработки (очаг пластической деформации по теории проф. В. М. Смелянского) позволил выявить возможность управляемого восстановления изношенных поверхностей точных и прецизионных деталей.

Список литературы: 1. Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А. Г. Суслова. – М.: Машиностроение. 2008. – 320 с. **2.** Нагоркин, М. Н. Параметрическая надёжность технологических систем лезвийной и упрочняющей обработки инструментами из синтетических сверхтвёрдых материалов по геометрическим параметрам качества и триботехническим характеристикам поверхностей деталей / Нагоркин М. Н., Федоров В. П., Нагоркина В. В., Ковалева Е. В. // Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. Том VII. Коллективная монография / под ред. А. В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2016. – с. 506–688. **3.** Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А. Г. Суслов, В. П. Федоров, О. А. Горленко и др.; под общ. ред. А. Г. Суслова. – М.: Машиностроение. 2006. – 447 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Федоров В. П.[1], **Анкуда С. Н.**[2], **Хейфец И. М.**[2] *([1]Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия, [2]Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь)*
Тел./Факс: +375 (017) 2840775; E-mail: mlk-z@mail.ru

Аннотация: *В статье на основе аналитических и статистических моделей предлагается метод управления процессами с применением искусственного интеллекта. Рассмотрены особенности управления процессами, образующими комплекс физических, механических и геометрических параметров качества.*
Ключевые слова: *искусственный интеллект, аналитические и статистические модели, моделирование и управление технологическим процессом.*

Введение. Решение актуальных технологических проблем, создание особо сложных технических объектов, включающее моделирование и управление ими, невозможно без использования методов *искусственного интеллекта* [1-4], направленного на определенные задачи при их специфической алгоритмизации [5-8].

В последнее время все более широко распространяется построение и исследование моделей процессов в сложных объектах и способов управления ими на основе имитации реализованных природой механизмов в живых существах, т.е. происходит *биологизация* процессов моделирования и управления. Возможно и совместное применение различных моделей и методов при обработке информации об одном и том же объекте или процессе – в этом состоит сущность *гибридизации*.

Согласие с тем, что любая сколь угодно сложная искусственная модель реального объекта всегда примитивнее и проще оригинала и лишь многоаспектное его изучение с последующей интеграцией получаемых результатов позволит обрести необходимые знания или приблизиться к оптимальному решению, представляет собой основу парадигмы системного подхода.

Искусственный интеллект в системах управления. Привлечение методов искусственного интеллекта предполагает использование интеллектуальных систем управления (ИСУ). В их основе лежит идея построения высокоорганизованных систем автоматического управления, базирующихся на использовании моделей переменной сложности и неопределенности, с выполнением таких интеллектуальных функций, присущих человеку, как принятие решений, планирование поведения, обучение и самообучение в условиях изменяющейся внешней среды.

Обучение – способность системы улучшать свое поведение в б у д у щ е м, основываясь на прошлой экспериментальной информации о результатах взаимодействия с окружающей средой. Тогда *самообучение* – обучение системы б е з в н е ш н е й корректировки, т.е. без указаний «учителя». В результате *интеллектуальная система управления* – такая система, в которой знания о неизвестных характеристиках управляемого объекта и окружающей среды формируются в процессе обучения и адаптации, а полученная при этом информация используется в процессе автоматического принятия решений для улучшения качества управления [7, 8].

Необходимый признак ИСУ – наличие базы знаний, содержащей сведения, модели и правила, позволяющие уточнить поставленную задачу управления и выбрать рациональный способ ее решения.

Различным уровням интеллектуальности соответствуют ИСУ, интеллектуальные «в большом» и «в малом» [8].

Интеллектуальные «в большом» – организованы и функционируют в соответствии с пятью принципами:

- взаимодействия с реальным внешним миром через информационные каналы связи;

- открытости системы для повышения интеллектуальности и совершенствования собственного поведения;

- наличия механизмов прогноза изменения внешнего мира и собственного поведения системы в изменяющихся условиях;

- наличия многоуровневой иерархической структуры, соответствующей правилу повышения интеллектуальности и снижения требований к точности моделей по мере повышения уровня иерархии в системе;

- сохраняемости функционирования (возможно, с некоторым снижением качества) при разрыве связей или потере управляющих воздействий от высших уровней иерархии.

Интеллектуальные «в малом» не удовлетворяют перечисленным принципам, но используют при функционировании знания как средство преодоления неопределенности входной информации, описания управляемого объекта или его поведения.

Экспертные системы имеют дело с задачами искусственного интеллекта на верхнем уровне, работая с символической информацией для получения выводов об окружающей среде и формирования соответствующих управленческих решений с учетом сложившейся или прогнозируемой ситуации. Они накапливают эвристические знания и, манипулируя ими, пытаются имитировать поведение эксперта.

Экспертный регулятор – это объединение традиционного регулятора (контроллера) и экспертной системы, образующей верхний, супервизорный уровень управления и включающей следующие подсистемы:

- подсистема идентификации и прогноза, обеспечивающая нахождение математической модели объекта по соотношению между его выходными и входными переменными в процессе функционирования;

- база данных, содержащая непрерывно обновляемые предыдущие, текущие, прогнозные данные о характеристиках объекта и внешней среды, а также информацию о граничных значениях соответствующих параметров;

- база знаний, содержащая информацию о специфике работы объекта, целях, стратегии и алгоритмах управления, результаты идентификации и прогноза характеристик объекта;

- подсистема логического вывода, осуществляющая выбор рациональной для данной ситуации структуры и параметров регулятора, а также алгоритмов идентификации и прогноза;

- подсистема интерфейса, организующая интерактивный режим по наполнению базы знаний с участием эксперта (режим обучения) и обеспечивающая общение с пользователем-оператором.

Выполнение функций построения динамической модели объекта и его среды, а также поддержания контакта с внешним миром (датчиками, системами управления базами данных, регулятором) позволяет относить экспертную систему к классу динамических (активных), или экспертных систем реального времени [6, 8].

Структурный анализ и синтез технологических систем. Основу технологий автоматизированного проектирования и производства, контроля и управления составляет метод аналитического синтеза замкнутых систем управления, и полученные с его помощью алгоритмы управления, позволяют обеспечить на этапе синтеза заданные характеристики процессов управления, а на этапе моделирования заданные, либо достижимые показатели качества [9, 10].

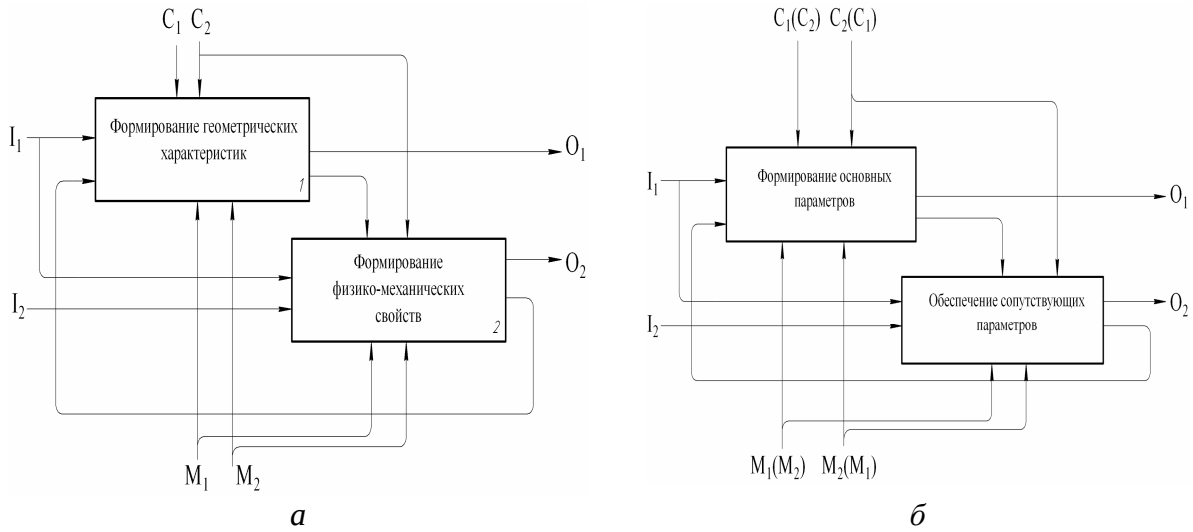
Технологии автоматизированного проектирования и управления по составу, структуре, форматам входных данных и представленных результатов в определенной степени могут рассматриваться как разновидность SADT-технологии (SADT – *Structured Analysis and Design Technique*) [11]. В наиболее детальной формулировке назначением SADT- технологии являются проектирование и управление процессами, состоящими из

последовательности многофакторных воздействий и операций, характеризуемых совокупностью оптимизируемых параметров качества.

SADT-диаграмма начального «нулевого» уровня (A0), сформированная на основании традиционного подхода к проектированию процессов, предполагает наличие четырех основных функций (блоков): управление проектированием (A1), разработка варианта технологического процесса (A2), оценка его себестоимости (A3) и оценка его качества (A4).

Наиболее сложной для детализации является функция (A2) по разработке технологического процесса [12, 13]. Результатом декомпозиции этого блока является SADT-диаграмма уровня A2, в которой представлены как процессы формирования совокупности математических моделей, моделирующего программного комплекса, так и собственно процесс моделирования. При разработке технологии проектирования подробному анализу подвергаются соответствующие функции A21, A22 и A23, а результатом их структуризации являются SADT-диаграммы соответствующего уровня.

В SADT-диаграмму уровня A23 входят: ввод краевых условий; моделирование программным комплексом; корректировка условий процесса и оптимизация моделирования; управление параметрами качества. Моделирование управления параметрами качества технологического процесса (блок A234) рассмотрим на примере операции комбинированной обработки детали [12, 14].



а *б*

Рис. 1. SADT-диаграммы уровня A234 (*а*) и A2341(A2342) (*б*) для операции комбинированной обработки. Технологические факторы: C_1 – кинематические и C_2 – термомеханические. Исходные параметры: I_1 – геометрические $Y_3 = Sm$, $Y_4 = Ra$ и I_2 – физико-механические $Y_1 = HRC$, $Y_2 = U_н$. Мало изменяющееся характеристики: M_1–размещение концентрированного источника энергии относительно обрабатываемой поверхности и M_2 – мощность источника. Выходные параметры качества: O_1 – геометрические (*Sm*, *Ra*) и O_2 – физико-механические (HRC, $U_н$).

Согласно полученным из статистической модели данным, при структурном синтезе процесса комбинированной обработки [13, 15], для детализации на SADT-диаграмме технологической операции целесообразно разделять группы физико-механических и геометрических параметров качества (рис. 1,а).

В результате проведенного статистического анализа полученных многофакторным планированием экспериментов моделей [12, 15], установлено, что для управления геометрическими параметрами следует использовать кинематические факторы и рационально размещать инструмент, а для управления физико-механическими

параметрами – термомеханические факторы и регулировать мощность концентрированного источника энергии (рис. 1,б).

Вместе с тем, необходимо отметить, что изменение условий проведения технологической операции в связи с выпуском других деталей, выбором новых обрабатываемых материалов, прогрессивных инструментов и других причин, потребует проведения новых экспериментов и накопления экспериментальных данных для построения статистических моделей. Поэтому для управления процессами в динамических системах в реальном времени требуются методы искусственного интеллекта.

Интеллектуальное управление технологической системой. Наибольшее распространение при проектировании ИСУ получили методы *интеллектуального управления* (ИУ), которые относятся: экспертные и нечеткие системы; нейронные сети и генетические алгоритмы [7, 8].

Нейронные сети (НС)– раздел искусственного интеллекта, для обработки сигналов в котором используются явления, аналогичные явлениям, происходящим в нейронах живых организмов. Их важнейшей особенностью является возможность параллельной обработки информации всеми звеньями. Громадное количество межнейронных связей позволяет значительно ускорить процесс обработки информации и сделать возможным преобразование сигналов в реальном времени. Большое число межнейронных связей обеспечивает устойчивость НС к ошибкам: в этом случае функции поврежденных связей берут на себя исправные линии и деятельность сети не претерпевает существенных возмущений.

Основу каждой нейросети составляют относительно простые, в большинстве случаев – однотипные, элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга. Под нейроном будет подразумеваться искусственный нейрон, то есть ячейка нейросети. Он обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом. Выход нейрона есть функция его состояния – «функция активации», или «передаточная функция» нейрона. Одним из важных факторов является способ ее обучения. Выделяют два подхода: обучение с учителем и обучение без учителя. При обучении с учителем предполагается, что, помимо входных сигналов, известны также и ожидаемые выходные сигналы нейрона. Если такой подход невозможен, следует выбрать стратегию обучения без учителя. Подбор весовых коэффициентов в этом случае проводится на основании либо конкуренции нейронов между собой, либо с учетом корреляции обучающих и выходных сигналов [8].

Одно из самых важных свойств НС состоит в способности к обучению и к обобщению полученных знаний. Сеть обладает чертами искусственного интеллекта. Натренированная на ограниченном множестве обучающих выборок, она обобщает накопленную информацию и вырабатывает ожидаемую реакцию применительно к данным, не обрабатывавшимся в процессе обучения.

Генетические алгоритмы (ГА) – большая группа методов адаптивного поиска и многопараметрической оптимизации, связанная принципами естественного отбора и генетики. Генетические алгоритмы – это методы случайного глобального поиска, копирующие механизмы естественной биологической эволюции. ГА оперируют с популяцией оценок потенциальных решений (индивидуумов), генерируя по принципу «выживает наиболее приспособленный» все более близкие к оптимальному решения. Процесс такой последовательной генерации приводит к эволюции популяций индивидуумов, которые лучше соответствуют окружающей среде по сравнению с предыдущими.

ГА отличаются от обычных методов оптимизации рядом обстоятельств. В частности, они представляют собой метод параллельного поиска глобального экстремума, использующий в процессе поиска сразу несколько кандидатов на решения (закодированных точек), которые образуют развивающуюся по определенным случайным законам популяцию. Используемые при этом механизмы позволяют отсеять неподходящие варианты и выделить, а затем и усилить положительные качества вариантов, наиболее полно отвечающих поставленной цели. Целевыми функциями могут быть: ошибка идентификации и прогноза в текущий или будущий момент времени; один из показателей качества процесса (функционал); ошибка обучения НС – рассогласование между выходными объекта и эталонной модели системы [8].

Применение ГА охватывает не только класс традиционных задач оптимизации, но и быстро распространяется на задачи управления сложными динамическими объектами в условиях неопределенности [6, 8].

Выводы. Системный подход позволяет моделировать и управлять технологическим процессом, представленным в виде отдельных блоков, что существенно упрощает описание сложных явлений, не упуская из вида пространственно-временную структуру моделируемой системы, характер связи между отдельными уровнями и подсистемами. В результате сегодня можно утверждать, что биологизация и гибридизация составляют основные тенденции развития систем управления с применением искусственного интеллекта.

Список литературы: 1. Современная математика для инженеров/ С. Лефшец, Р. Беллман, Д. В. Грин и др. Под ред. Э. Ф. Беккенбаха. — Москва: Изд. Иностранной литературы, 1958. — 500 с. **2.** Математика в современном мире/ Р. Курант, Ф. Дж. Дейвис, М. Клайн и др.— Москва: Мир, 1967.— 208 с. **3.** Сигорский В. П. Математический аппарат инженера. — Киев: Техника, 1977. — 768 с. **4.** Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики. — Москва: Энергоатомиздат, 1987. —496 с. **5.** Ящерицин П. И., Махаринский Е. И. Планирование эксперимента в машиностроении. — Минск: Высшая школа, 1985. – 286 с. **6.** Миттаг Х-Й, Ринке Х. Статистические методы обеспечения качества. – Москва: Машиностроение, 1995. – 616с. **7.** Суслов А. Г., Горленко О. А. Экспериментально-статистический метод обеспечения качества поверхности деталей машин.– Москва: Машиностроение-1, 2003. – 303с. **8.** Аверченков В. И., Федоров В. П., Хейфец М. Л. Основы математического моделирования технических систем.– Москва: Флинта, 2011. – 271 с. **9.** Информационные технологии в наукоемком машиностроении : компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / под общ. ред. А. Г. Братухина. – Киев : Техника, 2001. – 728 с. **10.** Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под общ. ред. М. Л. Хейфеца и Б. П. Чемисова. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268 с. **11.** Окулесский В. А. Функциональное моделирование – методологическая основа реализации процессного подхода.– Москва: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2001.– 280 с. **12.** Хейфец, М. Л. Проектирование процессов комбинированной обработки.- Москва: Машиностроение, 2005. –272 с. **13.** Технологические основы управления качеством машин / А. С. Васильев, А. М. Дальский, С. А. Клименко и др.– Москва: Машиностроение, 2003. – 256с. **14.** Теоретические основы проектирования технологических комплексов / Под общ. ред. А. М. Русецкого /А. М. Русецкий, П. А. Витязь, М. Л. Хейфец и др.– Минск: Беларус. навука, 2012. – 239 с. **15.** Менеджмент качества предприятий машиностроения / В. Н. Корешков, Н. А. Кусакин, Ж. А. Мрочек, М. Л. Хейфец. – Минск: Экономика и право, 2003. – 224с.

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДИ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕЕ: ОТ ДРЕВНЕГО МИРА ДО СОВРЕМЕННСТИ

Цыркин А. Т. *(Луганский филиал кафедры технологии машиностроения ДонНТУ, г. Луганск, ЛНР)*
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; *E-mail:* tm@fimm.donntu.org

Аннотация: *Рассмотрены способы получения меди, начиная с древнего мира до современности. Показана сложность технологии получения меди в Древнем мире. Приведены современные способы получения меди. Изложены свойства меди и области ее применения в современной технике.*
Ключевые слова: *медь, самородная медь, медная руда, свойства, горн, тигель, шахтная печь, штейн, шлак.*

Одним из первых металлов, из которого человек начал изготавливать орудия производства, предметы быта, оружие, была медь. Освоение производства изделий из меди привело к расширению технических возможностей многих отраслей производства, развитию земледелия и скотоводства, заложило основы дальнейшего прогресса цивилизации. Существует ряд версий, как происходило освоение получения меди и производства из нее изделий [1–3].

Прежде всего, необходимо отметить, что история – наука неточная. Методы точных наук давным-давно отработаны и исключают бесплодные умствования, основываясь на жестких правилах эксперимента. В исторической науке невозможно установить абсолютную истину. Особенно это касается событий связанных с становлением цивилизации, освоением производства металлов. Существует, конечно, набор неких фундаментальных фактов, которые из-за своей масштабности либо обилия достоверных документов таковой истиной, безусловно, считаться могут. Кроме того, поиску истины способствуют эксперименты, имитирующие технологии древности [4]

Согласно существующих взглядов металлы появились у человека не вдруг, а постепенно входили в его жизнь в течение длительного периода. В древнекаменном веке, отстоящем от настоящего времени на сотни тысяч лет, человек начал применять орудия из камня. За многие тысячелетия приемы обработки камня постепенно совершенствовались. Вероятно, человеку попадались куски чистых металлов (самородки) золота и меди, которые наши далекие предки принимали за обычные камни и обрабатывали их так же, как простые камни – по ним ударяли другими камнями, дабы изменить их форму и размер. Оказалось, что такие «камни» не раскалываются на части, но отлично деформируются [1].

Золото использовалось только для изготовления украшений и предметов культа. Но освоенная технология была использована для получения изделий из меди. Медь же с самого начала стала важным материалом для изготовления орудий труда, а затем и оружия.

Золото и серебро в виде самородков попадались нашим предкам довольно редко, а медь значительно чаще, причем иногда в виде весьма солидных размеров. Так, в середине прошлого века в районе Великих озер (Северная Америка) был найден сросток крупных медных глыб массой примерно 400 тонн [5]. На поверхности металла сохранились следы каменных топоров, с помощью которых еще во времена неолита человек отбивал от глыб куски меди, чтобы использовать ее для своих нужд. А нужда в этом металле была – и немалая. По мнению ученых-египтологов, во втором тысячелетии до н. э. металлургия меди достигла в Египте солидных масштабов: в стране в то время действовало не менее тысячи медеплавильных печей. Однако затем, как свидетельствуют многочисленные исторические документы, производство этого металла резко сократилось. Причиной послужило то, что используемые в качестве топлива для меде-

плавильных печей пальмы и белые акации, росшие по берегам в дельте Нила, были полностью вырублены и сожжены. Потеря оказалась невосполнимой, и выплавка меди сошла на нет [5] .

Медь – металл розовато-красного цвета, плотность меди 8,95 г/см^3, температура плавления 1083°С [6]. На воздухе при наличии влаги и углекислого газа медь медленно окисляется, покрываясь пленкой, так называемой патиной зеленого цвета, которая является щелочным карбонатом меди $(CuOH)_2CO_3$. Эта пленка в определенной мере защищает медь от дальнейшей коррозии. Чистая медь обладает высокой электрической проводимостью (на втором месте после серебра), теплопроводностью, пластичностью, коррозионной стойкостью в пресной и морской воде, а также в ряде химических сред. Механические свойства меди зависят от способа получения и обработки (Таблица) [6].

Таблица 1 – Механические свойства меди

Свойства	Состояние		
	Литое	Деформированное	Отожженное
Предел прочности при растяжении, МПа	160	340–450	220–245
Относительное удлинение, %	25	4–6	45–55
Твердость по Бринеллю, НВ	30	90–110	35–55

В начале единственным методом обработки меди была холодная ковка, вслед за которой последовало освоение ковки горячей, а затем была освоена технология выплавки меди из руд и получения изделий, отлитых в открытых формах. Человек научился упрочнять медь ковкой, усложнилась литейная техника, появляется литье в разъемные и составные формы. Изготовлению предмета из металла предшествовал долгий путь — поиски рудных месторождений, добыча руды, плавка в плавильных ямах либо печах, разливка в изложницы; все это требовало целого комплекса специальных знаний и навыков. Со многими неудачами и трудностями столкнулись и современные экспериментаторы, когда попытались повторить некоторые технологические приемы древних металлургов и литейщиков [4].

Из меди стали изготавливать, сочетая литье с ковкой, различную бытовую утварь и ювелирные украшения**.** Способы обработки меди, состоящие из разных сочетаний литья и ковки, варьировались и шлифовались на протяжении веков.

Изучая внутреннее строение металлов, т. е. структуру, методами металлографического анализа можно установить происхождение металла и способ его получения. Рассматривая излом металлического предмета, можно даже невооруженным глазом заметить, что он неоднороден и состоит из множества кристаллов и зерен. Иногда зерна крупные и легко различимые, иногда настолько мелкие, что увидеть их удается только при значительном увеличении. Характер зерен – их форма, размеры, взаимное расположение – определяется, прежде всего, природой исходного металла.

В металлах самородных, в том числе и в меди, вырастают огромные зерна, имеющие форму геометрически правильных полиэдров. Местами зерна начинают как бы раздваиваться, образуя так называемые «двойники» – узкие, длинные кристаллы, располагающиеся по границам основного зерна. Если такой металл, например, медный самородок, подвергнуть холодной ковке, то его полиэдры раздробятся и вытянутся длинными волокнами по направлению ковки. При этом твердость металла увеличивается. Если после холодной ковки его нагреть, то вновь вырастут полиэдры и двойники, но даже при самом сильном нагреве их размеры не достигнут свойственной самородкам величины. Этот прием термообработки называют отжигом; его используют, в том числе и древими металлургами, для разупрочнения деформируемого металла, для снятия

возникающих в нем напряжений и возвращения ему прежних пластических свойств, необходимых для продолжения ковки.

Если медь расплавить, то после остывания кристаллы вновь приобретут вид полиэдров, но их очертания станут округлыми, плавными. Потому полиэдры литого металла невозможно спутать с полиэдрами деформированного [6].

Применяя методы металлографического анализа, другие методы контроля металлов, позволили установить технологию получения ряда изделий древних металлургов найденных при археологических раскопках.

В 1968 г. французской археологической экспедицией у местечка Рамад неподалеку от Дамаска в Сирии, был найден сильно окислившийся предмет, сделанный из меди [7]. Тщательная расчистка его от коррозии показала, что первоначально изделие имело вид продолговатой подвески, входившей в состав ожерелья или нашивавшейся на одежду. Вдоль подвески проходило отверстие, в котором сохранились остатки продетой в него нити, судя по строению растительных волокон, сделанной из джута.

Металлографические исследования показали, что это изделие выполнено из самородного металла без дополнительной обработки. Структура металла состоит из крупных зерен, имеющих форму геометрически правильных полиэдров. Местами зерна образуют так называемые «двойники» – узкие, длинные кристаллы, располагающиеся по границам основного зерна. Такая структура характерна для самородных металлов, в том числе и для меди. В микроструктуре металла включений не обнаружено. Проведенный химический анализ показал, что медь имеет высокую чистоту и содержит только следы мышьяка.

По заключению французских ученых, для изготовления подвески был использован маленький медный самородок, не подвергавшийся никакой особой формующей обработке. К нему отнеслись как к разновидности камня, просто просверлили кремневым сверлом, чтобы получить отверстие для подвешивания, и не подправили даже холодной ковкой, которая, без сомнения, оставила бы свои следы в строении металла. Таким же способом сверлились каменные цилиндры и каменные бусы, в изобилии встреченные во всех слоях Телль Рамада.

В конце 60-х годов прошлого столетия в поселении Али Кош на юго-западной оконечности Иранского плато, в долине Дех-Луран американской экспедицией была найдена удлиненная трубчатая подвеска. Как показали металлографические исследования технические приемы ее изготовления оказались более совершенными. Хотя весь металл оказался изъеденным коррозией, тем не менее, сам характер ее скоплений позволил «прочесть» исходную структуру изделия, состоявшую из удлиненных волокон, характерных для холодной ковки. Но особенно важным было открытие в толще зеленовато-красных окисных образований ярко сверкавших в поле зрения микроскопа частиц серебра. Известно, что включения зернышек природного серебра часто сопутствуют медным самородкам. Не оставалось никаких сомнений, что подвеска из Али Кош была свернута из тонко прокованной вхолодную медной пластины, полученной из самородка [7].

Около двухсот мелких медных бусин, трубчатых пронизок, пластинчатых подвесок, единичных шильев и рыболовных крючков откованных из самородной меди собрано археологами в районах Ближнего Востока, протянувшихся от Анатолии и Восточного Средиземноморья на западе до Иранского нагорья на востоке.

Получение меди из руды и возникновение в связи с этим литейного дела открыли новые пути в развитии человеческого общества.

Предполагается, что человека привлек красноватый цвет самородков, которые почти всегда залегают в верхней зоне рудной жилы, или зоне окисления [1–3, 7]. В ней кроме самородков концентрируются расцвеченные яркими красками окисленные медные минералы: зеленый малахит, лазурный азурит, красный куприт. Именно окислен-

ные руды и самородную медь человек сначала расценивал как красивые камни, из которых можно было вытачивать бусы и другие украшения. Распознать новые свойства этого материала, скорее всего, помог случай. Возможно, что куски самородной меди или малахита попали в огонь, расплавились и при остывании приняли новую форму.

У античных авторов – Диодора Сицилийского, Страбона, Лукреция Кара – открытие выплавки металлов связывается с огромным лесным пожаром. Возможно, при лесном пожаре в обогащенной рудами местности медные минералы могли с поверхности восстанавливаться, а полученный металл оплавляться. Но даже если человек заметил это, он не сразу пришел к мысли об искусственной плавке меди. Он лишь установил причинную связь между сильным жаром и изменением вида и свойств зеленых «камней», которые превращались в красную медь. Это подготовило следующий шаг по пути овладения металлом. Видимо, он заключался в том, что человек собрал сразу много таких камней и положил их в костер. Мог ли костер стать первым примитивным «горном»?

Температура плавления меди 1083,4^{o}С. Чтобы расплавить самородную медь до жидкого состояния ее нужно нагреть на температуру не менее 1100^{o}С, тогда как температура, достигаемая в обычном костре, не превышает 800^{o}С [8]. Анализ процессов выплавки меди из руды древними металлургами, результаты экспериментов, выполненные в наше время рядом исследований по получению меди в костре, археологические находки, также свидетельствуют, что получить в костре медь из руды не возможно [9 - 11].

Положительный результат достигается лишь в том случае, если используется тигель – хотя бы в виде обычного горшка [9]. Таким образом, медеплавильное производство возникает при переходе от костра к горну [10, 11].

Археологические раскопки показали, что древние металлурги строили свои печи (горны) из обычной глины (иногда укрепляемой с помощью каркаса из веток деревьев или кустарников) или смеси камня с глиной. В такую печь помещалось топливо – древесный уголь, который получали посредством обжига обычной древесины [1, 2].

Первоначало устройства для получения меди представляли собой небольшую, углубленную в землю яму, окруженную плотно уложенными камнями. Чаше всего такого рода устройство сооружалось на вершинах или склонах гор с подветренной стороны. Это обеспечивало естественное повышение температуры ветром через специально оставленное в каменной кладке отверстие. Условия плавки в них были таковы, что вынуждали металлургов всякий раз разрушать их, чтобы извлечь готовый металл.

Изобретение искусственного дутья явилось важным шагом человека по пути овладения металлургией. Оно открыло широкие возможности для резкого увеличения получения меди, которую удавалось теперь и выплавить в больших количествах, и расплавить, доведя до жидкого состояния. Только в этих условиях человек оказался на пороге освоения литья, необходимого для изготовления крупных и сложных по форме ударных орудий [1, 2, 9].

В горны новой конструкции воздух нагнетался при помощи мехов, которые делались из кожаного мешка. С одной стороны в нем прорезалась узкая длинная щель, служившая для притока воздуха. Она открывалась и закрывалась при помощи пришитых к ее краям деревянных рукоятей. С другой стороны к мешку прикреплялась деревянная трубка, конец которой соединялся с глиняным соплом. Оно вставлялось в отверстие печи и предохраняло трубку от огня. В соответствии с движением рук мастера-металлурга меха то освобождались от воздуха, выбрасывая его через сопло в печь, то вновь наполнялись им. Наряду с такого рода ручными мехами широко использовались в древности и более совершенные ножные меха. Судя по их изображениям в росписях древнеегипетских гробниц середины II тыс. до н. э., выталкивание воздуха из их резервуаров производилось ногами, а наполнение – руками, видимо, с помощью веревок.

При этом чтобы обеспечить непрерывный приток воздуха, работали совместно парой, а иногда и двумя парами мехов.

Непосредственно плавка металла осуществлялась в тигле – обычном керамическом сосуде, который помещался на горящие угли или прямо в их массу. В тигель предварительно загружалась шихта – специально подготовленная смесь, которая включала в себя кусочки размолотой руды или смеси разных руд, тот же древесный уголь и флюсы. Древесный уголь был необходим для обеспечения восстановительного режима протекающих в тигле химических реакций, а флюсы – органические и/или неорганические добавки – для снижения температуры плавления, для повышения текучести выплавляемого металла, а также для связывания лишних примесей, которые неизбежно присутствуют в руде. Примеси, соединяясь с веществом флюсов в процессе плавки, образуют шлак, плотность которого меньше плотности выплавляемого металла, в результате чего шлак всплывает вверх, и его легко отделить от полученного металла по окончании процесса. На первых этапах шлак удалялся простым механическим способом (ударами молотка) после остывания и раскалывания тигля, а позднее было освоено и удаление еще расплавленного шлака, что позволило сохранять тигель в целостном виде и использовать его неоднократно.

При горении древесного угля в условиях дефицита кислорода O_2 углерод C (основной химический элемент в составе древесного угля) окисляется не до конца и образует оксид углерода CO, что обеспечивает восстановительную среду процесса, поскольку оксид углерода является активным восстановителем. Это свойство и используется для восстановления металла из его соединений в руде:

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$

В природе существует много разновидностей руды, которая содержит медь. Считается, что первыми наши предки освоили выплавку меди из оксидных руд – например, куприта (Cu_2O), а также карбонатных руд ($CuCO_3$) – например, малахита. Соответствующие химические реакции в этих процессах выглядит следующим образом:

$$Cu_2O + CO \rightarrow 2Cu + CO_2$$
$$CuCO_3 + CO \rightarrow Cu + 2CO_2$$

Лишние примеси, среди которых было немало оксида кремния SiO_2 (то есть обычного песка), представлявшего собой весьма тугоплавкое соединение, удалялись посредством добавки гематита, содержащего оксид железа Fe_2O_3. В ходе химических реакций, протекавших в шихте, образовывался фаялит ($FeO \cdot SiO_2$) – соединение оксидов железа и кремния – уже легкоплавкое вещество, которое переходило в шлак. Химические реакции этого процесса, проходившего в две стадии, выглядят следующим образом:

$$Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2FeO + CO_2$$
$$FeO + SiO_2 \rightarrow FeO \cdot SiO_2$$

Чуть позже, как считается, была освоена выплавка меди и из сернистых руд, то есть руд, в которых имелись соединения меди с серой. Типичный пример такой руды – халькопирит ($CuFeS_2$).

Как полагают историки, сернистые руды подвергались предварительному обжигу, в процессе чего сернистые соединения меди превращались в ее оксиды, которые далее подвергались обычной плавке с восстановлением металлической меди по представленной выше схеме химического процесса [1, 2, 9].

Для того, чтобы получить требуемый металл древнему металлургу было необходимо [9] :

- подготовить древесный уголь, что является достаточно трудоемким и сложным процессом;

- отличить по внешним признакам требуемую руду, добыть и доставить к печи;

- механически отделить руду от явных примесей, размельчить до кусочков небольшого размера;

- подобрать флюс, обладающий необходимыми требованиями, и подготовить его к плавке;

- подготовить шихту – смешать в нужных пропорциях кусочки руды с флюсами;

- обеспечить поступление в печь воздуха в необходимом режиме либо за счет естественной тяги, либо с помощью искусственного поддува;

- поддерживать необходимый для выплавки металла температурный режим в печи;

- получить в тигле восстановительную среду с надлежащим количеством оксида углерода CO;

- создать условия для удаления из печи продуктов горения, обеспечивающих рациональный тепловой режим;

- определять, «вслепую», момент окончания плавки;

- выдержать необходимый режим охлаждения выплавленного металла.

Таким образом, получается более десятка самых разнообразных требований, которые должен был выполнять древний металлург для получения нужного ему результата.

Однако даже при тигельной плавке в печи не так-то просто обеспечить необходимые восстановительные условия. Эксперименты, результаты которых опубликованы в работе [10], показали, что в тигле получается куприт (оксид, Cu_2O), в котором были заключены корольки меди различных размеров. При использовании окисленной руды смешанной с древесным углем, частицы руды неплохо восстанавливались, но уголь мешал им соединяться в слиток. Выбрать их впоследствии из шихты было довольно сложно.

Лучшие результаты получились при использовании окисленных руд вместе с вторичными сульфидами или просто вторичных сульфидов. В этом процессе, сера выступает в роли восстановителя, как показано в следующем уравнении:

$$8CuCO_3 + Cu_3AsS_4 \rightarrow Cu, As + 4SO_2 + 8CO_2$$

Сера окисляется и выводится в виде газа SO_2. Выгорание серы приводит к повышению температуры, и она забирает лишний кислород. Используя подобный состав шихты, корректируя расположение сопел относительно шихты и регулирование потоком воздуха, подводимого в зону плавки, повысив качества угля, экспериментаторам удалось получить два небольших слитка меди [10].

Полученный результат в опытах с использованием сернистых руд (вторичных сульфидов), согласовывается с выводами американских экспериментаторов и подкрепляется результатами аналитических исследований отходов древнего металлургического производства, обнаруженных в Чили [9].

Таким образом, процесс освоения технологии получения меди и изделий из нее осуществлялся постепенно в течение длительного времени.

Есть и другое мнение. Сопоставляя археологические находки, результаты экспериментов, выполненных современными исследователями, сложность технологии получения меди в тигле, а также то, что древний человек каким-то образом освоил сразу и вдруг довольно сложную, но при этом весьма эффективную технологию получения медных сплавов из руды, причем в районах, как Старого, так и Нового Света, автор работы [9] пришел к выводу – древние металлурги получили уже готовые технологии и рецептуры из какого-то единого источника знаний. Автор отмечает, что абсолютно все

древние легенды и предания единодушно утверждают – получать и обрабатывать металлы, изготавливать гончарные изделия и заниматься земледелием обучили людей некие могущественные боги.

Удивительно широкий круг известных древним мастерам литейных и кузнечных операций. Они умело использовали различные по конструкции открытые и закрытые литейные формы: вертикальные и горизонтальные, монолитные и разъемные, со вставным стержнем и без него. К примеру, с успехом был освоен сложный прием отливки крупных изделий в закрытых составных формах. Так, был найден топор-кайло полученный в трехсторонней закрытой форме со вставным стержнем для формовки втулки.

Древние мастера освоили такие технологические приемы, как выколотка из медного диска таза по деревянному болвану, получение проволоки волочением. Первые волоки были получены из камня. Протягивание проволоки производили вручную. В последующем основным волочильным инструментом была доска с просверленными в ней отверстиями различного диаметра. Последовательно протаскивая заготовку через несколько отверстий с уменьшающимся диаметром, получали проволоку нужного размера. В Древнем Египте, в Древней Греции и Риме была известна техника чеканки [12].

Открытие процессов плавления и литья привело к созданию многих новых, неизвестных ранее орудий – мотыг, комбинированных топоров-молотков, топоров-тесел. Благодаря пластичности меди ковкой из нее можно было получить очень тонкие и острые лезвия [7]. Поэтому такие важные для древнего человека изделия, как иглы, шилья, рыболовные крючки, ножи, кинжалы, наконечники стрел и копий, изготовленные из металла, оказались более совершенными, чем сделанные из камня и кости. Высокие рабочие качества этих орудий определялись не только сложностью формы, но в равной мере и твердостью лезвий. Явные признаки преднамеренного упрочнения обнаружены в микроструктуре долот и топоров-молотков. Ковкой их твердость доведена до показателей, близкой к твердости железа. При этом рост хрупкости древние металлурги устраняли нагревом обрабатываемого изделия [7].

Переход к использованию орудий из металла вызвал не только общий рост производительности труда, но и расширил технические возможности многих отраслей производства. Стала доступна более совершенная обработка дерева. Медные топоры, тесла, долота, а позднее пилы, гвозди, скобы позволили выполнять такие сложные работы по дереву, которые ранее были просто неосуществимы. Эти работы способствовали улучшению приемов домостроительства, появлению выпиленного или вырезанного из дерева колеса, цельнодеревянной сохи [7].

И в Средние века, и в эпоху Возрождения объемы добычи меди неуклонно росли, совершенствовались способы ее получения и изделий из нее. Конструкция печей сохраняла форму вертикальных, шахтообразных сооружений квадратных, круглых или овальных в плане.

Шихта, состоящая из агломерированной дробленной руды, флюса и древесного угля, загруженная сверху, по мере выгорания топлива и плавления материалов опускается, а вдуваемый через фурмы воздух и продукты горения движутся навстречу шихте. Продукты плавки выпускают через выносной горн или непосредственно из внутреннего горна в отстойный горн для обеднения шлаков. Недостатки шахтной плавки: необходимость предварительного окускования сырья, большой пылевынос, низкая концентрация SO_2 в отходящих газах [13, 14].

Усовершенствованием шахтной печи стало применение кокса и кислорода вместо древесного угля и воздуха. Шахту печи начали изготавливать из металлических кессонов, по которым циркулировала вода для охлаждения, предотвращая быстрый износ футеровки печи. Затем вместо водяного охлаждения начали применять испарительное. Практически в таком виде шахтная печь и дошла до наших дней [14

Следующим этапом в технологии получения меди явилась разработка и использования отражательной печи. Первая такая печь была построена в 1688 г в Англии. Отражательные печи сильно изменились к XX в., но сущность процесса осталась та же [15].

В пространство печи через загрузочные окна подают медный концентрат вместе с флюсом. Источниками тепла в отражательных печах являются каменноугольная пыль, природный газ или мазут, сжигаемые с помощью 4–6 горелок или форсунок, которые устанавливают в торцевой стене рабочего пространства печи. Продуктом плавки является штейн с содержанием меди от 30 до 40% (в редких случаях до 80%), состоящий из сульфидов FeS и Cu_2S (80— 90%) и шлаков, содержащих в основном оксиды SiO_2; AI_2O_3 и CaO.

Штейн, по мере накопления, выпускают в ковш при температуре 900–1150°С, и он поступает в конвертер, где его продувают сжатым воздухом. Происходит окисление сульфидов и железа, образующиеся окислы переходят в шлак, а сера удаляется в виде SO_2. Тепло в конвертере выделяется за счёт протекания химических реакций без подачи топлива. Температура в конвертере составляет 1200…1300°С. Таким образом, в конвертере получают черновую медь, содержащую 98,4…99,4 % меди, 0,01…0,04 % железа, 0,02…0,1 % серы и небольшое количество никеля, олова, сурьмы, серебра, золота. Эту медь сливают в ковш и разливают в стальные изложницы или на разливочной машине.

Черновую медь рафинируют для удаления вредных примесей: проводят огневое, а затем электролитическое рафинирование.

Сущность огневого рафинирования черновой меди заключается в окислении примесей, имеющих большее сродство к кислороду, чем медь, удалении их с газами и переводе в шлак. После огневого рафинирования получают медь чистотой 99…99,5 %. Её разливают в изложницы и получают чушки для дальнейшей выплавки сплавов (бронзы и латуни) или слитки для электролитического рафинирования.

Электролитическое рафинирование проводят для получения чистой от примесей меди (99,95 % Cu).

Медь по чистоте подразделяется на марки с содержанием Cu, %: М00 – 99,99; М0 – 99,97; М1 – 99,95; М2 – 99,7; М3 – 99,5 (ГОСТ 859–2001).

Большим шагом в пирометаллургии меди стало изобретение современных агрегатов автогенной плавки, то есть плавки, идущей без затрат топлива [16]. Сухой концентрат вместе с флюсом вносится в пространство печи струёй технического кислорода или кислородно-воздушной смеси, что приводит к формированию пылегазового факела. За счет протекания экзотермических реакций материалы окисляются и плавятся. Завершается процесс образованием в ванне печи расплава, который расслаивается на штейн и шлак. Штейн, содержащий 45-75% меди, обычно перерабатывают в конвертерах, а диоксид серы, содержащийся в отходящих газах, используется для производства серной кислоты.

Сегодня около 25% всей меди в мире добывают с помощью гидрометаллургии [17]. Первые промышленные опыты по получению меди гидрометаллургическими способами относятся к середине XVIII века. Именно в этот период различные металлургические компании на своих месторождениях начинают применять разнообразные способы выщелачивания меди. Причем на одних заводах сульфидную руду предварительно обжигали, на других – оксидные и смешанные руды только дробили и измельчали. Таким образом, к началу XX века было предложено множество разнообразных, но не всегда экономически выгодных процессов гидрометаллургической обработки медных руд. Методы гидрометаллургии оказались приемлемы для обработки бедных и отработанных руд. Гидрометаллургический способ получения металла состоит из двух основных

стадий: обработки рудного сырья растворителем, то есть выщелачивание, и осаждение металла из полученного раствора [17].

Сфера использования меди чрезвычайно обширна. Ее применение в разных областях тяжелой и легкой промышленности и отдельных отраслях современной науки, весьма разнообразно. Около половины производимой меди используется в электро и радиотехнике. Для проводов применяют электролитическую медь марок М3, М2, Ml, М0, М00. Большое количество меди применяют для изготовления сплавов – бронз, латуней, медно-никелевых сплавов (нейзильберы, мельхиоры). На основе меди изготавливают такие материалы как копель, манганин. Медь содержат некоторые алюминиевые сплавы. В ювелирном производстве используют сплавы золота с медью. Медный порошок применяют для изготовления изделий методами порошковой металлургии [18]. Производство металла растет год от года, и, одновременно, не смотря на совершенствование технологии, растет количество отходов. Одним из направлений сокращения отходов является совершенствование технологии производства меди и изделий из нее.

Вторая возможность сокращения отходов – создание безотходных производств работающих по замкнутому циклу, например, с использованием технологии порошковой металлургии [19].

Список литературы: **1.** Беккерт М. Мир металла. / М. Беккерт. – М.: Мир, 1980. – 152 с. **2.**Зайцев Г. Н. История техники и технологий / Г. Н. Зайцев, В. К. Федюкин, С. А. Атрошенко. – Политехника, 2007. – 416 с. **3.** Онаев И. А. Медь в истории цивилизации / И. А. Онаев, Б. К. Жакибаев. – Алма- Ата. Наука, 1983. – 158 с. **4.** Рената Малинова. Прыжок в прошлое. Эксперимент раскрывает тайны древних эпох / Рената Малинова, Ярослав Малина. М.: Изд-во: Мысль, 1988. – 333 с. **5.** Венецкий С. И. Рассказы о металлах / С. И. Венецкий. – 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1985. – 240 с. **6.** Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений /Б. Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б. Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986, – 384 с. **7.** Рындина Н. В. Человек у истоков металлургических знаний [Электронный ресурс] / Н. В. Рындина. – Режим доступа: lah.ru /konspekt /back /metal.htm. **8.** Черноусов П. И. Металлургия железа в истории цивилизации / П. И. Черноусов, В. М. Мапельман, О. В. Голубев. – М.: изд-во МИСиС, 2005. – 414 с. **9.** Скляров А. Металлы – дар небесных богов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www. lah. ru/text/ sklyarov/ metalweb/ text.htm. **10.** Григорьев С. А. Экспериментальная реконструкция древнего металлургического производства /С. А. Григорьев, И. А. Русанов. // В кн. Аркаим. Исследования. Поиски. Открытия. – Челябинск: ЧГУ, 1995. – С. 147–158. **11.** Иванова С. Металл: рождение для цивилизации / С Иванова // Знание-сила. – 1977. – № 4.– С. 23-27. **12.** Ламан Н. К. Развитие техники обработки металлов давлением с древнейших времен до наших дней /Н. К. Ламан. - М.: Наука, 1989, – 236 с. **13.** Гнесин Г. Г. Металлы и сплавы бронзового века: от средневековья к современности I. Медь и ее сплавы / Г. Г. Гнесин //Порошковая металлургия – Киев: ИПМ им. И. Н. Францевича НАН Украины. – 2014. – №09/10. – С.148–160. **14.** Чудаев И. Металлургия меди с древнейших времен до наших дней (Часть 1) [Электронный ресурс] / Илья Чудаев, Юрий Верещагин //Уральский рынок металлов (УРМ). – (март 2008).– №3. – Режим доступа: www.urm.ru. **15.** Воскобойников В. Г. и др. Общая металлургия – 6-изд., перераб. и доп. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005 – 768 с. **16.** Кривандин В. А., Кобахидзе В. В. и др. Металлургическая теплотехника. В 2 т. Т 2. Конструкция и работа печей: учебник для вузов/В. А. Кривандин, В. В. Кобахидзе и др. – М.:Металлургия, 19862005 – 768 с. **17.** Набойченко С. С. Гидрометаллургия меди / Набойченко С. С. Смирнов В. И. Изд-во М.: Металлургия, 1974. – 272 с. **18.** Цыркин А. Т. Технология изготовления порошковых изделий: учебное пособие / Цыркин А. Т., Стоянов А. А. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2011. – 237 с. **19.** Цыркин А. Т. Технология изготовления порошковых материалов из отходов производства в машиностроении/ Цыркин А. Т., Михайлов А. Н., Раев С. С. Петров М. Г., Головятинская В. В. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – 268 с.

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Цыркин А. Т. *(Луганский филиал кафедры технологии машиностроения ДонНТУ, г. Луганск, ЛНР)*
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@fimm.donntu.ru

Аннотация: *Показаны возможности порошковой металлургии. Представлен краткий обзор состояния работ в области порошковой металлургии Украины и России. Рассмотрены перспективы развития порошковой металлургии. Приведены основные направления развития производства изделий из порошковых материалов.*
Ключевые слова: *порошковая металлургия, новые материалы, технологии, аддитивные технологии, свойства, перспективы развития.*

Порошковой металлургией называют область техники, включающую методы изготовления порошков металлов и металлоподобных соединений, полуфабрикатов и изделий из них или их смесей с неметаллическими порошками без расплавления основного компонента. В настоящее время порошковая металлургия является одним из приоритетных направлений развития металлургического производства.

Практика изготовления металлических порошков и спеченной металлической губки (крицы), получаемых восстановлением оксидов металлов углеродом, известна с глубокой древности. Порошковое золото применяли для декоративных целей за 3000–3500 лет до нашей эры. Железные орудия, найденные при раскопках в Египте и Вавилоне, были изготовлены с использованием отдельных методов порошковой металлургии [1].

Основоположником современного этапа развития порошковой металлургии (ПМ) является русский ученый П. Г. Соболевский, разработавший совместно с В. В. Любарским в 1826–1827 гг. метод изготовления изделий из порошка платины. Температура ее плавления 1770 °С в то время была недостижимой, а спекание в специальной форме этого металла, измельченного до порошка, уже тогда удалось осуществить при более низкой температуре [1].

С начала XX в. и по настоящее время эта технология быстро развивается – растет число научных исследований, разрабатываются новые технологии, создается специальное оборудование, организуются новые предприятия, производящие порошки и изделия из них.

Методами порошковой металлургии получают изделия различных назначений с коэффициентом использования материала около 100%, а так же, принципиально новые материалы, зачастую с уникальные свойствами, которые другим путем получить или очень трудно, или невозможно [2].

Применение методов порошковой металлургии резко улучшает экологическую ситуацию на производстве, позволяют использовать для получения порошков отходы производства, в том числе, такие, которые другими методами не перерабатываются [3].

Таким образом, порошковая металлургия – наиболее экономичный метод изготовления изделий: отходы материалов самые низкие по сравнению с традиционными технологиями (литьем, механической обработкой, холодной и горячей обработкой давлением) за счет получения изделий с размерами, близкими к окончательным; минимальным количеством операций.

Наиболее значимую долю (85%) в структуре рынка порошковых деталей составляют машиностроительные детали (шестерни, кольца, подшипники скольжения, тормозные колодки и диски сцеплений и муфт, композиционные контакты и т.п.) [4–7].

Все большее применение в промышленности находят функциональные материалы и изделия, получаемые методами порошковой металлургии: тугоплавкие материалы и твердые сплавы и изделия из них, композиционные многокомпонентные материалы триботехнического назначения (подшипники скольжения, фрикционные диски и накладки), электротехнического (щетки электрических машин, эрозионно-стойкие контакты, магнитомягкие и магнитотвердые изделия), пористые материалы и изделия из них (фильтры, катализаторы, диспергаторы, глушители шума и т.п.), наноразмерные и наноструктурные. Методы порошковой металлургии широко используются при изготовлении изделий из алмазов и алмазоподобных материалов, фуллеренов, а также при синтезе квазикристаллов. Технология ПМ дает возможность создать в материале особо мелкозернистые состояния, так называемые металлостекла, интерес к которым постоянно растет в связи с созданием конструкционной керамики, изделий со специальными магнитными и электрическими свойствами, особо коррозиестойких материалов, в их числе и наноматериалов [2, 4–7].

Особый интерес представляет класс функциональных материалов (иногда называемых также интеллектуальными материалами), использующих пьезо- и сегнетоэлектрические свойства веществ и изменяющих свои параметры в зависимости от окружающей среды (температуры, давления, электрических и магнитных полей и т.д.). Области их применения очень широки, и в технической и научной литературе они получили даже специальное название – диэлектроника. Вот некоторые изделия, изготовленные с применением функциональных материалов: пьезоэлектрические трансформаторы, вторичные источники тока, полосовые фильтры для широкого диапазона частот с перестраиваемыми характеристиками, пьезоэлектродвигатели, кодирующие и декодирующие устройства, линии задержки, волноводы и другие устройства на поверхностных акустических волнах, частотные модуляторы, преобразователи частоты, системы ночного видения, устройства компьютерной техники, уникальные по электрической емкости аккумуляторы и многое другое [4–8].

В настоящее время интенсивно развиваются аддитивные технологии (АМ – Additive Manufacturing), или технологии послойного синтеза. Они позволяют на порядок ускорить НИОКР и решение задач подготовки производства, а в ряде случаев уже активно применяются и для производства готовой продукции [4–6, 9, 10]. Поэтому все больше направлений промышленности активно осваивают АМ-технологии, используют аддитивные машины, или, как их часто называют, 3D-принтеры.

Аддитивные технологии предполагают изготовление (построение) физического объекта (детали) методом послойного нанесения (добавления, англ. – «add») материала, в отличие от традиционных методов формирования детали, за счёт удаления (subtraction – вычитание) материала из массива заготовки. [9].

Одним из направлений АМ-технологий является послойное лазерное спекание (сплавление) металлопорошковых композиций. Развитие этого направления стимулировало и развитие технологий получения порошков металлов. На сегодняшний день номенклатура металлических композиций имеет широкий спектр материалов на основе Ni и Co (CoCrMO, Inconel, NiCrMo), на основе Fe (инструментальные стали: 18Ni300, H13; нержавеющая сталь: 316L), на основе Ti (Ti6-4, CpTigr1), на основе Al (AlSi10Mg, AlSi12). Производятся порошки бронз, специальных сплавов, а также драгметаллов – главным образом для нужд медицины.

Из металлических порошков «выращивают» заготовки пресс-форм, специальные инструменты, оригинальные детали сложной конфигурации, которые затруднительно или невозможно получить литьем или механообработкой, импланты и эндопротезы и многое другое. Уже сейчас при штучном и мелкосерийном производстве зачастую становится экономически выгодным «вырастить» небольшую партию деталей на SLS-машине, чем изготавливать литейную или штамповую оснастку. В сочетании с HIP (Hot Isostatic Pressing – горячее изостатическое прессование) и соответствующей термообработкой такие детали не только не уступают литым или кованым изделиям, но и превосходят их по прочности на 20-30% [9, 10]. Согласно информации приведенной в работе [6] в США установлено 100 – 200 3D принтеров.

Применение порошковой металлургии, ее развитие имеет большое значение для всего мира. Такие страны мира, как США, Япония, Германия ежегодно инвестируют и расширяют эту отрасль промышленности. Характерно, что мировой экономический кризис 1998 года практически не отразился на объеме продаж наиболее массовых порошков, главным потребителем которых в развитых странах Европы, Америки, а теперь и Азии является автомобильная промышленность [4–8]. Средняя доля порошковых материалов в легковом автомобиле американского производства в 2013 г. составила 20,2 кг, по сравнению с 19,9 в 2012 г., а в среднестатистическом европейском возросла с 8,8 кг в 2012 г до 9 кг в 2013 г [6].

Значительное развитие получила порошковая металлургия в СССР. Успешно функционировали научные центры, в первую очередь, это институт проблем материаловедения (ИПМ) г. Киев – головная организация в области порошковой металлургии СССР, Институт порошковой металлургии НАН Белорусской ССР г. Минск и целый ряд лабораторий в Вузах страны. Большой популярностью среди специалистов пользуется журнал «Порошковая металлургия», издаваемый ИПМ. Были построены специализированные заводы, производящие порошки и изделия из них – Броварский завод порошковой металлургии (Киевская обл.), Сулинский металлургический завод (Ростовская обл.), Молодечненский завод порошковой металлургии (Минская обл.), Кировский завод порошковой металлургии (Луганская обл.), Московский и Кировградский (Свердловская обл.) заводы твердых сплавов, успешно работал мощный цех по выпуску порошков быстрорежущих сталей на Запорожском заводе ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ, организовано производство порошков и изделий из титана на Запорожском титаномагниевом комбинате и Закарпатском металлургическом заводе и др., организован ряд производственных участков на машиностроительных заводах.

Значительные объемы научно-исследовательских работ в области порошковой металлургии и производства порошковых изделий осуществлялось в Украине. Важную роль в развитии порошковой металлургии в СССР принадлежала Институту проблем материаловедения АН Украины. Институт обеспечивал подготовку научных и инженерных кадров во всех республиках, разрабатывал предложения по созданию и развитию инфраструктуры этой новой отрасли промышленности, обеспечивал научно-техническую поддержку создания материальной базы отрасли и сопровождение всех государственных научно-технических и отраслевых программ. Многие научно-исследовательские институты Украины – Киевский институт сверхтвердых материалов НАН Украины, Харьковский физико-технический институт, Днепропетровский металлургический институт, Запорожский институт титана, «УкрНИИспецсталь» и другие играли ведущую роль в развитии отдельных направлений порошковой металлургии и практического материаловедения [7].

Порошковая металлургия Украины производила 35% порошков на основе железа и 36% изделий из них от общего объема выпуска тогдашнего СССР. Продукцию порошковой металлургии в начале 90-ых годов выпускали более 50 предприятий и специализированных участков Украины; общая мощность оборудования составляла около 25 тысяч тонн в год [8].

В г. Луганске были организованы и выпускали продукцию участки на заводах: тепловозостроительном, станкостроительном, электронного машиностроения, щелочных аккумуляторов. На тепловозостроительном заводе в составе Центральной заводской лаборатории функционировала лаборатория порошковой металлургии [11], а в машиностроительном институте сотрудники кафедры технологии металлов выполняли научно-исследовательские работы по заявкам предприятий.

В настоящее время положение порошковой металлургии Украины резко ухудшилось. Кризисная ситуация в промышленности, особенно в машиностроении, привела не только к падению спроса на порошковые комплектующие детали машин и механизмов, но и практически к полному исчезновению его на разработку новых материалов. В результате сейчас объем выпуска продукции составляет по предприятиям ПМ Украины 10-15% от возможностей имеющихся мощностей [8]. Ряд специализированных цехов и участков, в том числе все в г. Луганске, полностью прекратили свое существование. Не работает Кировский завод порошковой металлургии. С 1992 года в Украине начало резко сокращаться производство машиностроительной продукции и, соответственно, продукции ПМ. Приобретение нового оборудования практически не имело места, а действующее за это время значительно износилось и устарело. Фактически уровень мощностей снизился по сравнению с 1990 годом как минимум на 50%.

Еще недавно Броварский завод порошковой металлургии (Киевская обл., Украина) считался флагманом порошковой металлургии бывшего СССР. Это было первое предприятие подобного профиля с законченным циклом производства, одно из крупнейших не только в странах СНГ, но и в Европе. Завод является единственным производителем железного порошка в Украине, основным производителем спеченных порошковых изделий на основе железа, фрикционных дисков, изделий из композиционных материалов и тугоплавких соединений. Продукция завода поставлялась во все регионы бывших республик Союза. Численность коллектива достигала 4 тыс. человек. После распада СССР на заводе сохранены все основные виды производства, но со значительными сокращениями объёмов. В настоящее время на заводе работает около 800 человек [12].

В связи с отсутствием средств за этот период прекратились разработка и внедрение новых видов оборудования, новых технологических процессов, совершенствование техдокументации, разработка норм и методов контроля качества продукции. С другой стороны, снижение потребности в порошках и изделиях из них привели к неуправляемому повышению себестоимости выпускаемой продукции. Разрыв сложившихся корпоративных связей, обеспечивавших поставки необходимых исходных материалов, и замена этих материалов другими, не совсем адекватными, привели к ухудшению качества продукции. Итогом этого стала резкая потеря конкурентоспособности отечественной продукцией, стоимость которой превысила сложившиеся на мировом рынке цены. Традиционный потребитель выпускаемых Броварским заводом железных порошков – Молодечненский завод ПМ (Беларусь) стал клиентом швейцарской фирмы Hoeganes [8].

В результате сложившейся ситуации Украина теряет специалистов, пропадает накапливавшийся десятилетиями огромный опыт создания новых уникальных материа-

лов, технологий, специализированного оборудования, разрушаются научные и производственные связи, в первую очередь, с Россией.

Для разработки и внедрения государственной программы порошковой металлургии Украины, нужно 300 миллионов гривен. В противном случае в современных условиях наукоемких материаловедческих программ потеря каждого года означает для Украины увеличение отставания от мирового уровня как минимум на пять лет [8].

Трудные времена переживает порошковая металлургия России. Согласно информации интернет – источника [13] опубликованного 11 марта 2015 г., прекратил выпуск железного порошка Сулинский металлургический завод (г. Красный Сулин Ростовской области). Не работают также некоторые другие предприятия порошковой России.

Значительно отстает Россия в работах по аддитивным технологиям [14]. Выпуск серийных российских порошков минимален и осуществляется главным образом в лабораторных условиях. Единственным серийным отечественным продуктом является ЭП648 – порошок жаропрочного сплава на основе никеля предназначен для аддитивного производства термостойких изделий в энергетическом машиностроении и аэрокосмической отрасли [14].

Однако в последние годы наметился некоторый подъем производства порошков и изделий из них [15]. Производство железных, легированных и других порошков, а также порошковых изделий осуществляется на таких предприятиях, как ОАО «Северсталь», ОАО «Полема» (г. Тула), ЗАО «Инвест-технологии» (г. Москва), Кировградский завод твердых сплавов (Свердловская обл.), КИММПОР («Краснопахорский завод композиционных изделий из металлических порошков»), ЗАО «Выскодисперсные металлические порошки», САУЛ-Порошковая металлургия, ОАО «Уралэлектромедь» и др.

Завод порошковой металлургии ОАО «ПОЛЕМА» – ведущий мировой производитель изделий из хрома, молибдена, вольфрама, металлических порошков и композиционных материалов [16]. На предприятии осуществляется производство гомогенно-легированных порошков инструментальных и коррозионностойких сталей. ОАО «Полема» оснащенно оборудованием для газового и водяного распыления мощностью 4,5 тыс. т в год. Совместно с АО «АвтоВАЗ» выпущены опытно-промышленные партии порошков для деталей автомобилей.

На этом же предприятии начато производство порошков титана, хрома и их сплавов, а также порошков высоколегированных сталей и сплавов восстановлением смесей оксидов и металлов. Этот метод обеспечивает получение порошков с несферической формой частиц, имеющих губчатое строение, что обеспечивает высокую формуемость, позволяющую использовать эти порошки, как для прессования, так и для прокатки в ленту и лист. В настоящее время ОАО «Полема» выпускает более 30 марок порошков металлов и сплавов, в том числе большую номенклатуру порошков для жаростойких покрытий на кобальтовой и никелевой основе [15].

Порошковая металлургия на предприятии основывается на следующих технологических процессах: получение металлов в виде порошков, компактирование этих порошков в изделия различной формы методами холодного и горячего изостатического прессования, спекание в водороде или в вакууме, обработка давлением (прокатка, ковка, экструзия), напыление и наплавка.

Среди предприятий порошковой металлургии компания занимает лидирующие позиции на мировых рынках электролитического рафинированного хрома и распыляемых мишеней из хрома высокой чистоты, проката и изделий из молибдена и вольфра-

ма, сильноточных контактных материалов, тяжелых вольфрамовых сплавов. С 1982 года в составе предприятия действует крупнейший в России комплекс по производству металлических порошков мощностью 3000 т. в год.

ОАО «ПОЛЕМА» успешно реализует различные проекты по реконструкции производства электролитического хрома, механической обработке металлов, выпуску новых материалов и расширению производства базовых материалов из хрома, молибдена, вольфрама, никеля, нихрома, алюминий-титановых композиций и керамики для технологий физического осаждения (PVD) упрочняющих, защитных, декоративных, светоотражающих, резистивных, коммутационных и прозрачных электропроводящих пленок и покрытий.

Объем производства распыляемых мишеней и испаряемых катодов из высокочистого хрома достигает 30% мирового рынка. Компания реализует продукцию на внутреннем рынке, в Китае, Тайване, Корее и охватывает все ключевые мировые рынки в 30 странах: США, странах ЕЭС, Южной Америки и Юго-восточной Азии. Имеет представительства в Европе и Юго-восточной Азии.

Современное аналитическое оборудование, включающее оптико-эмиссионные и масс- спектрометры, приборы системы Leco, электронный микроскоп Jeol JSM-6390, машины для механических испытаний металлов и др., гарантирует отличный контроль качества изделий. В производстве основных видов продукции АО «ПОЛЕМА» применяет подтвержденную международным сертификатом систему менеджмента качества ISO 9001:2008.

Компания «ПОЛЕМА» 13 января 2014 стала членом Международной федерации порошковой металлургии Metal Powder Industries Federation (MPIF).

В последние годы активно занимается развитием производства железных и легированных порошков методом распыления воздухом ОАО «Северсталь» [17]. Для производства нового продукта – легированных порошков, реализован комплекс мероприятий стоимостью порядка 9 млн. рублей. Выполнены работы по модернизации и пуско-наладке печей отжига, построен водородопровод для восстановительно-обезуглероживающего отжига порошка в печах, протяженностью более одного километра. Ежегодно на участке планируется производить порядка 360 тонн продукции.

НПП «Высокодисперсные металлические порошки» (Свердловская область г. Екатеринбург), является предприятием, самостоятельно осуществляющим полный цикл работ от разработки материала до его производства и внедрения, что позволяет выпускать высококачественную продукцию [18]. Одно из подтверждений этому - система качества предприятия, которая сертифицирована по ISO 9001:2000 органом по сертификации AeroCert AG (Германия). Предприятие успешно сотрудничает с крупными мировыми концернами Германии и Финляндии - поставщиками химического сырья и упаковочных материалов.

Закрытое акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Высокодисперсные металлические порошки» (ВМП) было организовано в начале 1990 года по инициативе Государственного комитета по Науке и Технике СССР как потенциально инновационное учреждение, оригинальные разработки которого в рамках Академии Наук СССР к указанному времени оставались не реализованными в промышленности. В составе ВМП – завод, технологический, исследовательский, проектно-конструкторский отделы. Здесь работают доктора и кандидаты наук, опытные инженеры-технологи, высококвалифицированные рабочие. НПП ВМП стало одним из первых в России инновационным предприятием, реализующим в промышленности собственные технологии. В настоящем ВМП, одно из немногих в мире, сумело создать про-

мышленные технологии и производство металлических нанопорошков и уникальных продуктов на их основе.

После введения американских санкций, когда стало ясно, что рассчитывать на западные аддитивные машины и материалы не приходится, Совет по модернизации экономики РФ в сентябре 2014 года дал конкретные поручения по разработке принтеров, порошков и фидстоков (проволоки) [14].

Согласно сообщению [19] к лету 2016 года активизировался российский интерес к аддитивной технологии. Более того, это технологическое направление стало стремительно «прорастать» на предприятиях традиционной металлургии.

В национальном институте авиационных технологий (НИАТ) созданы научные лаборатории аддитивных технологий и прецизионного литья с применением аддитивных технологий [20].

В ОАО «НИАТ НТК» научилось «печатать» форсунки авиационных двигателей и лопатки турбин, а ОАО «АБ Универсал» – детали топливоподачи [19, 20].

В Новоуральске (Свердловская обл.) построена спроектированная в Уральском Федеральном университете промышленная установка по производству порошка для аддитивных машин. Её мощность – 20 тонн в год. [14].

Ашинский металлургический завод 25 мая 2016 г. сообщил, что завершает монтаж в электросталеплавильном цехе №1 новой установки распыления, созданной специалистами челябинской компании ООО «Энерготехнологии» (с учетом требований ашинских металлургов) [21]. В результате совместной работы получилось совершенно уникальное оборудование для производства металлического порошка для 3D-технологий, не имеющее аналогов в России и за рубежом. Его особенность – в полностью автоматическом управлении процессом распыления. Установка универсальна – можно изготавливать металлический порошок путем газового распыления из разных сплавов или марок сталей, оперативно перестраиваясь на новое сырье [19].

Новая продукция пользуется спросом во многих отраслях промышленности, таких как аэрокосмическая, химическая, приборостроение, машиностроение. На сегодняшний день отечественные производители не в должном объеме обеспечивают потребность рынка аддитивных технологий.

Специалисты считают, что порошковая металлургия только начала реализовывать свой потенциал, что дает основание ожидать ее дальнейшего роста в XXI тысячелетии [4–8]. Параллельно будет развиваться несколько направлений.

Интенсивные научные работы ведутся в области получения порошков с высокими свойствами, а также снижения их стоимости.

Перспективными материалами являются Al-сплавы, упрочненные SiC, материалы на основе Ti, стали с высокими прочностными свойствами и высокой коррозионной стойкостью, градиентные материалы, нанометричные материалы, W-сплавы, интерметаллиды, тонкие порошки и порошки для получения аморфных металлических сплавов [2, 4-8]. В связи с развитием аддитивных технологий становится актуальным получение порошков со свойствами, удовлетворяющими требования этих технологий.

Снижение стоимости порошков достигается совершенствованием получения их технологии, использованием высокоэффективного оборудования с высокой степенью автоматизации, применением в качестве сырья с отходов производства и потребления. Например, для получения железного и стальных порошков применяют прокатную окалину, шламы, лом, литейный брак, некондиционный чугун основного металлургического производства, другие отходы производства [3, 4–8].

Существенное повышение плотности и прочности порошковых деталей достигается рациональным легированием шихты, совершенствованием смазок и пластификаторов в ее составе. Применение эффективных смазок и теплого прессования позволяет получить плотность спеченных изделий на основе железа на уровне 7,2–7,4 г/см^3 [4–8].

Расширению областей применения продукции ПМ способствуют такие технологии, как холодная и горячая штамповка спеченных заготовок, теплое прессование пластифицированных порошков, двойные операции спекания, инфильтрация пористых прессовок расплавами легкоплавких металлов, доуплотнение спеченных заготовок, инжекционное прессование, формование осаждением при распылении, упрочнение при спекании, струйное формование, роторное прессование, горячее изостатическое прессование, лазерный процесс быстрого воспроизводства изделий по прототипам. Это позволяет получать из сталей высокоплотные изделия с улучшенными механическими свойствами, изделия сложной формы, и изделия из различных материалов со специальными свойствами [4–8, 22–24].

Повышение качества порошковых достигается также применением для спекания защитных сред с низким содержанием вредных примесей, спеканием в вакууме, подбором оптимальных режимов спекания, совмещением спекания с термической обработкой и др. [3–8]. Остается конкурентоспособной также технология парооксидирования спеченных порошковых стальных деталей, обеспечивающая одновременно повышение коррозионной стойкости и износостойкости поверхности.

Повышение производительности и снижение себестоимости порошковых изделий достигается также применением современных прессов с ЧПУ, высококачественного формующего инструмента, автоматизированных печей спекания, размольного и другого оборудования [4–8].

Заключение. Порошковая металлургия является эффективным способом изготовления изделий различного назначения. Ее развитие наблюдается во всех промышленных странах.

Положение порошковой металлургии Украины в настоящее время резко ухудшилось. Сокращается или совсем прекращается производство порошков и порошковых изделий.

Трудные времена переживает порошковая металлургия России, однако наметился некоторый подъем производства порошков и изделий из них. Происходит освоение новых производств и разработка новых перспективных технологий, в том числе аддитивных.

Наиболее перспективными направлениями ее дальнейшего развития являются горячее изостатическое прессование, инжекционное формование, аддитивные технологии, холодная и горячая штамповка спеченных заготовок, теплое прессование пластифицированных порошков, двойные операции спекания, инфильтрация пористых прессовок расплавами легкоплавких металлов, формование осаждением при распылении, упрочнение при спекании, струйное формование, роторное прессование.

Повышение качества порошковых достигается также применением для спекания защитных сред с низким содержанием вредных примесей, спеканием в вакууме, подбором оптимальных режимов спекания, совмещением спекания с термической обработкой, парооксидирования спеченных порошковых стальных деталей и другие.

Повышение производительности и снижение себестоимости порошковых изделий достигается также применением современных прессов с ЧПУ, высококачественного формующего инструмента, автоматизированных печей спекания, размольного и другого оборудования.

Список литературы: 1. Порошковая металлургия в СССР: История. Современное состояние. Перспективы /Под ред. И. Н. Францевича, В. И. Трефилова и др. – М.: Наука, 1986. – 294 с. **2.** Порошковая металлургия. Материалы, технология, области применения: справочник / И. М. Федорченко, И. Н. Францевич, И. Д. Радомысельский. – К.: Наук. думка, 1985. – 624 с. **3.** Цыркин А. Т. Технологии изготовления порошковых материалов из отходов производства в машиностроении. / Цыркин А. Т., Михайлов А. Н., Раев С. С., Петров М. Г., Головятинская В. В. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – 268 с. **4.** Чернышев Л. И. Порошковая металлургия – трудности и перспективы современного этапа развития / Л. И. Чернышев, Д. А. Левина // Порошковая металлургия. – 2013. – № 11/12. – С. 144–151. **5.** Чернышев Л. И. Новые перспективы развития порошковой металлургии/ Чернышев Л. И., Левина Д. А.//Порошковая металлургия – № 11/12.– 2014. С. 148–153. **6.** Левина Д. А. Осторожный оптимизм – медленное восстановление отрасли порошковой металлургии. / Левина Д. А., Чернышев Л. И.– Порошковая металлургия – № 9/10 2015 г. с. 157–160. **7.** Витязь П. А. Порошковая металлургия в мире и в Беларуси: 1990–2010. Состояние, проблемы, перспективы / Витязь П. А., Ильющенко А. Ф., Савич В. В.// Международный симпозиум «Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка» 23–25 марта 2011 г. Минск, Беларусь. Материалы докладов в 2 частях. Часть 1. с. 22–54. **8.** Леонид Теплов. Вся порошковая рать. Металл бюллетень. Украина – №11, 2001. **9.** Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с. **10.** Кирилл Казмирчук, Вячеслав Довбыш. Аддитивные технологии в российской промышленности. Конструктор. Машиностроитель, журнал 12.05.2012. **11.** Цыркин А. Т. Пути расширения области применения деталей из металлических порошков в тепловозостроении / А. Т. Цыркин, М. М. Львовский, В. А. Бровцев // Порошковая металлургия. – 1974. – № 6. – С. 103–104. **12.** Завод порошковой металлургии, г. Бровары. 2010-2016. Карта сайта http://pmplant.com/o-nas. **13.** Дмитрий Сайко. Производство железного порошка в ЦЖП-1 Сулинского металлургического завода / https://www.youtube.com/watch?v=ay2Eb-slCMk. – 11 марта 2015 г. **14.** Александр Ситников. Промышленная революция обходит Россию стороной /. http://svpressa.ru/. **15.** Оксана Ковалева. Современное состояние порошковой металлургии. / Уральский рынок металлов № 6 июнь 2005 http://www.urm.ru/ru/75-journal114-article1428. **16.** От достигнутых целей к новым горизонтам. http://www.polema.net/. 14.01.2015. **17.** Машиностроители «Северстали» приступили к производству легированных порошков. 13 мая 2015 Источник: metalbulletin.ru. **18.** Закрытое акционерное общество Научно-производственное предприятие «Высокодисперсные металлические порошки» (ВМП). Сайт: www. coldzinc. ru, www.rimet.ru. **19.** О пределах взлета 3D-металлургии. Металлургический бюллетень. Информационно-аналитический журнал. понедельник, 17 октября 2016 г. http://www.metalbulletin.ru/analytics/black/666/. **20.** ОАО Национальный Институт Авиационных Технологий (НИАТ). http://niat.ru/. **21.** Ашинский металлургический завод сайт http: // www.amet.ru /pressoffice /release/16/news_20052016/. **22.** Wittaker D. Production of Structural PM Parts// International Powder Metallurgy Directory & Yearbook. 11th Edition - 2004/2005. – P.31-47. **23.** Hoeganaes Handbook for Warm Compaction, 1998. – 112 P. **24.** Schatt W., Wieters K. – P. and all. Powder Mettallurgy: Proceesing and Materials. – EPMA, 1997. – 492 p.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА К УСТАНОВКАМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ С НИЗКОКИПЯЩИМ РАБОЧИМ ТЕЛОМ

Черных А. В. *(ГОУ ВПО Луганский национальный университет имени В. Даля, г. Луганск, ЛНР)*
Тел: +38(050)6269030; E-mail: bgd.ot.dahl@yandex.ru

Abstract: *A promising way to improve the efficiency of energy use of thermal power plants industrial transport is the use of systems utilization based on the conversion of exhaust heat and lose in the cooling system of the engine into useful work. Exergy analysis of the systems of utilization of warmth gives the most complete picture of the distribution of efficiency of use of heat flows in the basic elements of the system.*
Keywords: *heat engine, heat recovery, organic working fluid, a steam generator, exergy analysis, exergy losses*

Транспорт является одним из основных потребителей первичных энергоресурсов, на его долю приходится до 82% всех перевозимых грузов. Одним из перспективных способов повышения эффективности энергоиспользования теплосиловых установок промышленного транспорта является применение систем утилизации, основанных на преобразовании теплоты отработавших газов и теряемой в системе охлаждения двигателя в полезную работу. В качестве рабочих тел систем утилизации в последнее время все чаще выступают органические вещества с низкой теплотой парообразования и кипения (углеводороды, спирты, фреоны), что позволяет более полно утилизировать теплоту отработавших газов и хладагента системы охлаждения двигателей [1, 2, 3].

С точки зрения оценки степени термодинамического совершенства системы утилизации наиболее более полную картину может дать эксегретический метод [4]. Двигатели внутреннего сгорания, оборудованные системами утилизации могут быть проанализированы лишь при использовании эксергетического баланса, позволяющего свести качественно различные виды энергии к единой величине.

Рассмотрим схему потоков эксергии в системе утилизации с низкокипящим рабочим телом (гексаном) на базе дизеля 6ЧН12/14 (рис.1).

Комбинированная силовая установка с системой утилизации может быть представлена как термодинамическая система, на вход которой поступает топливо с эксергией E_f и теплоносители системы утилизации с эксергией E_a (наддувочный воздух) и E_{w2} (вода, возвращаемая в систему охлаждения); на выходе из системы – механическая энергия двигателя Q_e и отработавшие газы двигателя с эксергией E_{g2} (рис.2).

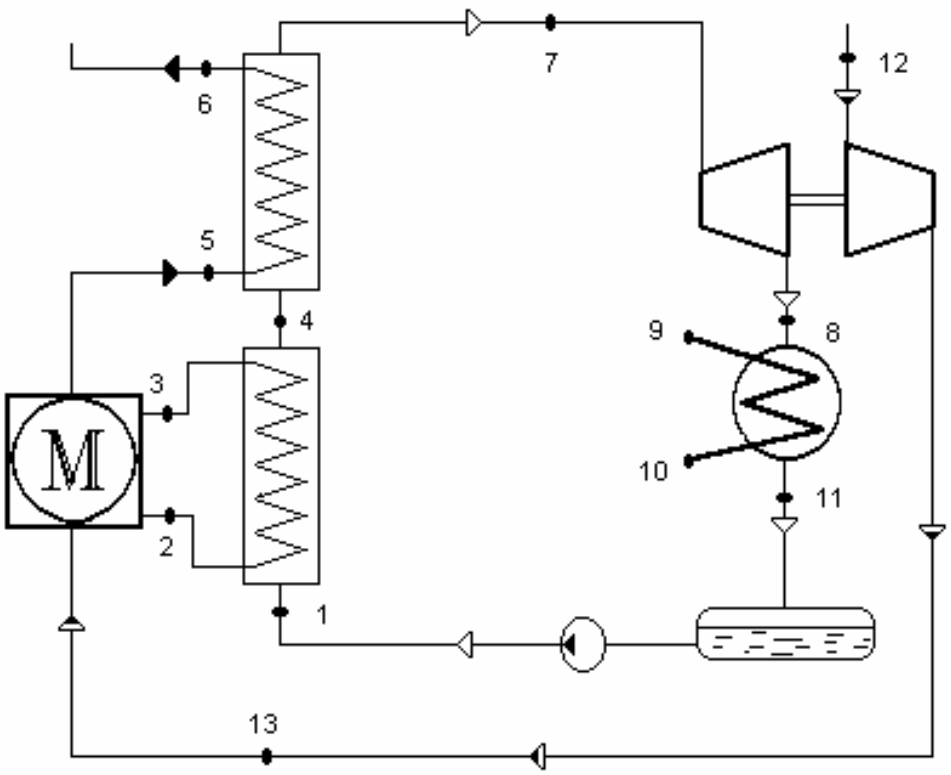


Рис. 1. Расположение точек определения термодинамических параметров рабочих тел.

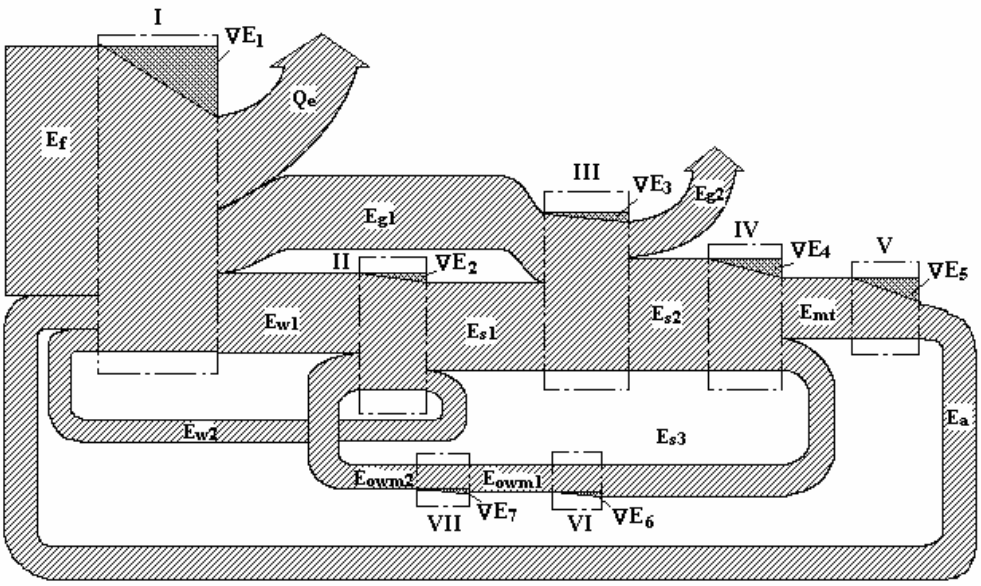


Рис. 2. Схема потоков эксергии в системе утилизации

Эксергетический баланс силовой установки с системой утилизации бросовой теплоты запишется следующим образом:

$$E_f + E_a + E_{w2} = Q_e + \sum \nabla E_i + E_{g2}, \quad (1)$$

где ∇E_i - сумма внутренних потерь эксергии в элементах установки:

∇E_1 – потери непосредственно в ДВС,

$$\nabla E_1 = E_f + G_{10}e_{10} + G_9e_9 - G_1e_1 - G_3e_3;$$

∇E_2 – потери в парогенераторе первого контура,

$$\nabla E_2 = G_1e_1 + G_2e_2 - G_3e_3 - G_4e_4;$$

∇E_3 – потери в парогенераторе второго контура,

$$\nabla E_3 = G_4e_4 + G_5e_5 - G_6e_6 - G_7e_7;$$

∇E_4 – потери в утилизационной турбине,

$$\nabla E_4 = G_7e_7 - G_8e_8;$$

∇E_5 – потери в компрессоре,

$$\nabla E_5 = G_{12}e_{12} - G_{13}e_{13} + E_{mt};$$

∇E_6 – потери в конденсаторе,

$$\nabla E_6 = G_8e_8 + G_9e_9 - G_{10}e_{10} - G_{11}e_{11};$$

∇E_7 – потери в насосе,

$$\nabla E_7 = G_{11}e_{11} - G_1e_1;$$

Eg_2 – эксергия ОГ после теплообменника второго контура.

В общем случае эксергетический КПД установки представляет отношение полезно использованной эксергии E' к эксергии E_f, подведенной к установке:

$$\eta_{ex} = \frac{E'}{E_f}, \qquad (2)$$

для выбранной схемы системы утилизации

$$\eta_{ex} = \frac{Q_e + E_a + E_{w2}}{E_f}. \qquad (3)$$

Эксергия большинства жидких топлив равна их теплоте сгорания:

$$E_f = g_e \cdot N_e \cdot H_u, \qquad (4)$$

где g_e – удельный расход топлива (кг/кВт·ч); N_e - мощность двигателя (кВт);

H_u – низшая теплота сгорания топлива (кДж/кг).

Уравнения эксергетического баланса для составляющих установку узлов имеют следующий вид:

двигатель

$$E_f = Q_e + \nabla E_1 + E_{g1} + (E_{w1} - E_{w2}) - E_a;$$

парогенератор первого контура

$$E_{w1} + E_{wm2} = \nabla E_2 + E_{s1} + E_{w2};$$

парогенератор второго контура

$$- \quad E_{g1} + E_{s1} = \nabla E_3 + E_{s2} + E_{g2};$$

паровая турбина

$$E_{s2} = \nabla E_4 + E_{s3} + E_{mt},$$

компрессор

$$E_{mt} = \nabla E_5 + E_a,$$

конденсатор

$$E_{s3} = \nabla E_6 + E_{wm1},$$

циркуляционный насос

$$E_{wm1} = \nabla E_7 + E_{wm2},$$

где E_{g1}, E_{g2} – эксергия отработавших газов на выходе из двигателя и парогенератора второго контура;

E_{w1}, E_{w2} – эксергия воды на выходе из двигателя и входе в него;

E_{s1}, E_{s2}, E_{s2} – эксергия пара на выходе соответственно из парогенераторов первого и второго контуров и утилизационной турбины;

E_{wm1}, E_{wm2} – эксергия рабочего тела утилизационного контура на выходе соответственно из конденсатора и насоса.

Эксергетический КПД установки, подсчитанный по формуле (2) составляет 58%, что позволяет сделать заключение о возможности применения рассматриваемой системы утилизации для дизелей малой и средней размерности.

Выводы. Наибольшие внутренние потери эксергии в утилизационной установке имеют место в турбокомпрессоре. С целью дальнейшего усовершенствования системы утилизации следует уменьшать потери эксергии в турбокомпрессоре путем оптимизации геометрических размерных соотношений и рабочих режимов.

Список литературы: 1. Маслов В. В. Утилизация теплоты судовых дизелей / В. В. Маслов. – Москва: Транспорт, 1990. – 144с. **2.** Юрищик И. Л., Глущенко Л. Ф., Маторин А. С. Утилизация теплоты приводных газотурбинных установок / И. Л. Юрищик – Киев: Тэхника, 1991. – 152с. **3.** Angelino G. Perspectives for waste heat recovery by means of organic fluid cycles / G. Angelino, V. Moroni // J. of Engineering for Power, ?3, 1973, pp. 431–439. **4.** Бродянский В. М. Верхивкер Г. П. и др. Эксергетические расчёты технических систем: Справ. Пособие / В. М. Бродянский – Киев: Наукова думка, 1991. – 360с.

СОВРЕМЕННОЕ МАЛОЗАТРАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ

Шабайкович В. А. *(ЛНТУ, г. Луцк, Украина)*
Тел./Факс: +38 (0332) 261409; E-mail: vik_shabajkin@ukr.net

Abstract: *For organize low-cost production it is necessary: to improve construction and structure of products and processes. Then replace outdated technology and equipment of CALS-technologies and modern material and technical base, especially provide highly qualified managerial and production personnel. While monitored production costs. It depends on a number of factors, but mostly the funding and use of overseas experience.*
Keywords: *low-cost production, construction, CALS-technologies, personnel, costs.*

В современных условиях рыночной экономики и глобализации главными проблемами являются качество и конкурентность продукции, т.е. эффективное обеспечивающее производство. Это сложная многоплановая проблема, зависящая от многих факторов, определившая по разным мировым рейтингам последние места Украины как по качеству, так и конкурентности продукции, а страну, как отсталую и промышленно слаборазвитую. Повышение эффективности современного производства невозможно без знания мирового опыта. Поэтому без этого практического использования все меры по улучшению производства и экономики в целом будут напрасными.

При рыночной экономике изготовление продукции выполняется не централизовано, а по заявкам рынка (потребителей), которые предпочитают приобретать качественную продукцию широкой доступности и низким ценам. Основными требованиями, предъявляемыми к производству, является изготовление продукции с учетом требований стандартов или технических условий технологических процессов [1].

Качество, конкурентность и малозатратность производства являются взаимосвязанным целым и поэтому проблема их улучшения должна решаться совместно с применением системного подхода. Качество – это база конкурентности продукции, обеспечиваемая в производстве как за счет качества элементов, так и современности материально-технической базы изготовления, CALS-технологий, специализации и кооперации, особенно организации производства, обеспечения высококвалифицированным персоналом. Но при этом потребуют замены и все устаревшие конструкции продукции.

Выпуск современной качественной и конкурентной продукции включает широкий круг проблем от проектирования продукции, выбора необходимых дешевых, но качественных материалов и сырья. Необходима также дешевая энергия, гарантированные поставки и сбыт, современные технологии изготовления продукции, создание нужной материально-технической базы производства, обеспечение минимальных затрат изготовления и достаточной квалификации руководящего и производственного персонала, эффективная организация производственных процессов. К сожалению, за упомянутыми данными Украина заметно отстает от развитых стран мира. За 25 лет независимости по-настоящему этими вопросами никто не занимался, шла дикая капитализация, обогащение, «*міжпартійна боротьба*» за улучшение благосостояния населения страны (скорее личного!), и заниматься производством продукции, да и экономикой страны в целом просто не хватало времени, да и некому было этим заниматься.

Современное производство - это место изготовления качественной и конкурентной малозатратной продукции, обеспеченное необходимыми ресурсами и эффективной работой. Качество – это душа продукции, которая рождается при ее разработке, зависит от составляющих элементов, способов разработки и особенно изготовления, формируется при получении и сохраняется при использовании.

Для достижения поставленной цели должны быть использованы разные подходы, методы, системы. Первоочередными можно считать требования к продукции. Поскольку продукция изготавливается по технологическим процессам, то к изготовлению

продукции ставятся требования, в которых должны быть использованы научно-технические достижения современных конструкций изделий, технологий и организации, применены наиболее экономные методы изготовления, использованы наиболее целесообразные ресурсы. Обращается внимание к разрабатываемым технологическим операциям, требующих минимального времени выполнения, в производство должна быть заложена строгая технологическая дисциплина, основы обеспечения высокого качества процессов и продукции, современные формы организации производства, необходимые условия для поточности и ритмичности производства продукции, необходимые и достаточные данные для качественного малозатратного изготовления продукции и контроля [2]. Особое место занимает организация производства: специализация, пропорциональность, непрерывность, параллельность, прямоточность, автоматичность и ритмичность.

Известны десять управленческих ролей менеджера производства: межличностные, главного руководителя, лидера, связующего звена, информационные, приемника. Менеджер устраняет возникающие нарушения, выступает как предприниматель, распределяет ресурсы и проводит переговоры. Известны три уровня менеджмента: технический (ежедневные текущие операции и действия), управленческий (координация и согласование внутри предприятия различных действий и форм деятельности разных подразделений, разработка производственных программ и финансирования), институционный (разработка долгосрочных планов, формулировка целей, адаптация предприятия к разным изменениям). Известны также: высший уровень (стратегическое и общее управление предприятием, формирование корпоративной культуры), средний (координация и контроль деятельности менеджеров низшего звена, разработка производственных программ и планов, подготовка информации для принятия решения высшим звеном, обеспечение связи между высшими и низшими менеджерами) и низший (осуществление контроля за выполнением производственных задач, непосредственное руководство рабочими и сотрудниками, обеспечение информацией руководителей высших уровней о выполнении производственных задач).

Известны новые CALS-технологии. Это непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции на всех ее стадиях при использовании единого информационного пространства. К числу основных компонентов CALS-технологий относятся системы и средства: CAD/CAM/CAE, реализации технологии параллельного проектирования в режиме группового использования данных, управления проектными и инженерными данными, методики визуализации и разработки документации, системы и средства обмена данными и стандартные интерфейсы для специализированных систем, разработки прикладного программного обеспечения, методики анализа процессов предприятия в проектно-технологической, производственной и управленческой сферах.

В связи с развитием информатики, появлением быстродействующих компьютеров, соответствующего программного обеспечения, появились существенно новые возможности изготовления качественных изделий. Существенно новым и перспективным способом изготовления изделий является метод лазерной стереолитографии SLA, а также трехмерное их изготовление. Раньше это было известно, как применение методов быстрого прототипирования (RP), которые позволяют выполнять оптимизацию конструкторских, технологических и эксплуатационных решений в виртуальном пространстве. Фактически стереолитография была началом печати на 3D-принтерах, теперь охватывает все большие области применения. Концепция лазерной стереолитографии продукции, например конструкции изделий, заключается в получении динамического виртуального образа на компьютере, включающей в себя определенный набор технических, программных и аппаратных средств.

Использование трехмерного изготовления изделий произошло благодаря появлению 3D-принтеров, устройств, использующий метод послойного образования физического объекта цифровой 3D-модели. Технология 3D изготовления может осуществляться разными способами и с использованием разных материалов. Применяются две технологии формирования слоев: лазерная и струйная. При лазерной стереолитографии ультрафиолетовый лазер постепенно, пиксель за пикселем, засвечивает жидкий фотополимер или он засвечивается ультрафиолетовой лампой через фотошаблон, меняющийся с новым слоем. Жидкий полимер затвердевает и превращается в достаточно прочный пластик. При струйной стереолитографии полимеризация фотополимерного пластика проходит под действием ультрафиолетовой лампы.

Естественно, что все это в производстве нужно контролировать, для чего используются различные системы управления. К примеру, автоматизированная система управления (АСУ), представляющая собой систему управления, ориентированную на широкое и комплексное использование технических средств и экономико-математических методов решения информационных задач управления. АСУ производством предназначены для автоматизации процессов сбора, пересылки информации об объекте управления, ее использования и выдачи управляющих воздействий. Это совокупность экономико-математических методов, технических средств, устройств отображения информации, средств связи и организационной структуры, обеспечивающие рациональное управление сложными объектами и процессами. АСУ позволяет решать задачи перспективного и оперативного планирования производства, оперативного распределения загрузки оборудования, оптимального распределения оборудования, использования ресурсов и т.п. Система состоит из функциональной и обеспечивающей частей.

В производстве не обойтись и без инновационной и инвестиционной деятельности. Результатом инновационной деятельности являются новая продукция или дополнительные услуги с новым качеством. Это может быть определено как деятельность по созданию, освоению, распространению и использованию инноваций. Вопросы управления инновационной деятельностью решает инновационный менеджмент. Для финансирования инновационной деятельности создаются венчурные фонды.

Само производство, ориентируясь на будущее, должно быть компьютерно-интегрированным (CIM). CIM, где все процессы объединены и управляются компьютерами. CIM позволяет более эффективно использовать технологическое оборудование, увеличить производительность труда, уменьшить количество отходов, увеличить ассортимент продукции и удовлетворенность покупателей. CIM объединяет ряд проблемно-ориентированных компьютерных систем: CAD, CAP, CAM, PPS, CAQ, TQM, MRP, TPM, LAN и других. В основу производства CIM заложены положения: проще, лучше, дешевле. Можно отметить, что в последнее время значительных успехов в этом направлении достигли фирмы Bosch, Sormal-Matva, Vikman, Hitachi, Camay и другие.

Одним из направлений повышения эффективности производства является применение компьютерных информационных технологий (КИТ). Современные КИТ объединяют вместе компоненты производства, которые были отделены друг от друга. Работа оборудования, всех отделов координируется одним компьютером. Ядро структуры образует производственная подсистема LOM, включающая ряд обязательных КИТ, которые делятся на три составляющие: компьютерное проектирование CAD, компьютерное производство CAM и интегрировано информационная сеть (IIN).

Без управления затратами на производстве не обойтись. В основе существенного уменьшения затрат лежат не системы управления затратами, а высокоэффективная технология изготовления. Системы управления затратами могут их уменьшить, но в пределах минимума необходимых затрат конкретной продукции и технологии. Если про-

дукция и технология старые и затратные, то уменьшить затраты ее изготовления невозможно. К современным системам управления затратами производства продукции [3] относятся системы: анализа и управления затратами и себестоимостью продукции, безубыточности CVP производства, управления по видам деятельности ABC, управления затратами standart-costing, direct-costing, FMEA-анализ затрат, метод бенчмаркинг, система целевой калькуляции затрат Target Costing, финансовый анализ и другие, успешно применяемые в зарубежной практике.

Значительно улучшить эффективность производства можно за счет применения предпринимательства, которое является особым видом хозяйствования, где главным субъектом является предприниматель, который рационально сочетает факторы производства на инновационной основе и собственную ответственность, организует и руководит производством с целью получения дохода. Успешное проведение предпринимательства возможно лишь при условии твердого знания его основ, хотя сейчас наблюдается положительная ментальная ориентированность на предпринимательство. Знание динамичности процессов является необходимым условием его успешности. Для предпринимательства основным условием является самостоятельность, независимость субъектов хозяйствования, экономическая заинтересованность и ответственность за принятие и выполнение производственных решений. Базовыми элементами предпринимательства считается инициативная творческая работа персонала, частный и открытый ее характер. К основным препятствиям предпринимательству можно отнести нелепые законы, коррупцию, плохую среду, рэкет, клановость, преступность и т.п.

На создание современного малозатратного производства качественной и конкурентной продукции влияют как внутренние, так и внешние факторы. Внутренние факторы возникают в самом производстве, а внешние – являются результатом влияния окружающей среды, особенно экономики и политики. Поэтому для решения этих проблем необходимо выполнить ряд трудоемких этапов:

- разработать законодательство, сопровождающее качество и конкурентность продукции, изготавливаемой в малозатратном производстве;
- заменить налоговую систему по современному малозатратному производству;
- усилить ответственность за выпуск некачественной продукции вплоть до уголовной;
- создать кадровое обеспечение производства высококвалифицированными специалистами высокой духовности и чувством хозяина;
- возродить и модернизировать материально-техническую базу малозатратного производства;
- разработать теорию и практику малозатратного эффективного производства, учитывающего современные достижения науки и техники;
- разработать теорию и практику эффективного функционирования современного инновационного и инвестиционного производства.

В общем, необходимо: улучшить конструкцию изделий, заменить устаревшие технологии и оборудование CALS-технологиями и современным оборудованием, а особенно обеспечить высокой квалификацией руководящий и производственный персонал. При этом проводить мониторинг всех производственных затрат. Это зависит от многих факторов, но в основном финансирования и использования зарубежного опыта.

Список литературы: 1. Шабайкович В. А. Сучасне виробництво продукції. – Львів, ЛІМ, 2014 – 329с. **2.** Григор'єва Н. С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів. – Луцьк: Надстир'я, 2008. 520с. **3**. Петрович Й. М. Економіка підприємства. – Л. Магнолія плюс, 2008. 580 с.

ГРАНТ КАК ОДИН ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Шабалина Л. В. (*ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел.: +38 (062) 3010351; E-mail: luda_2270@mail.ru

Abstract: *In the article the retrospective analysis of the financing of higher education institutions through grants. The mechanism of grants based on the techniques of presenting project proposals consist of six stages. To assess the effectiveness of grants higher education institution offered five blocks of indicators, each of which has its specificity.*
Keywords*: high school, grant, innovation project, project proposal, funding mechanism of higher education institutions of the consortium.*

На сегодняшний день перед российскими высшими учебными заведениями актуализируется вопрос относительно финансирования инновационных проектов и методов управления научной и образовательной деятельностью. Данные обстоятельства связаны с тем, что образование напрямую влияет не только на уровень формирования конкурентоспособного общества, но и инвестиционной привлекательности страны. В этой связи необходима ориентация деятельности вузов на повышение эффективности бюджетных средств выделенных на науку. Так, необходимо «…скорректировать бюджетные инструменты, сделать их назначение и использование более адресным, выработать дифференцированный подход к поддержке различных стадий исследовательского цикла, установить понятную и прозрачную связь между научными результатами и вознаграждением учёных. И в то же время дать возможности для творческого роста и профессиональной самореализации исследователей, что обеспечить им достойный уровень жизни» [1].Очевидно, необходимо сформировать систему финансового обеспечения высших учебных заведений, что будет способствовать хозяйственно-экономической самостоятельности университетов за счет использования различных источников финансирования. Одним из таких источников являются гранты. Это достаточно новый внебюджетный финансовый инструмент, который поможет сделать значительный вклад в улучшение качества образования и повышение интеллектуального уровня населения в целом. В развитых странах для функционирования и развития учебных заведений используется значительная доля внебюджетных источников, например, в США – 52%, Великобритании – 38%, Канаде – 39% и Японии – 57% [2, с.78].

Значительный вклад в разработку задач, связанных с вопросами финансирования высшего образования, сделали Величко А. В., Гойко А. Ф., Долишний Н. И., Евтушенко Г. И., Казак В. Есть., Куценко В. И., Лопушняк Г. С., Новиков В. М. и др. Вопросы финансирования высшего образования за счет грантов рассматривали в своих работах Михайлов М. А., Звонарь В. П. и Калинина К. В.

Системный подход к организации наукиактивно формировался в 30-е годы XX в., когда удалось связать науку и промышленность, и соответственно удовлетворить интересы общества и экономики в целом[3]. Начиная с 1985 г. начало происходить дробление и разгосударствление науки. Так, в 1987 г. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О переводе науки на хозрасчет и самофинансирование» привело к деградации социально значимых функций науки, нарушению воспроизводства научных кадров, разрушению механизмов финансирования и утрате учеными мотивации. После развала СССР в 1991 г., научные кадры, разочаровавшиеся в научном и государственном руководстве, на свой страх и риск стали создавать новые институции - аналитические и консультативные центры,

новые научные общества, научные журналы и издательства. В данных обстоятельствах произошел процесс становления системы государственных научных фондов России. Деятельность научных фондов, способствовала сохранению научных организаций, поскольку гранты фондов удержали многих ученых на их рабочих местах в самый критический момент, когда очень многие научные работники, потеряв всякие надежды, готовы были покинуть науку и страну[4].

В середине 90-х годов XX в.размер гранта составлял около 250 тыс. руб. в год, что предопределяло скромный объем работ по проектам, что заставляло ученых ставить небольшие, но легко решаемые задачи. По мере роста бюджета фондов стали ставиться задачи ориентированные на практический результат, а также создаваться условия для связи фундаментальной и прикладной науки. Благодаря тому, что фонды пытались решать обширный круг проблем и хоть в какой-то мере удовлетворить первоочередные потребности в сфере науки, они получили широкую известность и признание в научном сообществе. В середине 2000-х годов научные фонды стали неотъемлемым компонентом научной и образовательной деятельности России, что позволило выявить количество активно работающих ученых, а также то, где и над чем они работают. Благодаря инициативным грантам фондов получено около 30% всех научных результатов, поскольку в фондах реализуется принципиально новая технология выбора проектов, которая основана на конкурсном отборе поступивших заявок на основе экспертизы, действуют прозрачные механизмы финансирования, отчетности и контроля за расходованием средств [5]. Работа финансируется через предоставление заявителю, выигравшему конкурс, целевого гранта.

Для оценки вероятности получения гранта необходимо обращать внимание на следующие основные показатели: ежегодный объем профинансированных грантов; количество грантов; объем финансирования по каждому гранту; тематика активно поддерживаемых грантов; средний срок исполнения грантов и региональный аспект. Имея подобную информацию можно сразу определиться с перспективным фондом, поскольку большая часть фондов активно выделяет гранты уже знакомым или общеизвестным организациям. Некоторые фонды ориентируются на новые проекты и не финансирует организации, с которыми уже работали. Иногда фонды объединяются в финансировании одного гранта в случае его однотипности и сроков реализации.

Проанализируем технологию подачи проектного предложения, которую можно условно разбить на шесть этапов: идея, консорциум, подготовка предложения, подача заявки, права интеллектуальной собственности, соглашение и создание консорциума проекта.

1.Идея проекта.

1.1.Определите роль, в которой организация себя видит – инициатор или партнер в проекте, инициированном другими.

1.2. Проверьте сроки подачи заявки.

1.3. Примите участие в информационном дне, того фонда, куда подаете заявку.

1.4. Обратитесь к экспертам фонда за советом относительно соответствия вашей идеи целям конкурса.

1.5. Обсудите идею с исследовательской группой и потенциальными партнерами.

1.6. Проанализируйте проекты, которые уже финансировались.

1.7. Достижимость поставленных задач должна наблюдаться в течение проекта, а не по окончании.

1.8. Цели должны быть измеримыми.

1.9. Проверьте в научных источниках, насколько инновационной является идея.

2. Консорциум проекта.

2.1. Дайте характеристику опыта, связанного с конкурсом, который рассматривается как наиболее интересный для организации на одну страницу: опишите свои исследовательские навыки, соответствующие конкурсу, представьте основных партнеров вашей группы и их основные достижения, охарактеризуйте опыт международного сотрудничества организации и исследовательской группы.

2.2. Подготовьте описание идеи проекта на две страницы: концепция проекта; научно-технические цели; прогресс по сравнению с текущим состоянием; дополнительная ценность для развития страны или группы стран.

2.3. Поиск партнеров для проекта. Используйте личные контакты и партнеров по предыдущим проектам, изучите базу проектов фонда, участвуйте в конференциях и семинарах по интересующей тематике. Обратите особое внимание, что важным является взаимодополняемость навыков и опыта, а также мультидисциплинарность проекта.

3. Подготовка проектного предложения.

3.1. Строго придерживайтесь структуры и формата документов, которые определены фондом.

3.2. Заявка должна быть доступной для понимания.

3.3. Каждая цель должна быть четко ориентирована на конечного пользователя (отрасль, министерства, предприятия и т.д.).

3.4. Всегда ценится участие в других подобных исследовательских проектах.

3.5. Наиболее правильный способ подачи заявки - ваша организация и координатор.

3.6. Опишите часть работы организации.

3.7. Представьте результаты работы в количественных показателях.

3.8. Представьте основные категории затрат по проекту: на содержание персонала; организацию мероприятий; публикации и рекламно-информационную деятельность; амортизацию оборудования; привлечение субподрядчиков; транспортные расходы и прочие расходы, если это необходимо для реализации проекта.

4. Подача проектной заявки. Как правило, требуется зарегистрироваться всем участникам проекта в электронной системе фонда. Координатор имеет полный доступ к заявленному предложению и может вносить все изменения, партнеры изменяют только данные, касающиеся из самих.

5. Права интеллектуальной собственности участников проекта.

5.1. До подписания соглашения о предоставлении гранта, необходимо обсудить права интеллектуальной собственности.

5.2. Договориться о результатах, полученных вследствие выполнения проекта и связанные с ними права интеллектуальной собственности.

5.3. Разрешение доступа общественности к созданной интеллектуальной собственности.

5.4. Прямое или косвенное использование созданной интеллектуальной собственности в дальнейших исследованиях или коммерческой деятельности.

5.5. Лицензии и права пользователя созданной интеллектуальной собственностью.

5.6. В случае, если ни один из участников не заинтересован в защите созданной им интеллектуальной собственности, они должны уведомить об этом фонд до начала каких-либо действий по распространению.

6. Соглашение о создании консорциума проекта.

6.1. Не существует юридически обязательной формы соглашения о создании консорциума, его, как правило, предлагает координатор.

6.2. Не заключайте соглашение о создании консорциума без предварительного детального ознакомления с условиями. При наличии сомнений обратитесь за советом к консультанту по юридическим вопросам.

6.3. Проанализируйте предложенный способ использования знаний (созданной интеллектуальной собственности), возникающих в результате реализации проекта, а также предложенную модель прав доступа.

Для оценки эффективности освоения грантов высшим учебным заведением целесообразно рассмотреть в динамике изменение показателей его научно-инновационной деятельности. Для этого целесообразно разбить показатели на блоки, каждый из которых обладает своей спецификой.

I блок «Человеческие ресурсы»: количество научных кадров и профессорско-преподавательского состава занятого в выполнении грантов; количество научных и других кадров из других организаций совместно участвующих в выполнении работ по грантам; количество кандидатских и докторских диссертаций, в которых использовались результаты освоенных грантов.

II блок «Финансовые ресурсы»: количество собственных средств организации используемых в грантах; количество полученных средств за счет грантов.

III блок «Выполнение и внедрение разработок»: объем инновационных товаров и услуг выполненных в результате гранта; используемые передовые технологии для освоения гранта; число разработанных передовых производственных технологий.

IV блок «Научные публикации»: число публикацийв научных журналах, индексируемых в Scopus, WebofScience за счет и по результатам грантов; число цитирований в научных журналах, индексируемых в Scopus, WebofScience по результатам грантов.

V блок «Развитие технологий»: поступление патентных заявок и выдача патентов в результате получения грантов.

Проведенный анализ развития науки и образования России свидетельствует о том, что грантовая система финансирования является эффективным и перспективным инструментом. Думается, что российским университетам необходимо развивать взаимодействие с университетами СНГ, а также странами ближнего и дальнего зарубежья, с целью создания консорциумов для совместной подачи проектных заявок и сотрудничества. В перспективе Министерству образования и науки России необходимо разработать мотивационный механизм привлечения к проектной работе высшие учебные заведения, что позволит увеличить количество инновационных технологий и товаров в российской экономике.

Список литературы: **1.** Президент России: [сайт]. URL:http://kremlin.ru/events/president/news/16726. **2.** Панасюк Л. Проблеми і перспективи фінансово гозабезпечення вищих закладів освіти // Економіст. – 2011. – № 4. – С. 78 – 80. **3.** Милаева О. В.; Сиушкин А. Е. Организация научно-исследовательской работы в вузах в СССР в 1930-е годы // Сборники конференций НИЦ Социосфера. – 2011. – № 14 [Электронный ресурс]. URL:http://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-nauchno-issledovatelskoy-raboty-v-vuzah-v-sssr-v-1930-e-gody#new_comment). **4.** Семенов Е. В. Современное состояние и новая роль гуманитарных и социальных наук // Общественные науки и современность. – 1997. – №1 [Электронный ресурс]. URL: http://www.ict.nsc.ru/win/conferen/rus-sci/dokl/semenov.html., 10.11.2013). **5.** Дежина И. Г. Механизмы государственного финансирования науки в России. – Москва: ИЭПП, 2006. – 130 с. [Электронный ресурс]. URL:http://www.iep.ru/files/text/working_papers/99.pdf. **6.** Шабаліна Л. В. Литвак А. О. Аналіз співпраці українських вищих навчальних закладів з європейською програмою TEMPUS // Економічнийвісник Донбасу/ - 2014 - № 1 (35) – С. 204 – 209.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИТАНИЯ МЕТОДОМ САМООРГАНИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ

Заплетников И. Н., Кириченко В. А. *(ГО ВПО «ДонНУЭТ имени Михаила Туган – Барановского», г. Донецк, ДНР)*
Тел./Факс: +38 (062) 304-50-46, E-mail:obladn@kaf.donnuet. education

Abstract: *The article presents the results of finding the regularity of the noise characteristics of mechanical equipment of food enterprises during the operation by the method of self-organization of models using the example of potato peeler MOK-350.*
Keywords: *forecasting, noise characteristics, method of self-organization of models, mechanical equipment.*

Повышенный уровень шума вредно действует на организм человека, при этом снижается производительность труда, повышается утомляемость, возникают профессиональные заболевания. Эти факторы не редко становятся причинами текучести кадров на предприятиях питания.

С целью обеспечения допустимого уровня шума на рабочих местах по санитарным нормам, устанавливаются предельно допустимые значения шумовых характеристик (ПДШХ) оборудования. Однако, основываясь на литературные данные, было определено, что шумовые характеристики (ШХ) механического оборудования предприятий питания во время эксплуатации ухудшаются [1, 2]. Это становится причиной возникновения «шумового отказа», когда уровень излучаемого звука начинает превышать ПДШХ. Вследствие этого, данное оборудование нельзя использовать по санитарно-гигиеническим нормам, что, в свою очередь, приводит к уменьшению срока его эксплуатации.

В связи с этим возникает необходимость предупреждения возникновения «шумового отказа» во время эксплуатации. Чтобы предупредить возникновение «шумового отказа» прежде всего необходимо определить закономерности его возникновения.

Целью данной статьи является нахождение закономерностей изменения ШХ механического оборудования предприятий питания во время эксплуатации используя метод самоорганизации моделей.

Существуют разные алгоритмы поиска закономерностей по известным экспериментальным данным, но независимо от используемого метода, необходимо решить, что является прогнозируемой величиной. В данном случае прогнозируемой величиной являются значения ШХ механического оборудования.

Решающую роль при нахождении закономерностей изменения ШХ механического оборудования играет выбор соответствующей модели, которая, будучи наполненной числовыми значениями изменения ШХ, становится непосредственным инструментом прогнозирования. Имея в своем распоряжении математическую модель, можно получить разные значения изменения ШХ, которые соответствуют определенному времени эксплуатации.

Одним из методов прогнозирования является использование регрессивного анализа для построения статистической зависимости между полученными величинами изменения ШХ механического оборудования и экстраполяция полученной зависимости в будущее. Однако, поиск возможности увеличения достоверности прогноза приводит к необходимости использования и других методов прогнозирования, в частности, метода самоорганизации моделей на компьютере.

Метод прогнозирования, основанный на принципе самоорганизации моделей, исходит из минимального объема необходимой для моделирования априорной информации. Однако, это не означает, что достоверные сведения об объекте не должны вноситься в программу: все, что известно точно, необходимо внести.

Отсутствующие сведения компьютерная программа находит с помощью перебора (поочередного испытания) большого количества вариантов моделей по некоторым внешним критериям [3].

Критерий называется внутренним, если его определение основано на использовании той же информации, которая используется и для получения самой модели. Примером может служить критерий среднеквадратичной ошибки, рассчитанной по всем точкам таблицы исходных данных. При наличия даже небольших препятствий (ошибок измерения) среднеквадратичная ошибка тем меньше, чем более сложно уравнение регрессии. Как только число слагаемых в этом уравнении станет равным числу точек в таблице исходных данных, ошибка становится равной нулю при любом виде членов уравнения. Поэтому любой внутренний критерий сравнения моделей приводит к ошибочному правилу: чем сложнее модель тем она точнее. Это не так.

В отличие от вышеизложенного, определение внешних критериев основано на новых точках, не использованных при построении прогностической модели. Согласно теоремы Геделя из математической логики о необходимости внешнего дополнения, критерий перебора моделей обязательно должен быть внешним, то есть он должен включать в себя новую, свежую информацию. Принцип самоорганизации гласит, что при постепенном усложнении прогностических моделей внешний критерий проходит через свой минимум, который определяет единую (для каждого критерия) модель оптимальной сложности. В качестве внешних критериев в теории самоорганизации рекомендуется:

Критерий регулярности – среднеквадратичная ошибка, рассчитанная на множестве точек отдельной проверочной последовательности данных:

$$\Delta^2(B) = \frac{\sum_{1}^{N_b} (y - y_{табл.})^2}{\sum_{1}^{N_B} y^2_{табл.}} \to \min \qquad (1)$$

где B – выход модели,

N_b – множество точек проверочной последовательности.

Критерий минимума сдвига - различие исходных величин, каждая из которых получена на половине данных:

$$n^2_{см} = \frac{\sum_{1}^{N} (y_A - y_B)^2}{\sum_{1}^{N} y^2 табл.} \qquad (2)$$

Критерий требует, чтобы прогностическая модель была одинаковой при любом распределении таблицы исходных данных.

Мерой точности прогностической модели служит глубина минимума внешнего критерия. Минимум должен быть одного порядка с дисперсией препятствий, точнее, минимум должен быть меньше $\tau\sigma^2$, где $\tau = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_{\max}}$ – относительный диапазон изменения значений ШХ во времени.

Чем глубже минимум, тем более достоверная модель. Глубочайшему минимуму отвечает единая модель оптимальной сложности, которая дает объективный прогноз.

Глубина минимума критерия выбора модели используется для оценки всех параметров алгоритма самоорганизации.

Применение тех или иных критериев выбора моделей диктуется, в первую очередь, видом используемых опорных функций.

В качестве опорных функций чаще всего используются полиномиальные или гармонические функции, которые зависят от времени.

Другим классом опорных функций являются конечно-разностные уравнения авторегрессионного типа, например:

$$y_t = a_0 + a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + a_3 y_{t-3} \tag{3}$$

Этот класс опорных прогнозирующих функций является более подходящим по сравнению с классом алгебраических (полиномиальных и гармонических) функций, поскольку обеспечивается большее разнообразие решений. В зависимости от класса избранных опорных функций используются те или иные критерии. При этом преимущество отдается комбинированным критериям, потому что единый критерий часто не обеспечивает однозначного выбора структуры модели или же требования к моделям окажутся противоречивыми и не могут быть выражены в виде одного критерия, который минимизируется.

Комбинированные критерии обычно формируются из критериев, которые представляли, $К_1$ и $К_2$:

$$K = \sqrt{K_1^2 + K_2^2} \to \min \tag{4}$$

Согласно теоремы Вейерштрасса, на участке интерполяции любая довольно сложная модель (функция) хорошо составляется по точкам. А вот в области прогноза (экстраполяции) разные модели образуют целый "веер" расходящихся кривых. Чтобы выбрать в этом веере оптимальную кривую, дающюю наилучший прогноз при алгебраической форме моделей, рекомендуется комбинированный критерий:

$$K_1 = \sqrt{n_{см}^2 + \Delta^2(C)} \to \min \tag{5}$$

то есть модель должна быть самой несмещенной из всех рассмотренных моделей и к тому же давать минимальную ошибку прогноза.

При конечно-разностной форме моделей можно воспользоваться критерием:

$$K_2 = \sqrt{n_{см}^2 + i^2(N)} \to \min \tag{6}$$

В этом случае выделение испытательной последовательности не нужно, критерий $i^2(N)$ определяется на всех точках таблицы.

Оценивание модели в целом проводится по статистическим параметрам: стандартной ошибке для скорректированных остатков, квадрату коэффициента множественной корреляции. Оценка модели состоит в получении численных значений ее параметров в предположении адекватности модели прогнозируемому ряду ШХ.

Параметры модели находят путем минимизации суммы квадратов ошибок прогноза на шаг вперед методом наименьших квадратов итеративным способом.

Рассмотрим реализацию метода прогнозирования изменения ШХ механического оборудования предприятий питания во время эксплуатации на примере прогнозирования изменения ШХ картофелечистки МОК-350.

Программа прогнозирования методом самоорганизации моделей реализована на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ Table Curve 3D v 4.0.01.25. Исходными данными для прогнозирования изменения ШХ картофелечистки МОК-350 были уровни звуковой мощности в октавных полосах частот, определенные экспериментально, и время эксплуатации.

Шумовые характеристики картофелечистки МОК-350 определялась техническим методом ISO «Акустика» 3743-2-94. Измерения проводились аттестованным шумомером 00023 «Роботрон». За измерительную поверхность был принят параллелепипед, который огибает картофелечистку на расстоянии 1м. Исследования ШХ картофелечистки проводились на протяжении 62 циклов, каждый из которых составил 6 часов беспрерывной работы картофелечистки в нагруженном режиме. После каждого цикла проводились измерения шумовых характеристик картофелечистки при работе без продукта с целью определения тенденции изменения шумовых характеристик картофелечистки во времени. Шумовые характеристики картофелечистки определялась при работе без продукта для того, чтобы обнаружить изменения конструкционного шума, то есть без влияния шума, вызванного столкновением картофеля с рабочим органом и камерой картофелечистки.

Для построения прогностической модели изменения ШХ картофелечистки методом самоорганизации моделей на ПК использовался пакет прикладных программ Table Curve 3D v 4.0.01, где с помощью подбора опорных функций определили наиболее соответствующую модель в аналитическом (7) и в графическом виде согласно рисунка 1.

Оценка параметров изменения ШХ во времени находилась методом наименьших квадратов, сущность которого состоит в нахождении таких параметров, при которых сумма квадратов отклонений рассчетных значений уровней звуковой мощности от фактических значений уровней звуковой мощности была бы минимальной.

Прогностическая модель изменения ШХ картофелечистки МОК-350 имеет следующий вид:

$$L_p = a + bt^{0,5} + cf + df \ln f + ef^{0,5} \ln f + kf / \ln f \qquad (7)$$

где L_P – уровень звуковой мощности, дБ;

t – время эксплуатации картофелечистки, час;

f – октавная частота, Гц.

a, b, c, d, e, k – параметры, которые входят в состав прогностической модели:

a = -1,392951; b = 0,0073340683; c = -0,39650907;

d = 0,014738056; e = -0,50380602; k = 2,8338782.

Коэффициент множественной корреляции r^2 = 0,9636687 указывает на довольно высокую прогностическую способность построенной модели.

Стандартная ошибка составила: Fitstderr=1,3923436 дБ, что является допустимым значением при построении прогностических моделей такого класса.

Стандартную ошибку необходимо прибавлять к полученным рассчетным значениям уровней звуковой мощности.

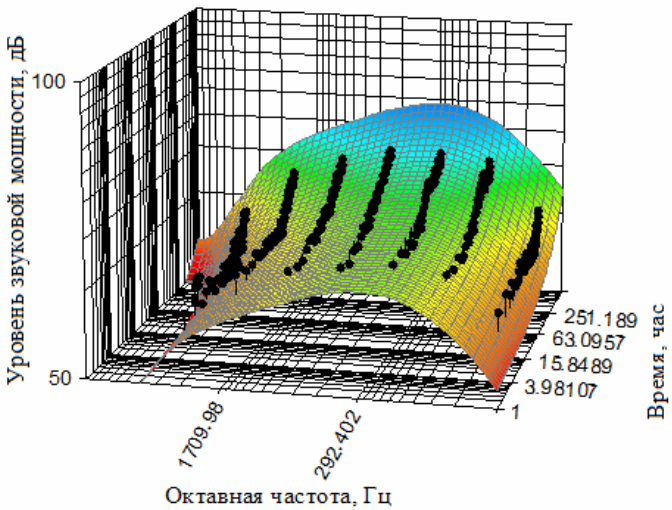


Рис. 1. График зависимости изменения ШХ картофелечистки МОК-350 во времени от октавной частоты.

Итак, по экспериментальным значениям уровней звукового давления в октавных полосах частот какого-либо механического оборудования предприятий питания, определенных во время эксплуатации, используя метод самоорганизации моделей можно получить прогностическую модель. Подставляя необходимые расчетные значения (октавную частоту и значение времени эксплуатации, на которое необходимо спрогнозировать изменение уровней звуковой мощности) расчитываем изменение ШХ оборудования на заданных частотах. Сравниваем полученные результаты прогнозирования с установленными значениями ГДШХ и определяем время возникновения «шумового отказа».

Таким образом, можно определить ухудшение ШХ на любой полосе частот в любой момент времени эксплуатации. Это даст возможность предупредить возникновение «шумового отказа» и удлинить срок эксплуатации данного оборудования.

Удлинение срока эксплуатации достигается сравнением времени возникновения «шумового отказа» со временем возникновения электромеханического отказа. Такое сравнение можно осуществить с помощью средств, которые направлены на уменьшение излучаемого уровня шума [4].

Вывод: прогнозирование изменения ШХ механического оборудования предприятий питания во время эксплуатации, используя метод самоорганизации моделей, позволяет определить время возникновения «шумового отказа» и тем самым предупредить его наступление в срок безотказной работы машины.

Перспективами дальнейших исследований в данном направлении является поиск закономерностей возникновения «шумового отказа» механического оборудования предприятий питания с помощью других методов прогнозирования.

Список литературы: **1.** Заплетников И. Н. Виброакустика оборудования пищевых производств: монография / И. Н. Заплетников / Донец. нац. ун-т экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского. – Харьков: НТМТ, 2015. – 542 с. **2.** Заплетников И. Н. Виброакустика машин очистки корнеклубнеплодов: монография / И. Н. Заплетников, Ю. В. Жидков / Донец. нац. ун-т экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского. – Донецк: Норд-Пресс, 2008 . – 147 с. **3.** Заплетников И. Н. Моделирование виброакустических процессов технологического оборудования пищевых производств: монография / И.Н. Заплетников / Донецкий гос. универ. экономики и торговли. – Донецк: ДонГУЭТ, 2001. – 141 с. **4.** Заплетников И. Н. Снижение шума торгово-технологического оборудования. / Заплетников И. Н. – Киев: «Вища школа», 1990. – 151 с.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РЕЖИМОВ ТОНКОГО ТОЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

Ивченко Т. Г., Лыхманюк Е. О.
(ДонНТУ, г. Донецк)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104;E-mail: tm@fimm.donntu.org

Absract: *The results of calculation of the cutting regime at finish turning by tools from super hard materials taking into account an action of technological cutting fluid (TCF) are expected. The coefficients of cutting temperature declineat the application of thedifferent TCF are set. The comparative analysis of possibilities of the cutting speed increase is executed of the removal of temperature limitations due to the TCF application.*
Keywords: *super hard materials, finish turning, cutting regime, optimization, cutting fluid*

Применение режущих инструментов, оснащенных сверхтвердыми инструментальными материалами (СТМ) является весьма существенным источником интенсификации процесса резания и важнейшим резервом повышения эффективности механообработки [1]. В связи с этим, представленные исследования возможностей повышения режимов резания для инструментов из СТМ, весьма актуальны.

Существенным ограничением повышения режимов лезвийной обработки инструментами из СТМ являются высокие температуры в зоне резания, для снижения которых может быть целесообразным применение смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) [2].

В настоящее время достаточно хорошо разработана методика определения области рационального применения инструментов из СТМ при тонком точении на основе оптимизации режимов резания по критериям производительности и себестоимости с учетом температурных ограничений [3].

Исследования возможностей снижения температуры в зоне резания при обработке тонким точением свидетельствуют о высокой эффективности охлаждения при подаче СОТС в зону резания в распыленном состоянии [4]. Наиболее распространенные способы подачи СОТС в зону резания – свободным поливом и высоконапорной струей неприемлемы для СТМ в силу их хрупкости и высокой чувствительности к тепловым ударам.

Оценка эффективности использования СОТС по критериям повышения производительности и снижения себестоимости [5] свидетельствует о целесообразности применения СОТС при тонком точении инструментами из СТМ. Снятие температурных ограничений за счет применения СОТС позволяет существенно повысить режимы резания. Представляет практический интерес определение коэффициентов их повышения в различных условиях обработки и разработка рекомендаций по учету влияния СОТС на режимы тонкого точения.

Цель работы – исследование возможностей повышения режимов резания и эффективности обработки при тонком точении инструментами из СТМ с использованием СОТС.

Возможности повышения режимов резания при тонком точении инструментами из СТМ с использованием СОТС исследуются на основе оптимизации режимов резания [5]. Оптимальная подача при тонком точении не зависит от критерия оптимизации и определяется, исходя из требуемой шероховатости обработанной поверхности R_a,:

$$S_o = \left(R_a \big/ C_R K_R t^{x_r}\right)^{1/y_r}, \qquad (1)$$

где C_R, K_R,– коэффициенты и y_r, x_r – показатели степени, учитывающие влияние подачи и глубины резания на шероховатость обработанной поверхности.

Оптимальные скорости резания определяются с учетом критерия оптимизации: V_{oP} – для критерия максимальной производительности, V_{oC} – для критерия минимальной себестоимости.

$$V_{oP}=\begin{cases}\left(\Theta/C_\Theta K_\Theta t^{x_t} S_o^{\,y_t}\right)^{1/n_t}, & K_{\Theta Po}<1;\\ C_V K_V/T^m t^{x_v} S_o^{y_v}, & K_{\Theta P_o}\ge 1;\end{cases}\quad V_{oC}=\begin{cases}\left(\Theta/C_\Theta K_\Theta t^{x_t} S_o^{\,y_t}\right)^{1/n_t}, & K_{\Theta Co}<1;\\ \left(m/(1-m)M\right)^m S_o^{y_v}, & K_{\Theta Co}\ge 1,\end{cases} \quad (2)$$

где $M=\left(t_c+A_u/A\right)\left(t^{x_v}/C_V K_V\right)^{1/m}$ – коэффициент, учитывающий, условия обработки**;** T – период стойкости инструмента; C_V, K_V – коэффициенты и x_v, y_v, m – показатели, характеризующие степень влияния глубины, подачи и стойкости на скорость резания; C_Θ, K_Θ - коэффициенты и n_t, y_t, x_t – показатели степени, характеризующие степень влияния скорости резания, подачи и глубины на температуру резания; A – стоимость станко-минуты, A_u – стоимость одного периода стойкости инструмента; t_c – время смены инструмента.

$K_{\Theta Po}=800/\Theta(V_{oP}, S_o)$; $K_{\Theta Co}=800/\Theta(V_{oC}, S_o)$ – граничные значения коэффициентов снижения температуры резания, определяющее необходимость учета температурного ограничения для различных критериев оптимизации:

$$\begin{aligned}K_{\Theta Po}&=800/C_\Theta\left(C_V K_V T^{-m}\right)^{n_t}\left(C_R K_R t^{x_r}/R_a\right)^{(y_v n_t-yt)/y_r} t^{(x_t-x_v n_t)};\\ K_{\Theta Co}&=800/C_\Theta\left(m/(1-m)M\right)^{mn_t}\left(C_R K_R t^{x_r}/R_a\right)^{(y_v n_t-yt)/y_r} t^{x_t}.\end{aligned} \quad (3)$$

Учет температурных ограничений приводит к снижению оптимальных режимов резания. Количественная оценка возможностей интенсификации режимов резания при снятии температурных ограничений за счет использования СОТС может быть выполнена на основании коэффициентов изменения подачи K_S и скорости резания K_V:

$$K_S=K_R^{-1/y_r};\ K_V=\begin{cases}K_\Theta^{-1/n_t} K_R^{y_t/y_r n_t}, & при\ \ K_{\Theta o}\le 1;\\ K_R^{y_v/y_r}, & при\ \ K_{\Theta o}\ge 1.\end{cases} \quad (4)$$

где K_Θ , K_R, - коэффициенты, учитывающий влияние СОТС на температуру резания, шероховатость обработанной поверхности и стойкость режущего инструмента.

Закономерности изменения коэффициентов K_S и K_V в зависимости от коэффициентов K_R, K_T и K_Θ представлены на рис. 1. Оптимальная подача возрастает с уменьшением коэффициента снижения шероховатости K_R и степени влияния подачи (показатель y_r) на шероховатость. Оптимальная скорость резания возрастает при уменьшением коэффициента снижении температуры резания K_Θ тем сильнее, чем больше коэффициент снижения шероховатости K_R.

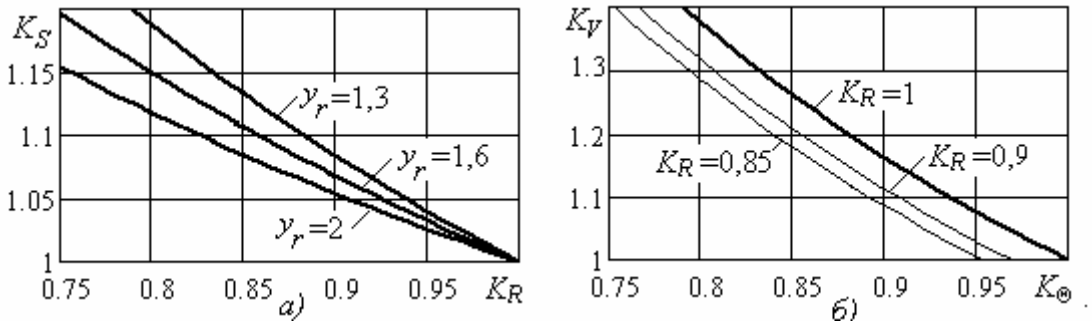


Рис. 1. Графики зависимости коэффициентов изменения оптимальных подач K_S от коэффициента снижения шероховатости обработанной поверхности K_R – *а) и* скоростей резания K_V от коэффициентов снижения температуры резания K_Θ – *б)*

При использовании СОТС с подачей ее в зону резания в распыленном состоянии коэффициент снижения температуры K_Θ зависит от приведенного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{пр}$, учитывающего сложный конвективный обмен с распыленной жидкостью, капли которой при соприкосновении с поверхностью тела нагреваются до температуры насыщения, а затем испаряются, а также вынужденный конвективный теплообмен с воздухом, содержащимся в двухфазной струе [5].

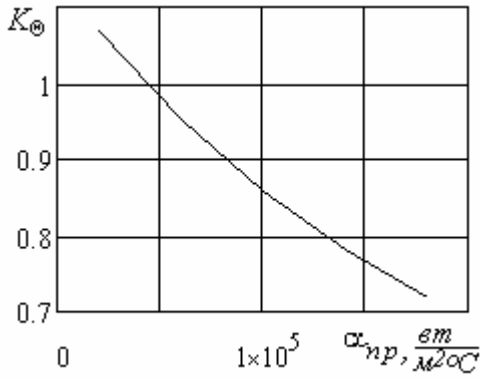


Рис. 2. График зависимости коэффициента снижения температуры K_Θ от приведенного коэффициента теплоотдачи α_n

На рис. 2 представлен график зависимости коэффициента снижения температуры K_Θ от приведенного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{пр}$. Расчеты выполнены для следующих условий: скорость потока w = 220м/с; характерный размер l = 25мм; $\alpha_B = 0{,}5\cdot10^3$вт/м$^2\cdot$°С, расход жидкости – 0,6кг/час (10г/мин), расход воздуха – 2м^3/час.

В свою очередь приведенный коэффициент теплоотдачи, учитывающий все процессы, происходящие на поверхности контакта струи жидкости с нагретой поверхностью равен:

$$\alpha_{пр} = 1{,}2K^{2/3}m^2(\alpha_P - \alpha_B) + \alpha_B, \qquad (5)$$

где K – концентрация жидкости в воздушно-жидкостной среде; m – коэффициент, характеризующий деформацию капель жидкости при соударении с поверхностью; α_P – *с*редний по времени коэффициент теплоотдачи жидкости в распыленном состоянии в процессе нагревания и испарения капли; α_B – коэффициент теплоотдачи в воздух:

Таким образом, приведенный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{пр}$ зависит от концентрации жидкости K в воздушно-капельной среде и свойств среды.

Графики зависимости приведенного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{пр}$ от концентрации жидкости K для различных СОТС приведены на рис. 3. Наиболее выраженными охлаждающими свойствами обладает 5% раствор эмульсола Аквол-2. Несколько уступает по охлаждающим свойствам 5% раствор эмульсола Укринол-1, который, однако, частично обладает смазочными свойствами. СОТС на основе минерального масла МРУ-1 обладает наиболее выраженными смазочными свойствами, и только частично охлаждающими, о чем свидетельствует наименьший приведенный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{пр}$.

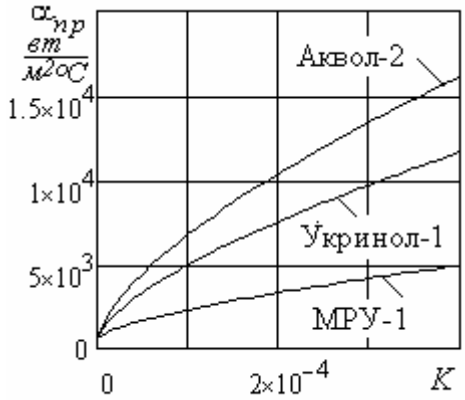


Рис. 3. Графики зависимости приведенного коэффициента теплоотдачи α_{np} от концентрации жидкости K для различных СОТС

Представленные графики (рис. 2 и рис. 3) позволяют не только установить коэффициент снижения температуры K_Θ в зависимости от приведенного коэффициента теплоотдачи α_{np}, но и управлять величиной коэффициента теплоотдачи за счет выбора как типа СОТС, так и ее концентрации.

В результате расчета коэффициента повышения скорости резания при тонком точении закаленной стали *HRC* 60...62 резцами из эльбора – *P* (геометрические параметры: передний угол $\gamma = 5°$, радиус при вершине r = 0,8мм; стойкость T = 60мин., глубина резания t = 0,5мм); шероховатость обработанной поверхности R_a = 1,25 мкм установлено: коэффициент снижения температуры резания K_Θ = 0,9 для СОТС на основе минерального масла МРУ-1; коэффициент изменения подачи K_S = 1 (шероховатость обработанной поверхности, а, следовательно, и подача в приведенном примере не зависит от СОТС) и коэффициент повышения скорости резания и K_V = 1,25.

Таким образом, разработана методика и выполнена оценка возможностей повышения режимов резания при тонком точении инструментами из СТМ с использованием различных СОТС за счет снижения температуры резания и снятия температурных ограничений.

Список литературы: 1. Бобровский, Г. В. Современные технологии обработки материалов / Г. В. Боровский, С. Н. Григорьев, А. Р. Маслов. – М.: Машиностроение, 2015. – 304 с. **2.** Худобин, Л. В. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием / Л. В. Худобин, А. П. Бабичев, Е. М. Булыжев и.др. – М.: Машиностроение, 2006. – 544с. **3.** Ивченко, Т. Г. Повышение эффективности тонкого точения закаленных сталей за счет оптимизации режимов резания / Т. Г. Ивченко, Е. О. Лыхманюк // Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2014. Вып. (50). – С. 107-112. **4.** Ивченко, Т. Г. Оценка возможностей снижения температуры в зоне резания при обработке тонким точением с охлаждением / Т. Г. Ивченко, Е. О. Лыхманюк // Машиностроение и техносфера XX1 века. Сб. трудов XX11 международной конференции в г. Севастополе 14-19 сентября 2015г. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – С. 163–165. **5.** Ивченко, Т. Г. Оценка эффективности использования СОТС при тонком точении инструментами из сверхтвердых материалов / Т. Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: – Донецк: ДонНТУ, 2016. Вып. 1 (52). – С. 62-68.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ВЫБОРЕ МЕТОДОВ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Михайлов А. Н., Костенко А. В.
(ДонНТУ, КамчатГТУ, г. Донецк, г. Петропавловск-Камчатский, ДНР, Россия)
Тел./Факс: +38(062)3050104; E-mail: tm@fimm.donntu.org

Abstract: *Functionally-oriented technologies are modern high technology. They are aimed at realizing the necessary properties of manufactured parts. Finishing-hardening processing has a huge variety of methods that allow achieving certain characteristics of the part surfaces. The morphological box method allows to search for the necessary solution among a large number of possible variants and to choose the optimal variant. In the article five stages of the morphological box method are considered with reference to the implementation of the functionally oriented approach of the technological processes for manufacturing details of marine diesel engines. At the first stage, the task of realizing the operational properties of the part is formulated; at the second - a list of technological impacts is formed; at the third - creates a morphological matrix of options for technological impacts; at the fourth and fifth - the analysis and choice of the optimal option. The paper shows that the morphological box method allows the analysis and selection of technological impacts to realize the required operational properties in the details of marine diesel engines.*
Keywords: *functional-oriented technology, finishing-hardening processing, technological impact, the morphological box method, ship diesel, detail.*

Постоянное развитие науки и техники предполагает периодический пересмотр устоявшихся норм в различных технологиях. Технология машиностроения не является исключением, поскольку развивается в контексте развития мировой экономики. С учетом становления шестого технологического уклада [1] необходимы новые направления развития технологий машиностроения, в том числе создание новых наукоемких технологий.

Функционально-ориентированные технологии (ФОТ) способны отвечать современным вызовам судового машиностроения, так как, базируясь на особых принципах [2], направлены на реализацию необходимых свойств изготовляемых деталей, в том числе реализацию наперед заданных свойств, посредством технологических воздействий на разных уровнях, включая и наноуровень.

Создание необходимых свойств поверхности и поверхностного слоя является одной из задач при изготовлении деталей судовых дизелей, прежде всего наиболее ответственных и нагруженных – цилиндровой втулки, поршня, клапанов, деталей турбокомпрессора и др. [3]

Отделочно-упрочняющая обработка (ОУО) обладает огромным разнообразием способов и методов, позволяющих добиваться определенных характеристик поверхностей деталей.

Однако, несмотря на большое количество исследований в данной области, на сегодняшний день не существует окончательно сформировавшегося общего подхода к способу выбора необходимого метода ОУО применительно к конкретным условиям эксплуатации, учтенные в деталях в виде требований и формирования набора эксплуатационных свойств. Не всегда прослеживается прямая и четкая связь между условиями работы детали с учетом особенностей ее нагружения и технологическими воздействиями, которые, собственно, и реализуют необходимые свойства (рис. 1).

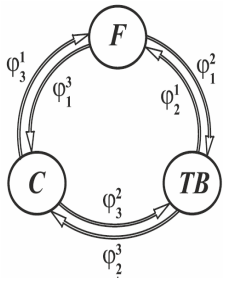


Рис. 1. Модель взаимосвязей φ_i^j объектов системы:
F – эксплуатационные функции, ТВ – технологические воздействия;
С – свойства детали.

Одной из главных проблем для формирования общего подхода является поиск необходимого решения среди большого количества возможных вариантов. На решение этой проблемы направлены исследования в области принятия оптимальных решений.

В данной работе будет рассмотрен метод морфологического ящика (ММЯ), предложенный Ф. Цвикки, который заключается в морфологическом (т.е. относящемся к форме или структуре) анализе переменных, связанных с решаемой задачей. Для каждой из них рассматриваются различные параметры, характеристики, свойства или принципы действия. В совокупности указанные показатели образуют морфологическую таблицу или матрицу [4]. ММЯ может быть использован для систематизации данных, что позволит выявить перечень существующих технических решений для поставленной задачи.

В рамках данной работы таким перечнем будут варианты технологических воздействий, реализующих необходимые свойства деталей. На рис. 2 представлены этапы ММЯ по Цвикки [5].

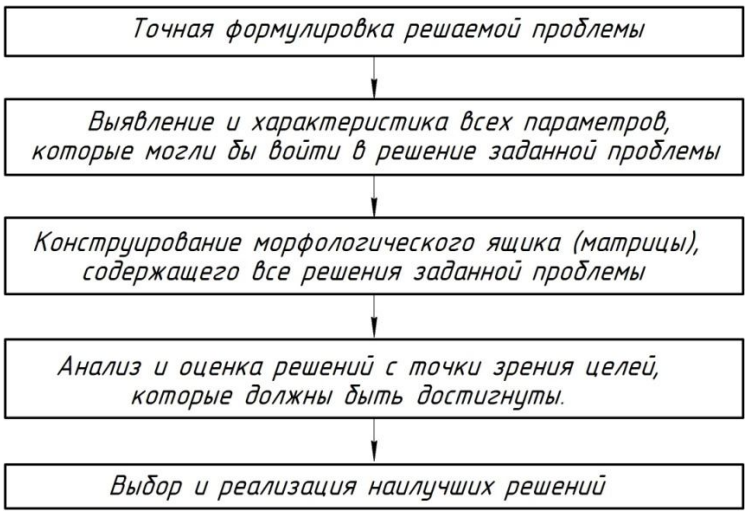


Рис. 2. Этапы метода морфологического ящика

Технологические воздействия (ТВ) являются средством, при помощи которого реализуются необходимые свойства детали (С) исходя из действия эксплуатационных функций (F), как это показано на рис. 1. Таким образом, схемы технологических воздействий являются важным этапом проектирования технологического процесса изготовления деталей судовых дизелей на основании функционально-ориентированного подхода.

На рис. 3 представлено геометрическое отображение схем реализации ТВ для поверхности и поверхностного слоя [6].

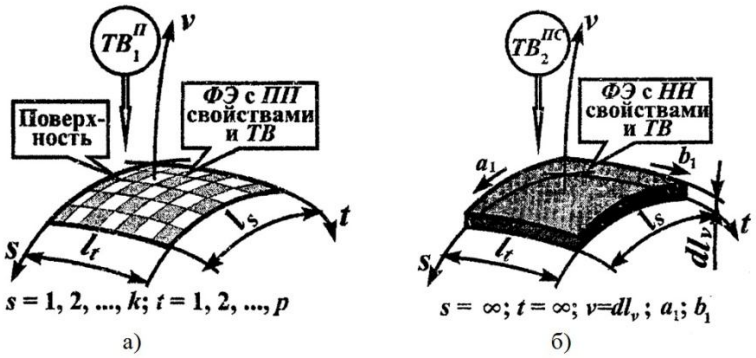


Рис. 3. Схемы реализации ТВ:
а) создание прерывисто-прерывистых (ПП) свойств для поверхности; б) создание непрерывно-непрерывных (НН) свойств для поверхностного слоя.

Представленные на рис. 3 схемы ТВ можно описать следующим образом:

– схема технологических воздействий, обеспечивающая ПП-свойства функционального элемента в двух направлениях *s* и *t* (прерывистая поверхность в двух направлениях *s* и *t*), см. рис. 3, а

$$TB_1^{П} \to \bigvee_{t=1}^{p} \bigvee_{s=1}^{k} \left\{ \left(m_{s,t}, e_{s,t}, i_{s,t} \right), \left(dl_s \times dl_t \right) \right\};$$

– схема технологических воздействий, обеспечивающая НН-свойства функционального элемента в двух направлениях *s* и *t* на глубине *v* (непрерывный поверхностный слой в двух направлениях *s* и *t* на глубине *v*), см. рис. 3, б

$$TB_2^{ПС} \to \bigwedge_{t=1}^{\infty} \bigwedge_{s=1}^{\infty} \left\{ \left(m_{s,t,v}, e_{s,t,v}, i_{s,t,v} \right), \left(dl_s \times dl_t \times dl_v \right) \right\},$$

где $TB_h^{П}$ и $TB_h^{ПС}$ – *h*-я схема технологического воздействия на поверхность и поверхностный слой функционального элемента изделия;
($m_{s,t,v}$, $e_{s,t,v}$, $i_{s,t,v}$) – кортеж параметров технологических воздействий материального, энергетического и информационного характеров в зависимости от параметров направлений *s* и *t* на глубине *v*.

В схемах технологического воздействия используются продольные движения зоны воздействия вдоль соответствующей оси системы координат. Вместе с тем, кроме непрерывных продольных движений зон технологического воздействия орудий и средств обработки на функциональный элемент изделия возможна реализация их вращательных движений или сложных движений, состоящих из группы прямолинейных и вращательных движений. Эти сложные непрерывные движения зоны технологических воздействий могут составляться с помощью универсальной схемы состава кинематики технологических воздействий, представленной на рис. 4. С помощью этой схемы можно составлять любую структуру сложных непрерывных движений зоны технологического воздействия [7].

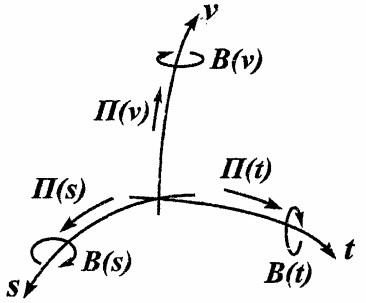


Рис. 4. Универсальная схема состава кинематики ТВ

Рассмотрим в целом особенности применения ММЯ при реализации функционально-ориентированного подхода в технологии изготовления деталей судовых дизелей.

Применительно к изготовлению деталей, на первом этапе должно быть реализовано несколько подэтапов. При этом точная формулировка общей задачи первого этапа заключается в обеспечении необходимых свойств детали. Для этого необходимо решить несколько последовательных задач:

- анализ служебного назначения всей детали;
- анализ условий эксплуатации деталей;
- формулировка требований к детали;
- выделение в детали функциональных элементов (ФЭ) в зависимости от уровня глубины технологии: детали в целом, частей детали, составляющих частей детали, зон, макрозон, микрозон, нанозон;
- выявление эксплуатационных функций, действующих на каждый ФЭ;
- формирование эксплуатационных свойств функциональных элементов в виде параметров качества поверхности и поверхностного слоя, которые необходимо реализовать.

Таким образом, выполнение первого этапа предполагает ответы на два главных вопроса:

1) на каком уровне глубины технологии необходима реализация эксплуатационных свойств ФЭ?

2) какие параметры качества поверхности и поверхностного слоя необходимо обеспечить для каждого ФЭ?

Результатом выполнения этапа является формирование базы данных, в которой будут собраны, классифицированы и структурированы необходимые свойства ФЭ в виде соответствующих множеств, что можно представить как вектор $R^1 \in L$ требований и свойств детали (L – область функционального пространства).

Второй этап служит для выявления операций, осуществляющих достижение той или иной задачи, что в контексте ФОТ собственно и представляет перечень технологических воздействий. Результатом этапа является формирование базы данных, в которой собраны различные методы технологических воздействий. В основы базы может быть заложена классификация методов ОУО, представленная в работе [8], где технологические методы ОУО (т.е. технологические воздействия) разделены на шесть классов:

1) с образованием пленки на поверхности;
2) с изменением химического состава поверхностного слоя;
3) с изменением структуры поверхностного слоя;
4) с изменением энергетического запаса поверхностного слоя;
5) с изменением структуры всего объема металла;
6) с изменением микрогеометрии поверхности и наклепом.

Каждый из методов или способов технологического воздействия (например, цементация, азотирование, вибронакатывание, напыление и др.) должен быть представлен в базе с точки зрения возможности управления параметрами качества поверхности или поверхностного слоя. Базу, по аналогии с предыдущей, можно представить как вектор состояний технологической системы $R^2 \in M$ (M – соответствующая область функционального пространства).

Отметим, что связующим элементом двух описанных баз являются параметры качества поверхности или поверхностного слоя детали, отражающие эксплуатационные свойства, реализуемые в детали.

В рамках этого же этапа формируется еще одна база данных, содержащая схемы реализации технологических воздействий, описанных выше и которую можно представить как вектор состояний технологической системы $R^3 \in N$ (N – соответствующая область функционального пространства).

На третьем этапе формируется матрица, содержащая все возможные решения решаемой задачи, т.е. позволяющая отобрать все возможные варианты ТВ, которые могли бы реализовать заданные свойства детали.

Учитывая универсальную схему состава кинематики технологических воздействий (см. рис. 4) для реализации ТВ и обеспечения заданных свойств поверхности морфологическая матрица имеет следующий вид

$$A^{\Pi} = \begin{vmatrix} \Pi_{11}^s & \Pi_{12}^s & \dots & \Pi_{21}^s & \Pi_{22}^s & \dots & H_{11}^s & H_{12}^s & \dots & H_{21}^s & H_{22}^s & \dots & E_{11}^s & E_{12}^s & \dots & E_{21}^s & E_{22}^s & \dots \\ \Pi_{11}^t & \Pi_{12}^t & \dots & \Pi_{21}^t & \Pi_{22}^t & \dots & H_{11}^t & H_{12}^t & \dots & H_{21}^t & H_{22}^t & \dots & E_{11}^t & E_{12}^t & \dots & E_{21}^t & E_{22}^t & \dots \end{vmatrix},$$

где $\Pi_{ij}^s, H_{ij}^s, E_{ij}^s$ – варианты технологических воздействий относительно оси s соответственно для прерывистых, непрерывных и единовременных технологий;

$\Pi_{ij}^t, H_{ij}^t, E_{ij}^t$ – варианты технологических воздействий относительно оси t соответственно для прерывистых, непрерывных и единовременных технологий.

На четвертом этапе выполняется анализ технологических воздействий с точки зрения достижения цели, возможности осуществления, экономичности и др.

На пятом этапе осуществляется окончательный выбор наиболее оптимальных технологических воздействий.

Таким образом, метод морфологического ящика позволяет осуществить анализ и выбор технологических воздействий для реализации в деталях судовых дизелей требуемых эксплуатационных свойств.

Список литературы: 1. Глазьев С. Ю. Перспективы становления в мире нового VI технологического уклада // Мир (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2010. – №2. – С. 4-10. **2.** Михайлов А. Н., Костенко А. В. Общие принципы повышения эксплуатационных свойств деталей судовых агрегатов на базе функционально–ориентированных технологий // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. – № 6 (314) 2015. С. 82-87. **3.** Костенко А. В. Синтез структуры функционально-ориентированного процесса изготовления цилиндровых втулок на основе анализа работы судовых дизелей // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 1. – С. 176-186. **4.** Некрасов А. Я., Соболев А. Н. Алгоритмизация процессов конструирования деталей и узлов машин (на примере цепной передачи) // Вестник МГТУ «Станкин». – 2015. – №3(34). – С. 47-51. **5.** Титов В. В. Морфологический подход. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.metodolog.ru/00915/00915.html (дата обращения 31.05.2017). **6.** Михайлов А. Н., Костенко А. В. Особенности схем технологических воздействий отделочно-упрочняющей обработки цилиндровых втулок судовых дизелей // Механики XXI веку. – 2017. – №16. – С. 98-102. **7.** Михайлов А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. **8.** Улашкин А. П. Выбор отделочно-упрочняющих методов обработки (для повышения износостойкости деталей машин). – Хабаровск: Изд-во Хабар.гос.техн.ун-та, 1998. – 103 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ ДОМИНИРУЮЩИХ ИДЕНТИФИКАТОРОВ ПРОЦЕССА

Вайнер Л. Г. *(ТОГУ, г. Хабаровск, Россия)*
Тел.: +8(4212) 224383; E-mail: lgvainer@mail.ru

Abstract: *On the basis of the theory of technological form-shaping methodological aspects of real form-shaping in allowance removal process modeling was considered on example of face grinding. Generation of variable form-shaping function is realizing with consideration of scheme and factor identifiers.*
Keywords: *technological form-shaping, face grinding, stock allowance, real form-shaping function, working errors, modeling.*

Для математического описания обрабатываемых на металлообрабатывающих станках поверхностей широко используется метод преобразования координат [1, 2]. Предложенная в [3] функция формообразования (ФФ) станка позволяет представить уравнения обрабатываемых поверхностей в унифицированном (формообразующем) виде. Такая форма уравнений непосредственно связана со структурой технологической системы для обработки данной поверхности и дает возможность выявлять причинно-следственные связи между смещениями и движениями звеньев цепи формообразования (ЦФ), с одной стороны, и получаемой поверхностью, с другой.

ФФ (F_f) определяется как произведение функции F_p, представляющей собой матрицу размером 4x4, на функцию инструмента ФИ (F_t), представляющую собой вектор (4x1),

$$F_f = F_p F_t \,. \qquad (1)$$

Представление функции F_p различается в зависимости от анализируемых групп звеньев в возможном составе формообразующей системы (ФС). Так при моделировании компоновок станков [4] F_p удобно определять как произведение трех матриц преобразования координат (МП) – приспособления заготовки, станка и приспособления инструмента; при цепи формообразования в виде промышленного робота F_p определяется как функция манипулирования.

При рассмотрении собственно процесса обработки, влияния параметров настройки металлообрабатывающей системы и технологических режимов цепь формообразования можно сократить, ограничиваясь пространством технологического взаимодействия, образованным заготовкой и инструментом,т. к. взаимодействие именно этих элементов обуславливает в конечном счете процесс формообразования и образование погрешностей обработки. При этом сопряженные с ними объекты – приспособления и станок в данной постановке задачи можно не рассматривать, а их влияние заменить соответствующими связями. Полученную в результате ФС будем называть приведенной ФС.

В приведенной ФС независимо от принадлежности формообразующих элементов – F_p может быть представлена как функция текущего взаимного положения инструмента и заготовки в пространстве технологического взаимодействия (далее сокращенно функция положения – ФП).

В большинстве известных задач анализа и синтеза ФС рассматривается номинальное формообразование, т. е. учитываются движения, предписанные схемой обработки на завершающем этапе формирования обработанной поверхности, т. е. при фактическом отсутствии съема припуска. При этом геометрические параметры инструмента, определяющие характер его контакта с обрабатываемой поверхностью (точка, линия, поверхность), принимаются постоянными.

Разработанная нами модель реального формообразования в отличие от номинального строится с учетом действия доминирующих переменных

формообразующих факторов, сопровождающих процесс обработки и обусловленных различными физическими причинами.

При двусторонней торцешлифовальной обработке (ДТШО) в процессе поступательного движения заготовки вдоль своей траектории подачи и съема припуска обе функции – ФИ и ФП в общем случае являются переменными из-за переменности текущего профиля шлифовальных кругов (ШК), находящегося в данный момент времени в контакте с заготовкой, и переменности формообразующих факторов [5] (в частности, различного характера вращения заготовок, переменных упругих и температурных смещений и т. п.)

Таким образом, ДТШО в силу своих особенностей может являться наглядным примером для обобщенного рассмотрения следующего класса задач теории формообразования: определение текущей обрабатываемой поверхности и ее погрешностей в произвольный момент процесса съема припуска при переменных функциях положения и инструмента, имеющих в качестве аргументов параметры, определяемые как номинальной схемой формообразования так и действием различных факторов.

В основе разработки многовариантной модели формообразования при решении подобного класса задач (при ДТШО, в частности) лежит блочно-модульный принцип ее построения.

Рассмотрим основные модули и этапы построения модели на примере ДТШО.

1. Декомпозиция и детализация обобщенной модели ФС с целью идентификации формообразующих элементов и их параметров.

1.1.Классификация процессов данного вида обработки в контексте рассмотрения процессов формообразования (т. е. такие классификационные признаки как место технологической операции в технологическом процессе изготовления заготовки (черновая, чистовая), физико-механические и эксплуатационные характеристики ШК, характеристики и способы подачи СОТС, уровень автоматизации и программного управления и другие подобные признаки в предложенной классификации не учитываются).

1.2. На основе предложенных классификационных признаков – схемная и факторная идентификация вариантов реализации процесса данного вида обработки.Идентификационные признаки – детализированные геометрические, кинематические, физические характеристики процесса обработки, определяющие состав и свойства возможных цепей реального формообразования при заданных условиях технологической среды. Схемные ИП – обусловлены номинальной геометро-кинематической схемой процесса обработки. Факторные ИП – обусловлены действием системных доминирующих факторов.

1.3. Создание таблиц соответствия схемных и факторных идентификационных признаков процесса обработки соответствующим идентификаторам формообразования.Идентификатор формообразования – элементарное движение или смещение (или принципиальная невозможность элементарного смещения или движения) звена цепи формообразования (описываемое одной обобщающей координатой) под воздействием данного идентификационного признака.

2. Генерация обобщенных базовых функций положения и инструмента.

2.1. На основе анализа возможных вариантов реализации процесса устанавливаются обобщенные базовые варианты ФС.

2.2. Для каждого базового варианта ФС устанавливается своя ЦФ с каждым элементом которой связывается система координат.

2.3. Формируются графические расчетные схемы обобщенных базовых ЦФ.

2.4. Каждому структурному элементу базовых ЦФ присваивается соответствующий единичный формообразующий код [3].

2.5. По единичному формообразующему коду i-го элемента k_i определяется тип каждой составляющей МП, по номеру i в ЦФ – соответствующие аргументы (параметры) МП.

2.6. В соответствии с установленными базовыми ЦФ, составляющими МП и их аргументами определяются так называемые базовые ФП.

2.7. На основе анализа возможных геометрических форм рабочих поверхностей ШК устанавливаются расчетные варианты ФИ.

3. Генерация расчетного варианта функции формообразования.

3.1. Устанавливается обобщенная базовая ЦФ (с соответствующей ФП), к которой относится рассматриваемый вариант реализации процесса обработки.

3.2. На основании сводных таблиц – матриц идентификационных признаков процесса формообразования устанавливаются схемные и факторные идентификаторы формообразования применительно к данному варианту реализации процесса обработки.

3.3. Выбором необходимых идентификаторов формообразования из сводной таблицы-матрицы обобщенного варианта производится генерация формообразующего кода и ФП.3.4. Выбирается расчетный вариант ФИ.

3.5. Формируется расчетный вариант ФФ (1).

4. Определение текущих активных формообразующих точек поверхности инструмента.

Для возможности математического описания трансформации обрабатываемых торцовых поверхностей в процессе удаления припуска при движении заготовки вдоль торцовых поверхностей ШК с переменной их геометрией необходимо найти текущее парное соответствие независимых координат точек обрабатываемой поверхности заготовки ($x_з$, $z_з$) и взаимодействующих с ними активных точек поверхности инструмента ($x_и$, $z_и$) (рис. 1).

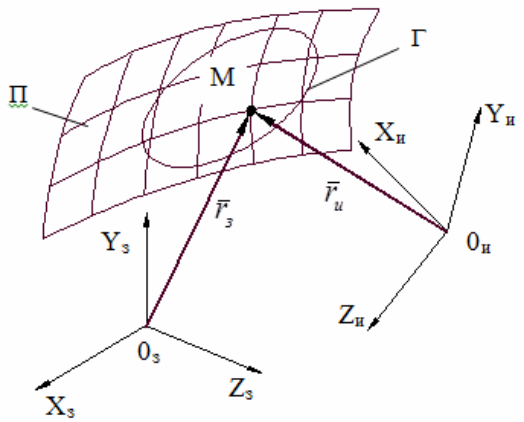


Рис. 1. Определение независимых координат текущих активных точек М инструмента (П – поверхность инструмента, Г – граница обрабатываемой поверхности заготовки)

Искомое парное соответствие для заданных обобщенного варианта ЦФ и варианта ФИ найдем с использованием следующих преобразований:

Развернутая ФФ для одного из двух обрабатываемых торцов

$$r_з = \prod_{i=1}^{l} A_i^{k_i}(q_i) r_u ,\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

где $A_i^{k_i}$ – i-я составляющая МП,k_i – формообразующий код i-го элемента ЦФ (в зависимости от реализованного движения или смещения элемента), q_i – аргумент МП - i-й параметр ФФ, l – общее число элементов ЦФ.

Из развернутой обобщенной ФФ (2), составленной с учетом l схемных и факторных идентификаторов формообразования, исключаются МП, связанные с малыми смещениями (как схемными, например, угловыми настроечными смещениями ШК, так и факторными, например, температурными смещениями ШК). В результате получим номинальную прямую ФФ

$$r_{зн} = \prod_{j=1}^{l_н} A_j^{k_j}(q_j) r_u ,\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

где j порядковый номер элемента в номинальной ЦФ, $l_н$ – общее число элементов номинальной ЦФ.

На основании свойства обратной матрицы произведения МП [Р,П] получим выражение для обратной номинальной ФФ

$$r_{uн} = \prod_{j=l_н}^{1} A_j^{k_j}(-q_j) r_з, \quad \text{.....(4)}$$

Из уравнения (4) можно найти соотношения между независимыми координатами заготовки и инструмента, т. е. координаты текущих активных точек инструмента при $y_з$=const

$$x_u = f(x_з, z_з)\ z_u = f(x_з, z_з) \quad \text{.....(5)}$$

Подставляя x_u, z_uв уравнение инструмента в собственной системе координат вида $y_u = y_u(x_u, z_u)$, определим вектор текущей активной точки инструмента

$$r_u = [x_u y_u z_u 1]^{\mathrm{T}}. \quad (6)$$

5. Определение значений параметров и их функциональных связей.

При известных функции инструмента и ее аргументах ФФ данного базового варианта ЦФ включает в себя l параметров q_i. Для возможности математического описания и моделирования процесса обработки необходимо все переменные параметры (число переменных параметров l_n) выразить через один параметр - время τ или параметр q_τ, изменение которого определяет текущую фазу процесса обработки, например, текущая угловое или линейное перемещение оси заготовки вдоль траектории подачи, т. е. наложить на параметры (l_n-1) функциональные связи (связи положения и кинематические) вида

$$q_i = f(\tau) \text{ или } q_i = f(q_\tau). \quad (7)$$

При моделировании процесса обработки как правило связи параметров (7) вычисляются в отдельных функциональных модулях в соответствии с отдельным алгоритмом. Пример определения связей переменных угловых упругих смещений ШК с фазовым параметром процесса q_τрассмотрен в [7].

6. Анализ условия съема припуска в данной точке обрабатываемой поверхности.

Уравнения (2) и (7) определяют произвольную активную точку инструмента в системе координат, связанной с заготовкой. Для расчета обработанной поверхности в случае линейного или точечного контакта З и И уравнения (2) и (7) решают совместно с уравнениями связей огибания [1].

В случае контакта по поверхности текущая обрабатываемая поверхность может быть определена при совместном решении (2), (7) и формализованного условия съема припуска

$$y_з(\tau - \Delta\tau) > y_з(\tau) \text{ или } y_з(q_\tau - \Delta q_\tau) > y_з(q_\tau), \quad \text{.....(8)}$$

где $\Delta\tau$ иΔq_τ бесконечно малое приращение времени или фазового параметра процесса, $y_з$ – координата, соответствующая направлению нормали к номинальной обрабатываемой поверхности заготовки.

7. Определение координат точек обрабатываемых поверхностей.

В результате выполнения вышеописанных процедур могут быть вычислены массивы векторов точек обрабатываемых поверхностей в произвольный момент времени τ (или при произвольном значении фазового параметраq_τ).

$$r_з(q_\tau) = [x_з(q_\tau) y_з(q_\tau) z_з(q_\tau) 1]^{\mathrm{T}}. \qquad (9)$$

Обработанная поверхность окончательно формируется при таком значении τ (или q_τ), при котором условие (8) перестает выполняться для всех точек поверхности.

8. Оценка текущих и выходных погрешностей обрабатываемых поверхностей.

Вычисление на основе (9) текущих или выходных погрешностей обработки, соответствующих регламентированным и измеряемым на практике показателям точности обработанных поверхностей, представляет собой отдельную расчетную метрологическую задачу.

Так точность осевого размера после ДТШО определяется выполнением условия

$$[\mathrm{H}]^{\min} \le y_{з1}(q_\tau) - y_{з2}(q_\tau) \le [\mathrm{H}]^{\max} \quad \text{при } x_з(q_\tau) = z_з(q_\tau) = 0,$$

где $y_{з1}(q_\tau)$, $y_{з2}(q_\tau)$ – ординаты точек двух обработанных торцевых поверхностей заготовки в общей системе координат, $[\mathrm{H}]^{\min}$,$[\mathrm{H}]^{\max}$ – минимальное и максимальное допустимые значения осевого размера.

Измеряемое на практике у обработанных роликов подшипников качения наибольшее торцевое биение без учета его спектральных составляющих можно рассчитать как разность максимального $y_з^{\max}(\varphi)$ и минимального $y_з^{\min}(\varphi)$ значений ординат точек, расположенных на наружном радиусе торцевой поверхности, с полярными координатами (ρ,φ)

$$\Delta_т = y_з^{\max}(\varphi) - y_з^{\min}(\varphi) \qquad \text{при } \rho = r_н,\ 0 \le \varphi \le 2\pi.$$

Рассмотренные методологические аспекты являются основой для построения моделей обрабатываемых поверхностей заготовок в произвольный момент процесса съема припуска при переменных функциях положения и инструмента, имеющих в качестве аргументов параметры, определяемые как номинальной схемой формообразования так и действием различных факторов.

Список литературы: 1. Литвин Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений. – М., Наука, 1968. – 584 с. **2.** Базров Б. М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков. – М., Машиностроение, 1978.– 216 с. **3.** Решетов Д. Н., Портман В. Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986.–336 с **.4.** Ивахненко А. Г., Куц В. В. Структурно-параметрический синтез технологических систем [Текст]: монография / А. Г. Ивахненко, В. В. Куц; Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2010. 151 с. **5.** Вайнер Л. Г. Учет действия доминирующих факторов в задаче моделирования реального формообразования при двусторонней торцешлифовальной обработке. // Новые материалы и технологии в машиностроении/ Под общ.ред. Е. А. Памфилова. Сб. науч. трудов. Вып.12. – Брянск: БГИТА, 2010, с. 1-8. **6.** Вайнер Л. Г. Влияние кинематики процесса двустороннего шлифования торцов деталей на точность обработки [Текст] / Л. Г. Вайнер // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2010. №5(2) (283). – С. 41-46. **7.** Вайнер Л. Г. Определение параметров технологического пространства при двусторонней торцешлифовальной обработке // Вестник машиностроения. 2011. № 12. С. 72-77.

РОЛЕВАЯ МОДЕЛЬ БЕСПРОВОДНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА

Дюбрюкс С. А., Борзов Д. Б. *(ЮЗГУ, г. Курск, Россия)*
Тел: +7 (951) 0781430; E-mail: borzovdb@kursknet.ru

Abstract: *A modular multiprocessor system (cluster) is described, which is proposed to be created on the basis of standard computing nodes. We consider the main characteristics of such systems and the main actions that occur when information is exchanged in such systems.*
Keywords: *cluster, processor, multiprocessor system, Wi-Fi, Glonass.*

Кластер – это модульная многопроцессорная система, созданная на базе стандартных вычислительных узлов, соединенных высокоскоростной коммуникационной средой [1]. Типичный кластер представляет собой множество ЭВМ или процессорных ядер под централизованным управлением, которые пользователь воспринимает как единое целое. Расположение узлов кластера (их координаты в пространстве), технология построения и топология каналов связи, как правило стационарны, то есть вероятный противник может, зная «узкие места», одним попаданием снаряда парализовать всю систему.

Для обеспечения большей живучести объекты кластера должны иметь возможность перемещаться в пространстве и быть зарезервированы. Динамическое перемещение объектов системы подразумевает использование беспроводной связи, не зависящей от конкретных поставщиков услуг, например использование радиоканала Wi-Fi. В связи с тем, что объекты кластера чаще всего неоднородны (Рис. 1), уместно ввести ролевое разделение.

Пусть беспроводной кластер (БК) представлен графом $C(M,K)$, где M – множество вершин (элементов БК), K – множество упорядоченных пар $\{m_t, m_{t+1}\}$, где $t \in \{1.N\}$, N – общее число элементов системы. Тогда в беспроводной системе, аналогичной представленной на рисунке 1, будет существовать один хост-элемент H, $H \in \{1, M\}$, один резервный хост-элемент RH, $RH \in \{1, M\}$, один накопитель N, $N \in \{1, M\}$, один резервный накопитель RN, $RN \in \{1, M\}$. Все остальные элементы, выполняющие функции сбора, обработки и передачи данных в накопители, назовем «пчелами», $P_i, i <= N-4$, $P_i \in \{1, N\}$. Резервные элементы должны параллельно выполнять те же функции, что и основные, в случае выхода из строя основных элементов БК мог работать в реальном времени.

Функции хост-элемента:

- отслеживание целостности элементов кластера и подключения новых элементов;
- проверка свойств каналов связи;
- поиск оптимальных вариантов реконфигурации и их хранение.

Основной функцией накопителя является накопление и хранение информации от пчёл. Резервные хост-элементы и накопители параллельно должны выполнять те же функции, что и основные.

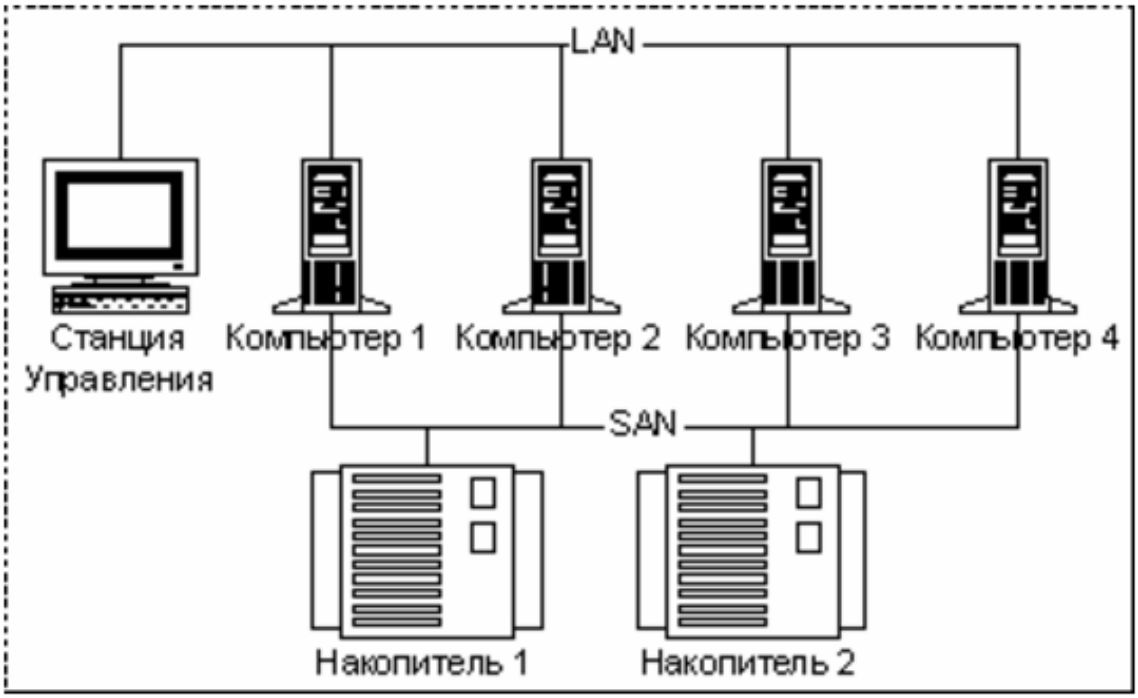


Рис. 1. Пример кластерной системы

Для повышения надежности может быть использовано резервирование. Оно может быть реализовано на трех уровнях:

1. Аппаратное резервирование объектов сети.
2. Резервирование на уровне процессов, также косвенно приводящее к введению аппаратной избыточности.

Внутреннее резервирование объектов сети.

Отличительной особенностью данных сетей является невозможность резервирования каналов связи между объектами. При наличии угрозы исчезновения канала связи сеть должна быть тут же реконфигурирована таким образом, чтобы между задействованными в процессе объектами имелись стабильные каналы связи.

Разделение функций и резервирование элементов системы подразумевает, в случае выхода из строя узла, как реконфигурацию каналов связи, так и переназначения ролей элементов. Также в БК реконфигурация должна выполняться в случае изменения пропускной способности сегментов связи (это необходимо для уменьшения коммуникационных задержек, что очень существенно для данных систем), критического уменьшения заряда одного из элементов. Реконфигурация подразумевает динамическое изменение топологии**,** вызванное постоянным перемещением N объектов, критическим падением заряда подмножества Z $\left(Z \in M\right)$ объектов, критическим падением уровня сигнала множества S $\left(S = M!\right)$ каналов связи, изменением характера выполняемых задач.

Контроль каналов связи, уровня заряда в БК выполняется хостом за счет процедур постоянного встроенного контроля системы. Хост постоянно формирует оптимальные варианты реконфигурации, оптимальный из которых задействует при изменении внешних условий.

Предлагаемый БК по структуре и функциям может быть аналогичен [2, 3], но его особенности заключаются в учете возможного непрерывного перемещения объектов, либо изменения характеристик каналов связи.

Таким образом, основные характеристики предлагаемого БК:

- динамическое изменение топологии вследствие естественных причин;
- резервирование важнейших элементов;
- ролевое разделение;
- общая память;
- возможность динамической реконфигурации.

Ввиду частой реконфигурации сети общие данные невыгодно держать в распределенной памяти. Это привело бы к скачкообразному росту трафика, увеличению сложности алгоритмов реконфигурации и управления. Поэтому в беспроводных вычислительных сетях целесообразно использовать общую память. Для предотвращения потерь информации память накопителя должна быть зарезервирована на другом элементе БК Степень резервирования такой сети можно определять по числу объектов, которые могут выполнять функции критичных элементов, без которых сеть не сможет функционировать. При определенной степени резервирования надежность БК будет близка к надежности критических систем.

При инициализации предлагаемого БК должны выполняться следующие действия:

1. Элемент M1 из множества M_N, N=19, в ПЗУ которого записан идентификатор 0 (хост) запрашивает по Глонасс со спутника координаты (x_0, y_0, z_0) и получает их. То же самое делают и все элементы системы, получая координаты (x_i, y_i, z_i) где $i \in \{1, N\}$. Образуется начальный граф G с N вершинами, каждая из которых не знает о месторасположении остальных.

2. Хост по очереди выполняет пинги всех элементов сети, и если они проходят, то запрашивает их координаты, сразу вычисляя расстояния S_i $i \in \{1, N\}$ до каждого элемента по формуле $S_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}$ и находя их сумму $Summ_1 = \sum_{i=1}^{19} S_i$. То же самое выполняют параллельно все узлы. По результатам пункта 2 хост формирует псевдограф PG(M,K), где M – множество вершин (элементов системы), K – множество упорядоченных пар $\{m_t, m_{t+1}\}$, где $t \in \{1, N\}$.

3. Хост запрашивает по Wi-Fi и собирает в множество Summ расстояния до всех доступных элементов системы $Summ = \{Summ_0, Summ_1, ..., Summ_{19}\}$ и вычисляет значение $h = F1\left(MIN\left(Summ\right)\right)$, где F1 – функция поиска соответствия элемента с минимальным значением показателя Summ конкретному элементу M_h.

4. Хост передает узлу A_h команду принять его функции, а сам занимает его место, обмениваясь адресами и идентификаторами, так, что принявший управление элемент имеет идентификатор 1 и адрес 0, а бывший хост – идентификатор h и адрес (h-1).

5. Новый хост выполняет пункт 2, переписывая граф PG.

6. Из графа PG на основе актуальной фактической информации о состоянии каналов связи между элементами формируются при помощи функций F2, F3 графы G и GR (резервный).

F2(PG)=G, F3(PG)=GR.

Хост распределяет роли элементов системы и выдаёт команду на запуск этими элементами ролевых функций.

Шестой пункт алгоритма инициализации модифицирует граф PG, так как даже между близко расположенными элементами может находиться преграда или мощный источник помех. Хост отправляет последовательность пингов всем элементам сети и по

временам их возвращения присваивает элементам системы соответствующие номера орбит, на которых может находиться только один элемент (Рис.2). При этом хост переходит на орбиту 1, оставляя нулевую (центральный элемент) основному накопителю. Орбита 2 будет соответствовать резервному накопителю, орбита 3 – резервному хосту. Элементы 1, 3, 5 на дальних орбитах будут выполнять функции «пчёл».

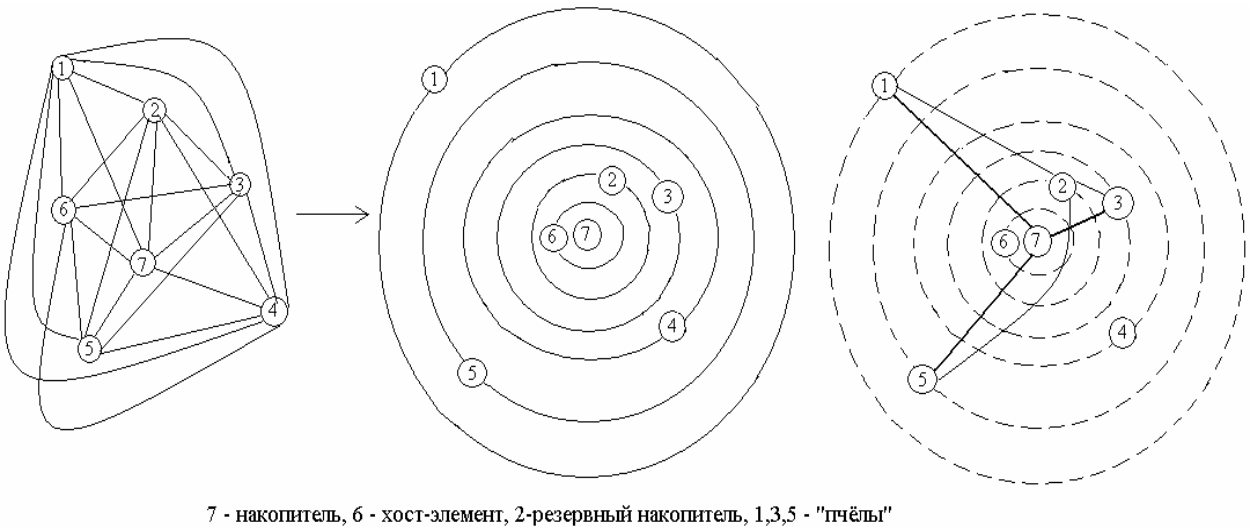


Рис. 2. Преобразование графа PG в информационные графы G и GR.

На рисунке 2 справа показаны 2 информационных графа: основной G (толстые линии), и резервный (тонкие). Как следует из рисунка 2, они представляют собой топологии «дерево».

Реконфигурация подразумевает повторное выполнение процедур инициализации, и выполняется в следующих случаях:

- при отказе всех элементов кластера, кроме “пчёл”, причём критическое падение уровня заряда также считается отказом;
- при появлении в кластере нового элемента, если хост не относит его на орбиты 0-3;
- при появлении более оптимального варианта распределения ролей, затрагивающего хост и основной накопитель.

Преобразование графа PG в информационные графы по вышеприведённому алгоритму помимо обеспечения большей надёжности преследует цель уменьшения коммуникационных задержек при передачи информации из пчёл в накопитель, что для беспроводных сетей более критично чем для проводных.

Список литературы: 1. Keller A., Reinfeld A. Anatomy of a Resource Management System for HPC Clusters. Preprint. To appear in: Annual Review of Scalable Computing, Vol. 3, 2001. **2.** Н. С. Петров Модель кластера беспроводной распределенной системы сбора и обработки информации датчиков. **3.** R. Buyya. High Performance Cluster Computing: Systems and Architectures. Volume 1, Prentice Hall PTR, NJ, 1999.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ПРЕДЕЛЬНОГО КОНТУРА В ЗАДАЧАХ ПЛОСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СПЕЧЕННОГО МАТЕРИАЛА

Петросян Г. Л., Акопян Н. Г. *(НПУА, Ереван, Армения)*
Tel.: +374 94 75-41-03; E-mail: narehak@mail.ru

***Abstract**: The analysis of plasticity conditions for a porous material created on the basis of the Huber-Mises plasticity conditions is carried out. By choosing the simplest functions of porosity, the components, affecting the mechanical properties of the porous material, and the average stress are distinguished. The features of constructing the limiting contour in problems of linear and planar plastic deformation for various values of porosities of the sintered material are revealed. Plots of plasticity conditions show a significant change in both the dimensions and shape of the limiting contour.*
***Keywords:** linear and planar deformation, mechanical properties of the sintered body, average stress, various values of porosity, limiting plasticity contour.*

В [1] в случае сложной деформации обсуждаются условие пласичности (УП) Трека–Сен-Венана и Хубера-Мизеса для сплошных пластичных материалов, а также созданных на основе УП Хубера-Мизеса обобщенных УП порошковых и имеющих различные сопротивления растяжению и сжатию сплошных материалов. Исследованы особенности предельного контура пластичности для разных случаев плоского пластического деформирования сплошных материалов.

В [2] УП спеченного (пористого) материала имеет вид:

$$\frac{1}{\beta^{n+0.5}}\left(\frac{1}{2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]+\alpha^m(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)^2\right)^{0.5}=\sigma_т, \quad (1)$$

где v – пористость материала; α и β – ее функции; m и n – экспериментально определяемые параметры пористости; $\sigma_т$ – предел текучести материала.

Существуют различные типы функций пористости материала α и β, на основе анализа которых в [2] показано, что при отсутствии пористости материалов осуществляется переход от УП спеченных материалов к УП Хубера-Мизеса для сплошных материалов. В [3] выбором наиболее простых функции пористости α и β ($\alpha = v,\ \beta = 1 - v$) УП спеченных материалов (1) принимается вид:

$$\frac{1}{(1-v)^{n+0.5}}\left(\frac{1}{2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]+v^m(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)^2\right)^{0.5}=\sigma_т, \quad (2)$$

таким образом влияние пористости на механические свойства пористых материалов учитывается согласно функции $\beta = (1-v)^{n+0.5}$, а на среднее напряжения – $\alpha = v^m$.

Указанные вопросы являются достаточно сложными и малоизученными, чем и обосновывается актуальность данного исследования.

Целью работы является выявление особенностей построения предельного контура для различных значении пористости материалов в случаях решения задач линейной и плоской пластической деформации спеченных материалов, построения диаграмм УП и анализ полученных результатов.

Используя формулу (2) для различных значений начальных пористостей материала, рассчитаны главные напряжения в случаях одноосного напряженного

состояния $(\sigma_1 \neq 0,\ \sigma_2 = \sigma_3 = 0)$, чистого сдвига $(\sigma_1 = -\sigma_3,\ \sigma_2 = 0)$ и двухосного растяжения $(\sigma_1 \neq 0,\ \sigma_2 = \frac{\sigma_1}{2},\ \sigma_3 = 0)$.

Сначала формулу (2) представим в виде:

$$\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] + v(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 = \beta^2 {\sigma_т}^2. \quad (3)$$

Также примем: $m = 1, n = 0.25$ [5].

Рассмотрены три случая начальной пористости материала: 1) при $v_1 = 0.1$ – $\beta_1 = 0.924$; 2) при $v_2 = 0.2$ - $\beta_2 = 0.846$; 3) при $v_3 = 0.3$ - $\beta_3 = 0.765$.

Соответственно для вышеуказанных случаев напряженного состояния получим:

а) в случае одноосного напряженного состояния (когда $\sigma_1 \neq 0,\ \sigma_2 = \sigma_3 = 0$) УП (3) принимает вид: $\frac{1}{2}[2{\sigma_1}^2] + v{\sigma_1}^2 = \beta^2 {\sigma_т}^2$. Постепенно преобразуя его, находим главное напряжение σ_1:

$$\sigma_1 = \frac{\beta}{\sqrt{1+v}}\sigma_т .$$

При различных начальных значениях пористости материала получим

$$v = 0.1,\quad \sigma_1 = 0.880\sigma_т ,$$
$$v = 0.2,\quad \sigma_1 = 0.769\sigma_т ,$$
$$v = 0.3,\quad \sigma_1 = 0.671\sigma_т ;$$

б) в случае чистого сдвига $(\sigma_1 = -\sigma_3,\ \sigma_2 = 0)$ УП (3) принимает вид: $\frac{1}{2}[{\sigma_1}^2 + {\sigma_1}^2 + 4{\sigma_1}^2] + v \cdot 0 = \beta^2 {\sigma_т}^2$. Постепенно преобразуя его, находим σ_1:

$$\sigma_1 = \frac{\beta}{\sqrt{3}}\sigma_т .$$

Тогда численные значения σ_1 будут: 1) при $v = 0.1 - \sigma_1 = 0.534\sigma_т$, 2) при $v = 0.2 - \sigma_1 = 0.489\sigma_т$, 3) при $v = 0.3 - \sigma_1 = 0.442\sigma_т$;

в) В случае двухосного растяжения $(\sigma_1 \neq 0,\ \sigma_2 = \frac{\sigma_1}{2},\ \sigma_3 = 0)$ получим

$$\frac{1}{2}\left[\frac{{\sigma_1}^2}{4} + \frac{{\sigma_1}^2}{4} + {\sigma_1}^2\right] + v\frac{9{\sigma_1}^2}{4} = \beta^2 {\sigma_т}^2,$$
$$\sigma_1 = \frac{2\beta\sigma_т}{\sqrt{3(1+3v)}} .$$

Соответственно рассчитываем численные значения σ_1 и σ_2:

$$v = 0.1,\ \sigma_1 = 0.935\sigma_т ,\quad \sigma_2 = \frac{\sigma_1}{2} = 0.467\sigma_т ,$$
$$v = 0.2,\ \sigma_1 = 0.772\sigma_т ,\quad \sigma_2 = 0.386\sigma_т ,$$
$$v = 0.3,\ \sigma_1 = 0.64\sigma_т ,\quad \sigma_2 = 0.32\sigma_т .$$

Полученные для трех случаев плоского напряженного состояния величины главных напряжений позволили построить графики предельного контура пластичности материала в случаях различных начальных пористостей (рис.1).

На рис. 2–5 приведены графики предельного контура пластичности при начальных пористостях v спеченных материалов. Анализ показывает, что v значительно влияет как на размеры (становятся более мелкими), так и на их форму. Изменение вида графика УП пористых материалов по отношению к сплошному материалу (при отсутствии пористости – $v = 0$) заключается в следующем:

- в первой и третьей четвертях эллиптические кривые предельного контура пластичности при увеличении v становятся прямыми. При $v = 0.2$ эти кривые совпадают с прямыми линиями Треска – Сен-Венана: ab, bc, de, ef [4], а при $v = 0.3$ эллиптические предельные кривые поворачиваются,
- во второй и четвертой четвертях эллиптические кривые, уменьшаясь, надуваются, превращаясь в дугу окружности относительно начала оси координата.

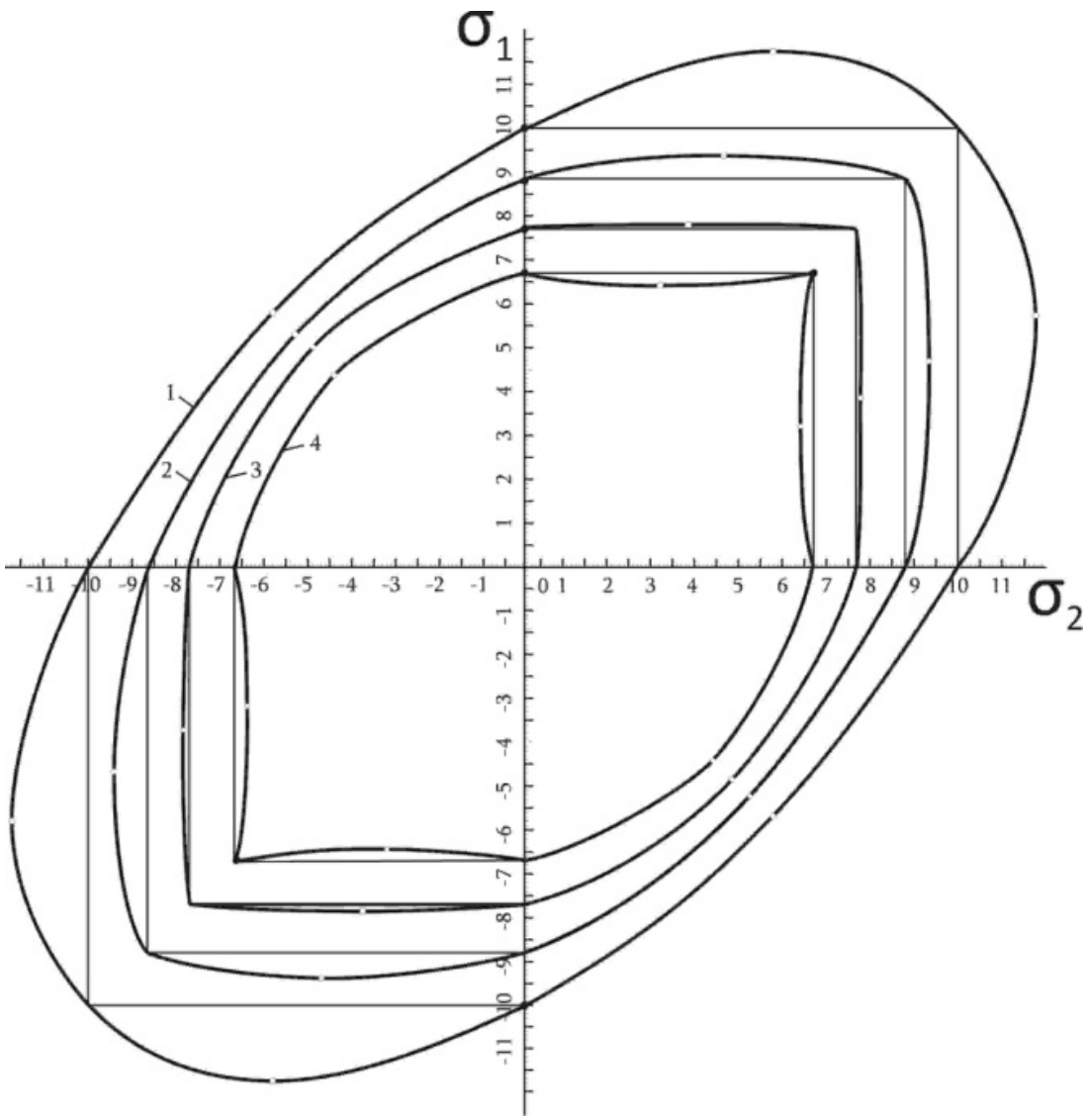


Рис.1. Графики УП для плоского напряженного состояния
в случаях различных начальных пористостей:
1 – $v = 0$, 2 – $v = 0.1$, 3 – $v = 0.2$, 4 – $v = 0.3$

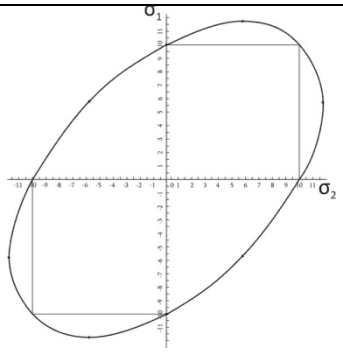


Рис. 2. График условия пластичности при v=0

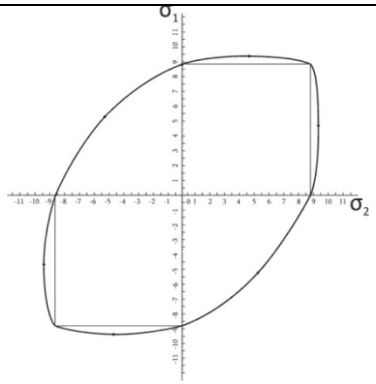


Рис. 3. График условия пластичности при =0.1

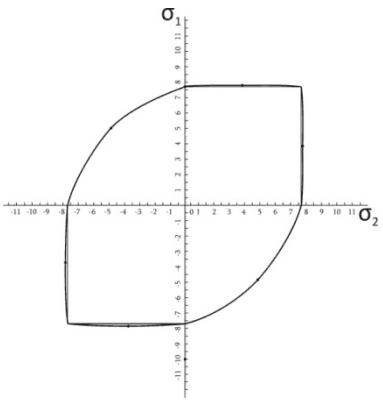


Рис. 4. График условия пластичности при $v = 0.2$

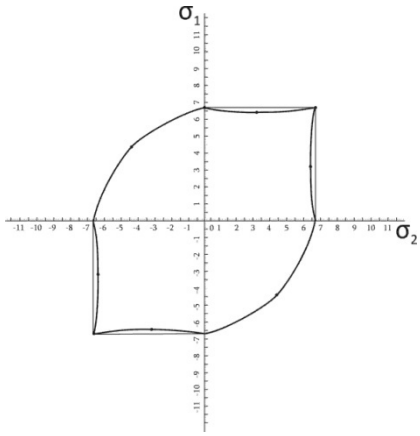


Рис. 5. График условия пластичности при $v = 0.3$

Заключение. выполнен анализ УП спеченных материалов, созданных на основе УП Хубера-Мизеса. Используются простейшие функции α и β ($\alpha = v$, $\beta = 1 - v$), а также тот факт, что влияние пористости на механические свойства спеченных материалов учитывается функцией $\beta = (1 - v)^{n+0.5}$, а влияние на среднее напряжение – $\alpha = v^m$. В случаев линейной и плоской пластических деформаций для различных значений пористости материала особое внимание уделяется выявлению особенностей изменения размеров (уменьшаются) и формы (выпрямляются, переворачиваются и надуваются) предельного контура.

Список литературы: **1.** Պետրոսյան Գ. Լ., Հակոբյան Ն. Գ. Հարթ դեֆորմացման խնդիրների լուծման դեպքում պլաստիկության սահմանային եզրագծի հաշվառման առանձնահատկությունները: **2.** Петросян Г. Л. Пластическое деформирование порошковых материалов. – М.: Металлургия, 1988. –152 с. **3.** Պետրոսյան Գ. Լ., Պետրոսյան Հ. Գ., Լևոնյան Հ. Լ. Ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության տեսության պարզեցված բանաձևերի մասին// ՀՊՃՀ տարեկան գիտաժողովի նյութեր.- Երևան, 2005. – Հատոր 2. – էջ 411-413: **4.** Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1971. – 421 с. **5.** Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 395 с.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РЕДУКТОРОВ

Горобец И. А., Голубов Н. В., Ищенко А. Л., Голенков Е. А., Боровенский Е. А. *(ГОУ ВПО ДонНТУ, г. Донецк)*
Тел.: +38 (062) 3010805; E-mail: goloobov@mail.ru

Abstract: *The research results gears breakdown elements are given. Recovery methods described gears. Recovery scheme designed gears. Recovery Technique gears given.*
Keywords: *product, gear, method, choice, technology*

Продление жизненного цикла (ЖЦ) и межремонтного сервиса (МС) редукторов горного и металлургического машиностроения является актуальной задачей современного бизнеса. Такое удлинение ЖЦ и МС возможно за счет восстановления технических характеристик редукторов горных и металлургических машин за счет проведения ремонта составляющих элементов: валов, зубчатых колес и корпусной группы редукторов. Исследованиями [1] установлены следующие статистические данные видов поломок: выкрашивание поверхностного слоя (20,8%) и износ (9,5%) зубчатых колес; износ (19,5%), трещины (8%) для деталей корпусной группы; износ шлицевых (55%) соединений для валов. Исследованиями установлено, что большинство элементов редуктора остаются пригодными к повторному использованию или могут быть восстановлены до требуемого уровня качества. Использование методов восстановления поверхностей составляющих элементов редукторов является эффективным методом продления ЖЦ и МС, взамен покупки новых элементов или всего редуктора. Большинство деталей редукторов имеет остаточный ресурс и может быть использовано повторно после проведения сравнительно небольшого объема работ по их восстановлению.

Восстановление редукторов является экономически выгодным вложением средств бизнеса, если необходимо продлить срок эксплуатации изделия, рис.1. Затраты на ремонт редукторов составляют 30% - 80% от затрат на новое оборудование [1,2]. Восстановительный ремонт имеет большое значение. Стоимость восстановления деталей значительно ниже стоимости их изготовления (рис. 2). Большое количество деталей редукторов требуют капитального ремонта, в результате износа, усталости материала, механических и коррозионных повреждений [10]. Следует заметить, что лишь некоторые из этих деталей утрачивают работоспособность полностью и требуют замены. Большинство деталей имеет остаточный ресурс и может быть использовано повторно после проведения сравнительно небольшого объема работ по их восстановлению. Эффективность и время восстановления деталей на современном этапе производства возможно за ранее проектировать с помощью CALS технологий [11,12].

Методы ремонта зубчатых колес редукторов, имеют свои особенности по сравнению с общими методами восстановления изделия.

Основные повреждения зубчатых колес - изнашивание рабочего профиля зуба, скол части зуба, поломка одного или нескольких зубьев, трещины в зубчатом винце, спицах или ступице зубчатого колеса, выкрашивание, поднутрение рабочей части зуба, изнашивание посадочного отверстия, сопряженное со смятие шпонки или шлицов, вмятины на торцах зубьев. Восстановление таких поломок зубчатых колес как износ, поднутрение, выкрашивание, разрушение цементного слоя, вмятины и заеданий проводится несколькими методами такими как: наплавкой, нанесением газотермических покрытий, пластическим деформированием, а также методами гальванического восстановления [5-8].

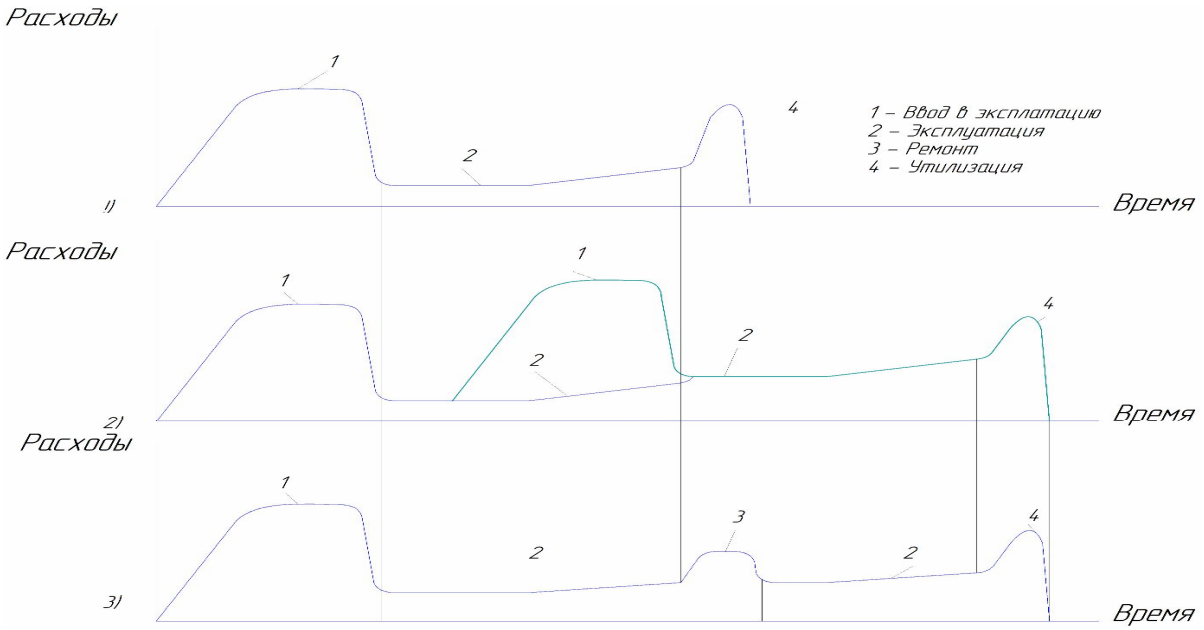


Рис. 1. 1) зависимость расходов, потраченных на эксплуатацию редуктора от времени; 2) зависимость расходов, потраченных на эксплуатацию редуктора от времени при покупке нового оборудования; 3) зависимость расходов, потраченных на эксплуатацию редуктора от времени при его ремонте;

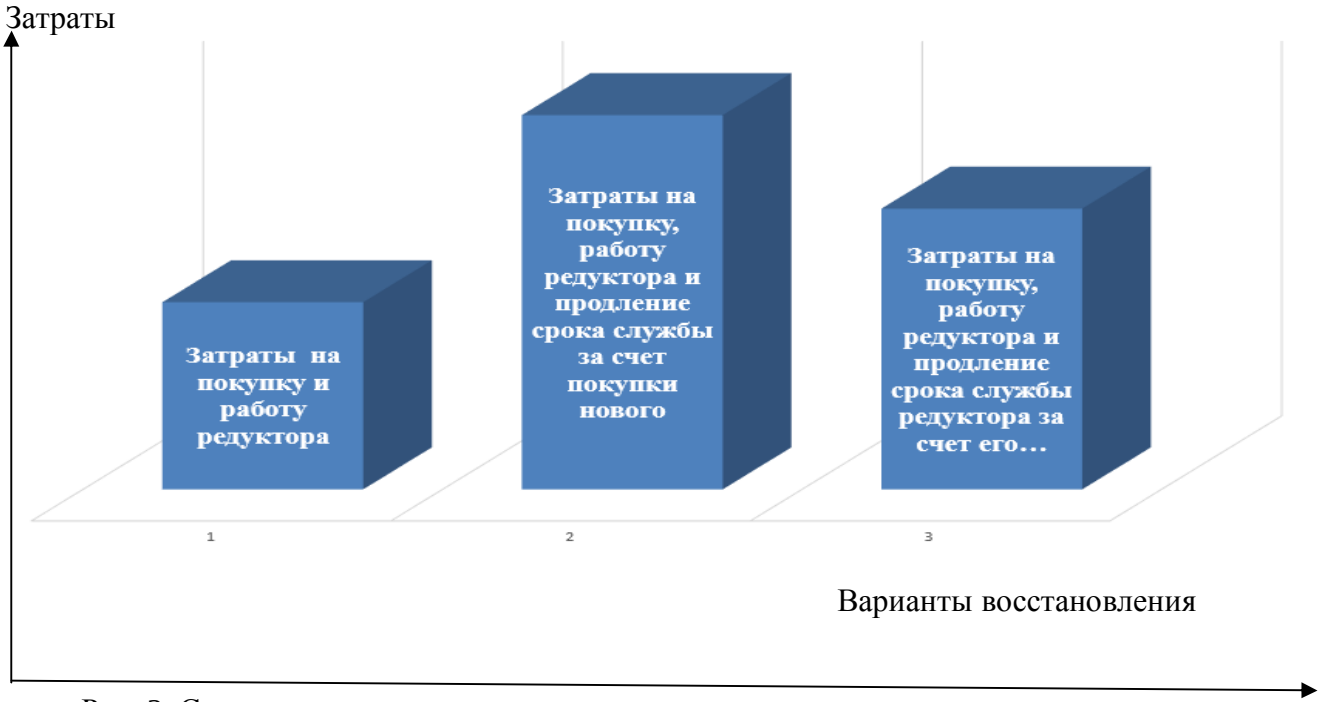


Рис. 2. Суммарные затраты

Излом, трещины и скол торцов зубьев зубчатых колес в основном происходит на одном или нескольких зубьев. Для восстановления в производстве довольно часто используют методы наплавки (зуб наплавляется на изломанную поверхность с принудительным формированием слоя в охлаждаемой жидкости), постановка ввертышей или отдельных зубьев. При изломе нескольких зубьев возможен ремонт бандажированием или постановкой специальной зубчатой секции [7,9].

При ремонте зубчатых колес наплавкой изношенные или сломанные зубья стальных зубчатых колес наплавляют электродуговой или газовой сваркой. Зубья

колес, изготовленные из легированных сталей, могут при наплавке закалиться, колеса — покоробиться, и на них могут образоваться трещины.

Довольно часто производится наплавка зубьев, ацетиленокислородным пламенем с применением присадочного металла того же состава, что и ремонтируемое зубчатое колесо. Зубчатые колеса большого диаметра наплавляют газовым пламенем, погрузив их в ванну с водой, во избежание коробления колеса. Зубчатые колеса после наплавки зубьев подвергаются механической обработке. Наплавленные поверхности зубьев обрабатываются на фрезерных и зубофрезерных станках.

Ремонт зубчатых колес при помощи ввертышей или при постановке отдельных зубьев возможен для тихоходных передач. Сломанные или изношенные зубья колес сострагивают или опиливают, а вместо них ставят ввертыши. Ремонт зубчатых колес с помощью бандажирования осуществляется в следующем порядке. Зубчатое колесо под насадку венца обтачивают на токарном станке. Обтачивание ведут с минимальными режимами резания. Венец насаживают на обточенный обод зубчатого колеса холодным или горячим способом, а затем его обтачивают и нарезают на нем зубья. При горячем способе венец нагревают так, чтобы он свободно садился на обод колеса.

Восстановление зубчатого сектора производят, закрепляя на нем новый зубчатый венец, который вырезают из предварительно нарезанного зубчатого колеса соответствующего модуля. Восстановление пластической деформацией происходит в таком порядке, сначала колесо нагревают в ванне и подают к прессу. Установив зубчатое колесо на матрицу специального штампа, отпресовывают ее за один ход пуансона. Затем шестерни загружают в печь, где их отжигают с температуры конца деформации. Остывшие шестерни моют и проводят их контроль и направляют на механическую обработку [6].

Изношенные зубья восстанавливают также нанесением покрытия газотермической обработкой. На зубчатое колесо после предварительной обработки наносятся газотермическое напыление. После нанесения покрытия проводятся окончательные операции для предания зубчатому колесу необходимых характеристик [6-9].

Восстановление колес нанесением гальваническими методами ограничено, возможной величиной нанесения покрытий. Процесс нанесения гальванических покрытий состоит из предварительной механической обработки, затем производится защита мест не подлежащих нанесению покрытий, затем окончательной механической обработки.

Проанализировав основные поломки зубчатых колес редукторов и способы их восстановления, возможно составить блок-схему выбора метода восстановления.

На рисунке 3 представлена последовательность выбора метода восстановления зубчатого колеса, которая включает следующий информационный ряд:

1. Произошла поломка в редукторе и поломанным оказалось зубчатое колесо;
2. Дефектировка поломки;
3. Уточнение вида поломки: «излом зубьев, трещины, скол торцов»,

При условии «Да» (излом зубьев, трещины, скол торцов), приходим к условию: поломка одного зуба.

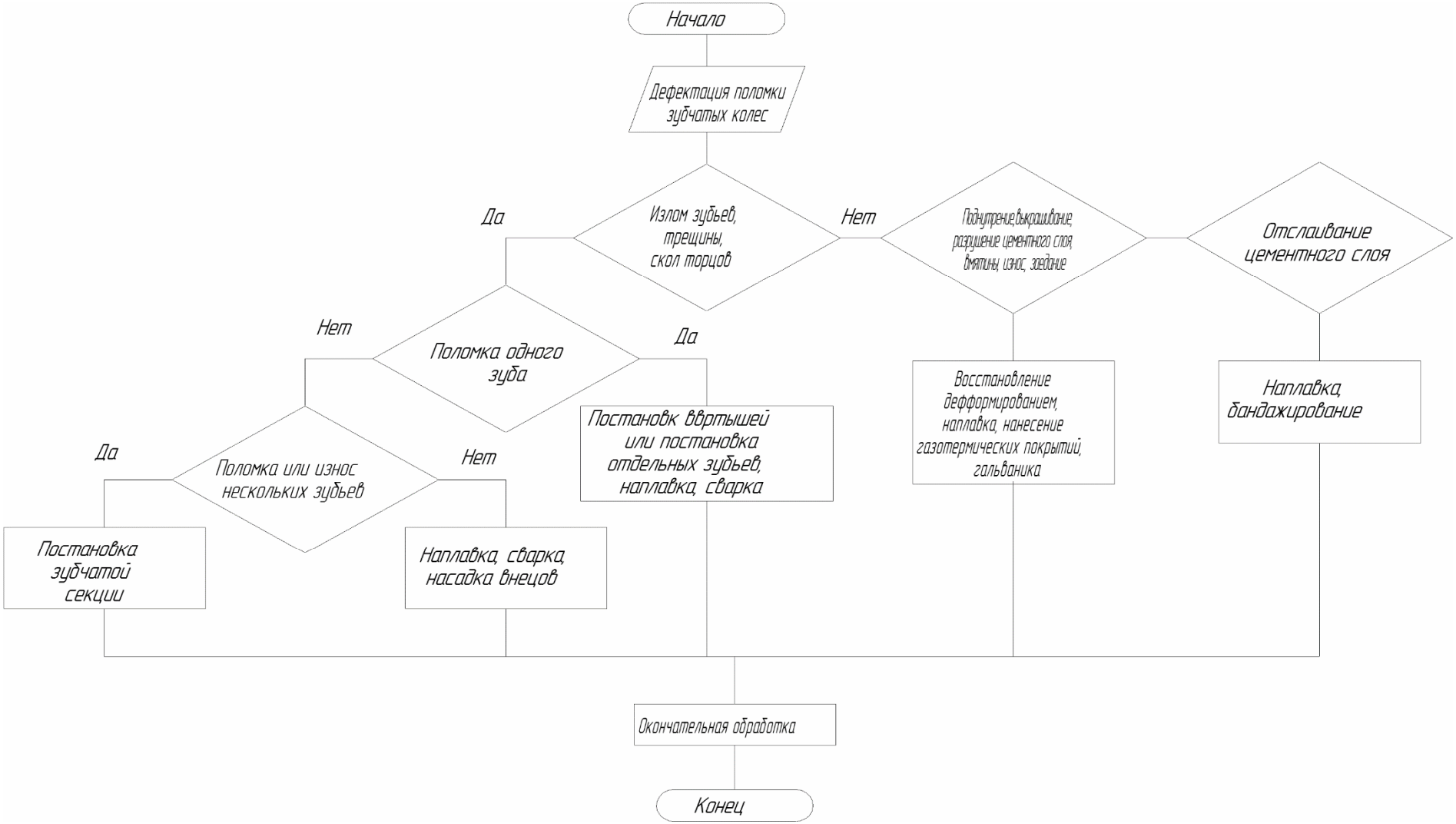


Рис.3. Блок схема выбора метода восстановление зубчатого колеса

4.1. При условии «Да» (поломка одного зуба), осуществляется ремонт зубчатого колеса постановкой ввертышей или постановка отдельных зубьев, а также наплавкой или приваркой зуба;

4.2. При условии «Нет» (поломка одного зуба), следует условие «поломка всех зубьев»;

4.2.1. При условии «Да» (поломка всех зубьев), ремонт проводится: наплавкой и насадкой венцов (бандажированием)

4.2.2. При условии «Нет» (поломка всех зубьев), проводится ремонт постановкой зубчатой секции;

5. При условии «Нет» («вид поломки излом зубьев, трещины, скол торцов») происходит выбор условия вида поломки: «поднутрение, выкрашивание, разрушение цементного слоя, вмятины, износ, заедание»,

5.1. При выборе условия «Да» (поднутрение, выкрашивание, разрушение цементного слоя, вмятины, износ, заедание), ремонт проводится: деформированием, наплавкой и нанесением газотермических покрытий на поверхность зуба;

6. При условии «Нет» (поднутрение, выкрашивание, разрушение цементного слоя, вмятины, износ, заедание) происходит выбор условия вид поломки: «отслаивание цементного слоя».

6.1. При условии «Да» (отслаивание цементного слоя), ремонт проводится: наплавкой и насадкой венцов (бандажированием);

7. После выбора метода ремонта проводиться окончательная обработка, колеса;

8. Результатом проведения восстановительных работ получается полностью готовая деталь с необходимыми технико-эксплуатационными характеристиками.

Список литературы: 1. Молдавский Л. А. Виды повреждений и долговечность трансмиссий горных машин / Л. А. Молдавский, З. Л. Финкельштейн, Б. А. Верклов. – М.: Недра, 1981. – 192 с. **2.** Авдеев М. В. Технология ремонта машин и оборудования / М. В. Авдеев, Е. Л. Воловик, И. С. Ульман – М.: Агопромиздат, 1986. – 247 с. **3.** Воробьев В. С. Технология машиностроения и ремонт машин / В.С. Воробьев **–** М.: Высш. шк., 1981. – 344 с. **4.** Канарчук В. Е. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств / В. Е. Канарчук, Д. Д Чигринец – К, – Высш. шк., 1992. – 495с. **5.** Колесник П. А., Шейнин В. А. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / П. А. Колесник, В. А. Шейнин – М.: Транспорт, 1985. – 325 с. **6.** Колясинский З. С. Механизация и автоматизация авторемонтного производства / З. С. Колясинский, Г. Н. Сархошьян, А. М. Лисковец – М.: Транспорт, 1982. – 160 с. **7.** Лавринович М. Ф., Шустерняк М. М. Повышение износостойкости деталей автомобилей / М. Ф. Лавринович, М. М. Шустерняк – Минск: Беларусь, 1985. – 142с. **8.** Лудченко А. А. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / А. А. Лудченко, И. П. Сова – К.: Высш. шк., 1983. – 384с. **9.** Масино М. А. Организация восстановления автомобильных деталей / М. А. Масино – М.: Транспорт, 1981. – 176с. **10.** Молдавский Л. А. Виды повреждений и долговечность трансмиссий горных машин / Л. А. Молдавский, З. Л. Финкельштейн, Б. А. Верклов. – М.: Недра, 1981. – 192 с. **11.** Авдеев М. В. Технология ремонта машин и оборудования / М. В. Авдеев, Е. Л. Воловик, И. С. Ульман – М.: Агопромиздат, 1986. – 247 с. **12.** Воробьев В. С. Технология машиностроения и ремонт машин / В. С. Воробьев **–** М.: Высш. шк., 1981. – 344 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТА НАВЫКОВ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ

Лапаева И. В., Каверина О. Г., Горобец И. А.
(ГОУ ВПО ДонНТУ, г. Донецк)
Тел.: +38 (062) 3010715; E-mail: iren.vit@mail.ru

Abstract: *The competences of future specialists are considered. Priority skills over of specialists are brought. Comparison of competences of specialists given. The important changes of priorities of specialists are analyzed.*
Keywords: *competence, priority, specialist, change, qualification.*

Цель высшего профессионального образования - это подготовка квалифицированных, конкурентоспособных кадров, отвечающих современным требованиям к качеству специалистов с высшим образованием, для самостоятельной работы по выбранному направлению (специальности) области знаний, способных обеспечить научно-техническое, экономическое, социальное и культурное развитие республики и обладающих высокими духовными, культурными и нравственными качествами [1].

Согласно данных Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) мировой проблемой работодателей является подбор сотрудников на должности, требующие высокие квалификации. Это зафиксировано на Ежегодном собрании Всемирного экономического форума 2017 года, который проводился в г. Давосе (Швейцария) [2]. Стремительное развитие технологий, глобализация, технологические интеграционные изменения, бурное развитие цифровых технологий на рабочем месте создают сложности и для специалистов, которые не всегда могут совместить свои навыки с потребностями работодателей. Результаты исследований, опубликованных на Форуме, указывают на нехватку квалифицированных кадров для фирм с 10 и более сотрудниками в странах Европы, Америки и Азии. Серьезная нехватка квалифицированных кадров (81%) зафиксирована в Японии. За ней следуют Индия, Бразилия, Турция (64 – 63%). После компаний этих стран следуют компании Мексики, Греции, Австралии, Германии и США (44-40%). Наименьший показатель нехватки квалифицированных кадров зафиксирован в Испании (3%) и в Великобритании (12%). Как видно из диаграммы, острую нехватку квалифицированных кадров испытывают, в основном, компании развивающихся стран. Вместе с тем, в результате современной промышленной революции такие проблемы существуют и у промышленных лидеров Японии, Германии и США.

Между тем, 45% опрошенных ОЭСР работников компаний признались в нехватке соответствующих навыков и компетенций, для выполнения своей работы [2]. И только 30 % работников считают, что у них есть необходимые навыки, чтобы справляться с более сложной работой. Такая статистика подтверждает необходимость повышения квалификации работников, введение новых актуальных дисциплин при обучении в университетах, увеличение количества практических и лабораторных занятий, а также производственных практик.

В Европе 40% работодателей сообщили в 2013 году, что им трудно найти людей с необходимыми бизнесу навыками. Этот дефицит был наиболее распространен в производственном секторе. Большинство работодателей отмечают важность подготовки специалистов с определенными навыками, а не шаблонного специалиста с конкретной специальностью.

Отчет Форума «Будущее рабочих мест» [3] прогнозирует тенденцию изменений более трети навыков, которые будут считаться важными для квалифицированных работников к 2020 году. Среди этих навыков важными будут те, которые дают специалистам преимущества над машинами. К ним относятся критическое мышление, способ-

ность к творчеству. Анализ существующих навыков и прогнозируемых к востребованию в 2020 году (табл.1) подчеркивает изменение вектора бизнес модели, связанной с изменениями в условиях глобализации промышленного сектора из-за отсутствия необходимой динамики экономического развития.

В отчете работы Форума приведен анализ, в котором отмечено, что модель, принятая с введением глобализации и требующая в приоритете управленческие и коммуникативные навыки, не показала достаточного экономического прироста в бизнесе. Более того, такая модель привела к некоторому застою развития бизнеса и к увеличению популизма в обществе и бизнесе. В результате такого популизма увеличивается вербальная составляющая не приводящая к приросту продуктивных идей [3]. В связи с этим современные идеи руководителей бизнеса сложились в новую концепцию иерархии топ-10 навыков специалистов, которые будут к 2020 году наиболее необходимы (см.табл.1). К ним относятся креативность (+ 7 позиций прироста в десятке приоритетных навыков) и умение критически мыслить (+ 2 позиции). Такие навыки станут наиболее привлекательными для работодателей, в сравнении с управленческими способностями (4 место, -1 позиция) и координацией с другими (5 место, -3 позиции). Работодателей также будет интересовать наличие у специалистов новых навыков, таких как эмоциональный интеллект (6 место в рейтинге) и когнитивная гибкость (10 место в рейтинге). Вместе с тем, приоритет умения вести переговоры сместился на 4 позиции (с 5 на 9 место в рейтинге) (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Ранжирование приоритетных навыков специалистов

№	Навыки	Место в рейтинге		Δ
		2015 год	2020 год	
1	Комплексное решение проблем	1	1	**0**
2	Координация с другими	2	5	- 3
3	Управление персоналом	3	4	- 1
4	Критическое мышление	4	2	+ 2
5	Переговоры	5	9	- 4
6	Контроль качества	6	-	выбыл
7	Ориентирование на обслуживание (сервис)	7	8	- 1
8	Рассуждение и принятия решений	8	7	+ 1
9	Активное слушание	9	-	выбыл
10	Креативность	10	3	+ 7
11	Эмоциональный интеллект	-	6	новый
12	Когнитивная гибкость	-	10	новый

Навык активного слушания сменяется необходимостью обладания эмоциональным интеллектом, и этот навык будет наиболее актуален (6 позиция). Активное слушание (эмпатическое слушание) - это техника, применяемая в практике социально-психологического тренинга и психологического консультирования, позволяющая точнее понимать психологические состояния, чувства, мысли собеседника с помощью особых приемов участия в беседе, подразумевающих активное выражение собственных переживаний и соображений. А под эмоциональным интеллектом (англ. emotional intelligence) понимается способность человека распознавать эмоции, понимать намерения, мотивацию и желания других людей и свои собственные, а также способность управлять своими эмоциями и эмоциями других людей в целях решения практических задач [4]. Успешные люди способны к эффективному взаимодействию с другими людьми, основанному на эмоциональных связях, и к эффективному управлению своими собственными эмоциями. По определению С. Дж. Стейна и Говарда Бука, эмоциональный интеллект, в отличие от привычного всем понятия интеллекта, «является способностью правильно истолковывать обстановку и оказывать на неё влияние, интуитивно улавливать то, чего хотят и в чём нуждаются другие люди, знать их сильные и слабые стороны, не поддаваться стрессу и быть обаятельным» [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Когнитивная гибкость (англ. cognitive flexibility) – это умственная способность переключаться с одной мысли на другую, а также обдумывать несколько вещей одновременно, также будет востребована в условиях четвертой промышленной революции [2].

Таким образом, содержание учебных программ и планов подготовки современных специалистов в университетах [6] также должны изменяться с учетом динамики и смещения градиента направления интересов промышленного бизнеса.

Список литературы: 1. Официальный сайт Министерства образования и науки Донецкой народной республики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mondnr.ru/vysshee-obrazovanie (дата обращения: 30.04.2017). **2.** Страны сталкиваются с наибольшей нехваткой квалифицированных кадров [Электронный ресурс] // World economic forum: Всемирный экономический форум. – Режим доступа: https://www.weforum.org/agenda/2016/07/countries-facing-greatest-skills-shortages?utm_content=buffer450a3&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign= buffer (дата обращения: 11.05.2017). **3.** Будущее рабочих мест. Глобальный отчет о проделанной работе [Электронный ресурс] // World economic forum: Всемирный экономический форум. – Режим доступа: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf (дата обращения: 30.04.2017). **4.** Гоулман, Д. Эмоциональный интеллект / Дэниел Гоулман [перев. с англ. А.П. Исаевой]. - М.: АСТ МОСКВА; Владимир: ВКТ, 2009. – 478 с. **5.** Стивен Дж. Стейн Преимущества EQ. Эмоциональный интеллект и ваши успехи / Стивен Дж. Стейн, Говард И. Бук. — Баланс Бизнес Букс, 2007 г. — 384 с. **6.** Горобец, И. А. Современные особенности и задачи подготовки квалифицированных специалистов / И. А. Горобец, А. Н. Михайлов, И. В. Лапаева, Н. В. Голубов // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров: сб. тр. IX Международной научно-методической конференции в г. Сухум с 01 - 09 октября 2016 г. – Донецк: МСМ, 2016. – С. 54-55.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСТАНОВОЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА КОЛЛЕКТИВНОГО ПРОЕКТА В СТУДЕНЧЕСКИХ ГРУППАХ

Лапаева И. В., Горобец И. А., Каверина О. Г.
(ГОУ ВПО ДонНТУ, г. Донецк)
Тел.: +38 (062) 3010715; E-mail: iren.vit@mail.ru

Abstract: *Competences over of modern specialists are brought. Description of experiment to the groups of students is driven. The results of experiment of participation of students in a collective project are given. Recommendations to drafting of curricula are given.*
Keywords: *necessity, quality, business, competence, project, experiment, analysis.*

Подготовка квалифицированных, конкурентоспособных инженерных кадров, отвечающих требованиям потребностей современного бизнеса, способных обеспечить научно-техническое, экономическое, социальное и культурное развитие народного хозяйства и обладающих высокими духовными, культурными и нравственными качествами, является высшей задачей современного высшего учебного заведения.

В динамичное время развития и смены направлений градиента потенциальных интересов современного бизнеса, содержание учебных программ и планов подготовки специалистов в университетах также должны быть вариативными и заранее предусматривать стратегию направления вектора интересов бизнеса. В настоящее время и в ближайшую перспективу (до 2020 года) в качестве основных компетенций молодого специалиста, согласно результатам обсуждений [1], являются: критическое мышление, креативность, управление коллективом, координация действий с другими, эмоциональный интеллект, умение принятий рациональных решений. Поэтому, в качестве эксперимента, было решено провести несколько лабораторных занятий в форме коллективных проектов [0]. Для представительности выборки эксперимента было выбрано 3 группы магистров 1 и 2-го курсов обучения (гр. ИТМм-15, КИТм-16, КИТм-15) по двум направлениям подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическая подготовка машиностроительного производства» и 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», по дисциплинам «Робототехника и мехатроника», «Роботы и роботизированные технологические комплексы» В рамках занятий студентам были даны пояснения к организации коллективной проектной работы, о роли личности и коллектива в коллективном проекте, приведены и проанализированы требования к оформлению и защите коллективных проектов.

По результатам проведенных коллективных проектных работ в группах магистрантов было выявлено, что даже старшекурсники, магистранты в возрасте 20-24 лет, оказались не готовыми к ответственной и креативной коллективной работе, к комплексному видению задач и быстрому принятию решений, планированию работ в коллективе и персональной ответственности каждого участника проекта, а также к роли лидера – руководителя проекта. Такая форма проведения коллективных проектов ставила большинство в тупик. А между тем, в современном бизнесе именно работа в коллективном проекте (где трудится более двух инженеров) является основной. Но навыков такой профессиональной работы, психологических умений работы в

коллективе у современных студентов нет, так как это не предусмотрено учебными планами занятий, в которых доминируют только индивидуальные работы (лабораторные, практические, расчетные, курсовые, дипломная, бакалаврская и магистерская работы).

В ходе эксперимента было замечено, что студенты надеются на подсказку преподавателя или своих коллег, ждут и надеются на то, что им обязательно простят ошибки в работе. У студентов полностью отсутствуют навыки коллективной профессиональной работы, нет психологических умений работы в коллективе как в качестве исполнителя, так и в качестве руководителя. Студенты часто не умеют обоснованно и логично представить свою авторскую работу, не проявляют творческий подход, не умеют слушать и слышать коллег с целью критического анализа действий и результатов проекта, а также нахождения рациональных способов решения задач проекта, не умеют участвовать в дискуссиях. Они не понимают также значимость регламентов оформления своих работ, не имеют навыков доклада и представления своей работы.

Таким образом, при обучении студентов технических специальностей необходимо еще в период первых семестров обучения прививать и развивать необходимые навыки и качества для работы в коллективных проектах, повышать культуру профессионального общения. Для этого необходимо внедрение в учебные планы соответствующих типов занятий и формирование соответствующей мотивации преподавателей к новому виду учебной деятельности.

Список литературы. 1. Будущее рабочих мест. Глобальный отчет о проделанной работе [Электронный ресурс] // World economic forum: Всемирный экономический форум. – Режим доступа: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf (дата обращения: 30.04.2017). **2.** Горобец, И. А. Современные особенности и задачи подготовки квалифицированных специалистов / И. А. Горобец, А. Н. Михайлов, И. В. Лапаева, Н. В. Голубов // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров: сб. тр. IX Международной научно-методической конференции в г. Сухум с 01 – 09 октября 2016 г. – Донецк: МСМ, 2016. – С. 54-55.

МЕСТО ГУМАНИТАРНЫХ ДИСЦИПЛИН В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ СОВРЕМЕННЫХ ИНЖЕНЕРОВ

Лисковая Е. Н., Каверина О. Г.
(ГОУ ВПО «ДонНТУ», г. Донецк)
Тел.: +38 (062) 3052375; E-mail: liskowaja@mail.ru

Abstract: *Preparation of modern specialists does not answer the requirements of business. Humanitarian disciplines form necessary qualities of specialists. Importance over of education of specialists is brought.*

Keywords: *quality, business, competence, education, discipline, education*

Профессиональная подготовка специалистов в высших технических учебных заведениях является актуальной проблемой современной психолого-педагогической науки. Одной из стратегических задач высшего образования является создание условий для формирования образованной, творческой личности гражданина, а также для реализации его природных задатков и возможностей в образовательном процессе. В формировании личности студента, будущего инженера, значительная роль принадлежит гуманитарному образованию.

Сложившаяся практика подготовки специалистов не отвечает в должной мере современным требованиям. Значительная часть выпускников технических вузов, имея достаточно прочную основу профессиональных знаний, обладает невысокой культурой и несформированностью целостного мировоззрения. Многие не владеют навыками творческой деятельности, не испытывают потребности в непрерывном самообразовании и профессиональном самосовершенствовании.

Учитывая традиции отечественного образования и тенденции развития образования за рубежом, в качестве основы интеграции знаний выдвигаются гуманитарные знания. Ведь фактически «только гуманитарные предметы в системе образования сегодня способствуют развитию в человеке человеческого начала: нравственности, ответственности, совести, толерантности и т.д.» [1]. Не давая, казалось бы, конкретных трудовых навыков, гуманитарные дисциплины формируют личностные черты, необходимые профессионалу в условиях новых рыночных отношений. Рассматривая роль гуманитарных дисциплин в процессе формирования профессионально важных качеств будущего инженера, можно выделить следующие:

1. Гуманитарные дисциплины оказывают важное влияние на формирование ценностных ориентаций специалиста, его профессиональных и личностных качеств. Гуманитарное образование представляет собой систему духовно-практического освоения человеком реальности, все происходящие в нем информационные процессы связаны с поиском смысла. В процессе изучения гуманитарных дисциплин закладывается гуманистическая направленность личности, которая заключается в:

- осознании самоценности человеческой личности как носителя высоких гуманистических начал, ее неповторимой индивидуальности и творческой сущности;
- признании гармоничного развития личности целью и основным предназначением человека;

- понимании творческой природы деятельности, осознании необходимости для ее реализации духовных затрат и самосовершенствования;
- развитии гуманитарной культуры как комплекса качеств личности: единства нравственной внутренней сущности и внешней поведенческой

выразительности, тонкого восприятия прекрасного и безобразного в человеческих отношениях, эмпатии, чуткости, отзывчивости, оптимизма, доброты [2].

Гуманитарная образованность способствует эмоциональной полифоничности людей, делает их более открытыми для разнообразной информации, активизирует деятельность их интеллекта, характеризует возвышенность их мыслей, желаний, облегчает усвоение любой профессии [3].

2. Гуманитарные дисциплины оказывают положительное воздействие на формирование межличностных взаимодействий будущих специалистов. В процессе изучения гуманитарных дисциплин происходит установление взаимо обуславливающих и взаимодополняющих друг друга связей: между усваиваемой информацией и реальной жизненной практикой обучающихся, между моделируемым процессом развития нравственных отношений и образовательным процессом в целом, между различными предметами гуманитарного цикла, внутри каждого учебного предмета.

3. Гуманитарные науки обладают огромным потенциалом формирования мотивации будущего специалиста. Развитие мотивации у будущих специалистов возможно за счет применения различных активных методов обучения, которые находятся в арсенале гуманитарных дисциплин.

4. Гуманитарные дисциплины играют важную роль в формировании осознанного отношения личности к процессам самообразования и самосовершенствования.

В ходе изучения гуманитарных дисциплин происходит не только усвоение обучаемыми знаний и формирование у них умений и навыков, но и приобретается возможность «открывать» эти знания самим. Такие «открытия», по определению Е. Н. Шиянова, становятся «их миром», создают условия для неограниченной самореализации [4].

Так, О. А. Абдулина справедливо замечает, что «только через внутреннее понимание своего «Я» человек придет к пониманию другого человека, своих отношений с другими и с миром, и в конечном итоге, конструированию «Я» [5]. В процессе работы над собой индивид как бы заранее задает программу формирования своей личности, ее параметров, исходя из своих умственных, физических, психических, социальных и других возможностей и будет стремиться их реализовывать.

Е. Булгакова рассматривает три этапа профессионального становления студентов при обучении гуманитарным дисциплинам в техническом вузе:

- общетеоретический, повышающий общее развитие студентов;

-ориентированно-профессиональный, формирующий умения синтезировать в целостные системы гуманитарные знания и моделировать технические процессы;

-общепрофессиональный, формирующий умения студентов синтезировать путем теоретических обобщений гуманитарные и общепрофессиональные знания в целостные системы [6].

Гуманизация и гуманитаризация образования должны возрождать единство культуры и образования. Инженеру, например, необходимо понять, где заканчивается

технический прогресс. Любой специалист должен чувствовать, где начинаются нравственные аспекты его деятельности, и в чем заключается его личная ответственность за ее результаты.

Именно поэтому важно разработать концепцию гуманитарной подготовки специалистов, которая была бы направлена на развитие профессионального сознания и самосознания студента.

Таким образом, без воспитания нравственности и культуры личности настоящего творческого специалиста-профессионала и руководителя подготовить невозможно, а это воспитывается в процессе изучения гуманитарных наук.

Список литературы: 1. Кирсанов, О. И. Гуманитарные науки в инженерно-техническом вузе и проблема воспитания / О. И. Кирсанов, Е. С. Кирсанова // Высшее образование в России. – МГУП им. И. Федорова, 2012. – № 8-9. – С. 104-110. **2.** Корнеева, Т. В. Личностно-ориентированные технологии нравственного воспитания учащихся при изучении гуманитарных предметов: дис. … канд. пед. наук: 13.00.01 / Корнеева Татьяна Владимировна. − Ростов н/Д., 2003. −193с. **3.** Каплина, С. Е. Профессиональная мобильность – залог качества подготовки будущих специалистов. – Чита: ЧитГУ, 2008. – 350 с. **4.** Шиянов, Е. Н. Развитие личности в обучении: уч. пособие для студ. пед. вузов / Е. Н. Шиянов, И. Б. Котова. – М.: Издательский центр «Академия», 1999. – 288 с. ISBN 5-7695-0356-0. **5.** Пономарева, Л. Н. Технология модульного обучения как средство гуманизации профессиональной подготовки специалиста: дис. …канд. пед. наук: 13.00.08. / Пономарева Лариса Николаевна. − Ставрополь, 2000. − 204 с. **6.** Булгакова, Е. В. Влияние гуманитарной подготовки студентов технического вуза на их профессиональное становление / Е. В. Булгакова // Вестник Томского государственного университета. – Томск, 2007. – Вып. 32. – С. 193-196.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОЗДАНИЮ НЕОБХОДИМОЙ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ НА ФОНЕ ВЫЗОВОВ “ИНДУСТРИЯ – 4.0” С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ МОЛОДЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

Турманидзе Р. С., Попхадзе Г. З.
(Грузинский Технический Университет (ГТУ), Тбилиси, Грузия)
E-mail: inform@gtu.ge, popxadzegiorgi@gmail.com

Abstract. *The work analyzes theoretical and practical results obtained after each of the first three world scientific – technical revolution, appreciated their role in the development of humanity, and improve the level of industry in different sectors of the economy. More discussed in detail situation on the threshold of the fourth scientific - technical revolution "industry-4". It is proved crucial in accelerating these processes, the level of training of young engineering staff and suggestions, some ideas and solutions to these problems on the example of the Georgian Technical University.*
Keywords: *scientific – technological revolution, "industry-4", a young professional, material resources, teaching methods and assessment of training, computer designing, computer manufacture, automated control, Remote control processes.*

В начале XXI века весь мир находится на рубеже четвертой научно – технической революций, которая фундаментально должна поменять стиль и уровень мышления т.е. правила жизни каждого человека и особенно молодого поколения во всех странах мира. Это обусловлено тем, что по утверждению многих ученых и авторов широкопрофилных исследований по изучению состоянии необходимых условий для обеспечения достойной встречи таких крупных реформ предстоящее изменение оценивается как самая комплексная и масштабная в историй всего человечества. Она будет проходить под сокращенным названием „ИНДУСТРИЯ – 4“ [1].

В период первой индустриальной революции, которая продолжалась дольше, чем два века для механизации отдельных операций промышленности были использованы вода и пар. В результате второй революции на основе применения электроэнергии были созданы массовые производства многих изделий по разным направлениям народного хозяйства. Во время третьей революции с помощью применения электронных и информационных технологий производственные процессы стали автоматизированными. А сейчас, на основе результатов третьей революций развивается четвертая революция, которая опирается на цифровых технологиях, разработка которых была начата еще во второй половине прошлого века. Она подразумевает слияние нескольких современных технологий и исчезновение всяких границ между физических, цифровых и биологических сфер, т.е создание кибер – физических систем [2,3,4,5].

Результаты первых трех революций были общие и применяемые для всех стран, для каждого предприятия и, практически, для каждого человека. Однако, процесс развития 4 – ой революции и степень последовательного использования результатов ее отдельных этапов на практике будет иметь своеобразный характер для разных отраслей промышленности. Конечно основные принципы будут общие, но поскольку каждая конкретная отрасль имеет свои специальные современные, многооперационные и многопараметрические технологии для их проектирования и управления нужны будут специальные знания и индивидуальный подход.

Неоспоримо, что в этой непростой но очень интересной ситуации в деле обеспечения высокого уровня и темпа решения основных этапов „ИНДУСТРИЯ – 4“ самым определяющим фактором является качество

подготовки молодых специалистов и особенно инженерных кадров в каждой стране и в каждом университете, где народ настроен на активное участие в процессах ускоренного изменения человеческого мышления такого мирового масштаба [6,7,8,9,10].

Несмотря на то, что Грузия маленькая страна, в последние годы сушествования Советского Союза, на ее территорий интенсивно развивались такие мощные предприятия, как авиационный завод, два станкостроительного завода по выпуску универсально – токарных и шлифовальных станков, инструментальный з-д, автомобильный з-д, краностроительный з-д, металлургический комбинат и з-д ферросплавов, з-д стиральных машин, з-д автокаров, электровозостроительный з-д, вагоностроительный з-д, крупный текстильный комбинат, несколько механических заводов для разных отраслей, з-д Электровычислительной техники, широкопрофильный горнообоготительний комбинат для получения разных чистых металлов, химический комбинат, хлопчато–бумажные комбинаты, з-д малогабаритных тракторов и многое другое. Большинство из этих предприятий работали в трех сменах и развивались непрерывно. К большому сожалению, на сегодняшний день, не один из этих предприятий не работает на полной мощности, а некоторые из них практически остановились. Однако, в последнее время правительство Грузии принимает решительные меры для восстановления существующих и создания новых предприятий разного профиля, используя достижения современных технологий ведущих странах мира. Целесообразность этих решений подкрепляется еще и тем, что в Грузии для многих предприятий имеются местное сырье и пока еще существуют квалифицированные кадры, что сильно влияет на рентабельность любого производства.

Учитывая перспективные процессы возрождения промышленности Грузии и вызовы научно-технической революций «индустрия-4», перед руководством Грузинского технического университета, который является одним из крупных широко-профильных технических учебных заведений в Европе и ведущим на Кавказе, поставлены сложные задачи. Наш университет имеет большие традиции по воспитанию молодых кадров практически по всем инжинерным направлениям. Однако следует объективно отметить, что уровень подготовки выпускаемых на сегодняшний день специалистов, также как во многих технических университетах требует значительного повышения. В связи с этим осуществляется фундаментальная реформа учебного процесса в соответствий Болонским процессам и обеспечения мобильности студентов в случае продолжения учебы в университетах других стран Мира. Для этого создаются укрупненные современные учебные программы по разным специальностям на основе опыта ведущих университетов.

В данный момент всему этому добавляются еще и новые задачи связанные с ускорением происходящих процессов по направлении осуществления технической революций на фоне вызовов «Индустрия-4».

С этой целью по нашей специальности «Инжинерия механики и производственные технологии» уже предприняты определенные меры по созданию необходимой материально-технической базы, совершенствования учебно-методической литературы, по повышению качества лекций, лабораторных и практических занятий, методики оценки знаний студентов, структуры самой учебной программы, степени соответствия всей необходимой документации к международным стандартам и др.

Считаем, что молодой специалист, получивший образование по нашей учебной программе, будет соответствовать современным требованиям только в том случае если он сумеет квалифицированно выполнять следующие основные работы:

– компьютерное проектирование узлов и деталей механического агрегата или целого изделия любой сложности для всех направлений народного хозяйства, на основе самостоятельно проведенных необходимых расчетов;

– разработка оптимальных технологических процессов изготовления составляющих деталей производимого изделия и составление необходимых программ для их обработки на станках с числовым програмным управлением современного уровня;

– умение выбора и пользования измерительной техники, приборов и многопараметрических микроскопов с програмным управлением для активного и пассивного контроля размеров обрабатываемых деталей;

– способность установления обратной связи между процессами компьютерного проектирования и компьютерного производства, т.н. «CAD-CAM» систем;

– обнаружение первоначальных ошибок в проектировании деталей или в программах их изготовления при их существований или несоответствие текущих отдельных размеров изготовляемых деталей, с проектными размерами, которые вызваны износом режущих инструментов или образованными неполадками в технологических системах после определенного времени работы:

– умение внесения автоматического исправления обнаруженных неполадок в системе «CAD-CAM», т.е. исправление размеров на рабочих чертежах или корректировка программ обработки. В необходимых случаях осуществление таких многоступенчатых изменений в технологической системе обработки, который в конечном итоге обеспечит запроектированную рабочими чертежами точность всех размеров деталей; [11,12,13,14,15].

Для обеспечения указанных пунктов специалист или группа специалистов, которые осуществляют процессы проектирования, изготовления, сборки и испытания изделия должны обеспечивать такие прямые и обратные связи между отдельными этапами всего процесса производства продукции от проектирования до упаковки, чтобы было достигнуто гарантированное обеспечение тех требований, которые заложены документах заказчика.

Наши студенты уже имеют возможность в стенах университета принимать активное участие в перечисленных действиях для чего нами уже приобретены следующая техника и оборудования:

– компьютерный класс и аппаратура для автоматизированной аудитории в котором входят новейшие компьютеры, электронная доска, необходимая аудиотехника, печатающие и размножительные устройства черно-белого и цветного изображения

– (рис. 1);

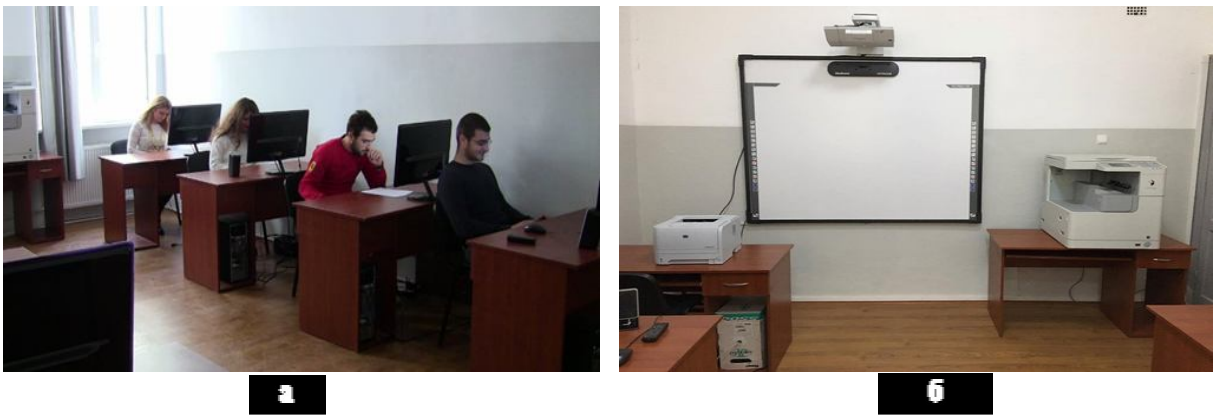


Рис. 1. Компьютерный класс – а. Автоматизированная

– метрологическая лаборатория (рис. 2), где можно производить измерение геометрических размеров деталей машиностроительного производства средних и малых размеров любой формы и точности. В том числе три микроскопа с программным управлением, с возможностью измерить восемь основных параметров детали, определить их нахождение в пределах допуска, которые предусмотрены по рабочим чертежам и в случае обнаружения нарушений передать соответствуюшую информацию в технологическую систему для осуществления необходимой корректировки;

– робот средних размеров производства немецкой фирмы «Bosch» с возможностью выполнить всех необходимых манипуляций для передачи детали с одной позиции на следующую. Его можно использовать также для сборки разных узлов без вмешательства человека (рис. 3);

– электроэрозионный специальный станок с программным управлением для получения объемных сложно профильных поверхностей штампов и пресформ с высокой производительностью (рис. 4) ;

– токарно-фрезерный станок с программным управлением для выполнения комбинированных операций при обработке фасонных поверхностей. Станок был разработан в нашем университете на базе Советской системы электроники NC – 31 и документация была передана для производства на Тбилиском механическом заводе. Станки покупали разные университеты и професиональные технические училища разного направления для проведения лабораторных работ. В этом году система управления была заменена новым, которая основана на современных компьютерах по всем трем координатам движения инструментов (рис. 5) [16,17].

– станки импортного производства разного назначения: горизонтально-фрезерный, универсально-токарный, универсально-шлифовальный с специалным приспособлением, круглошлифовалный с многопозиционным приспособлением, оптикошлифовалный,

универсально-заточной станок оснощенной с специольной шлифовалной головкой и приспособлением с ндивидуалным приводом для исследования процесов шлифования и доводки круглых и плоских поверхностей прецизионных деталей, (рис. 6) и многое др. для выполнения отдельных технологических операций.

– настольный сверлильно-фрезерный станок с програмным управлением мод. AI640profi Немецкого производства (рис.7), для испытания изготовленных, в лабораторных условиях, микроинструментов самого различного назначения, а также разных конфигураций и геометрий часть, которых показана на рис. 8, 9 и 10.

Устанавливаются их оптимальные геометрические параметры и передаются необходимая информация на технологических операциях полного цикла изготовления этих и других разных микроинструментов и деталей, который имеется тоже в нашей лаборатории. Кроме представленной нами оборудований, в лабораториях нашего Департамента имеется болшое количество многообразной техники, на которых разрабатываются и исследуются новые эффективные технологические процессы и оснастки для изготовления прецизионных деталей разных современных изделий[18,19].

Мы не утверждаем, что используемые нами компьютерная техника и технологическое оборудование является новеишего покаления выпуска той или иной единицы. Однако, следует отметить, что имеющие у нас оборудование в полне приемлим для того, чтобы студент смог изучить все необходимые предметы предусмотренные учебной програмой.

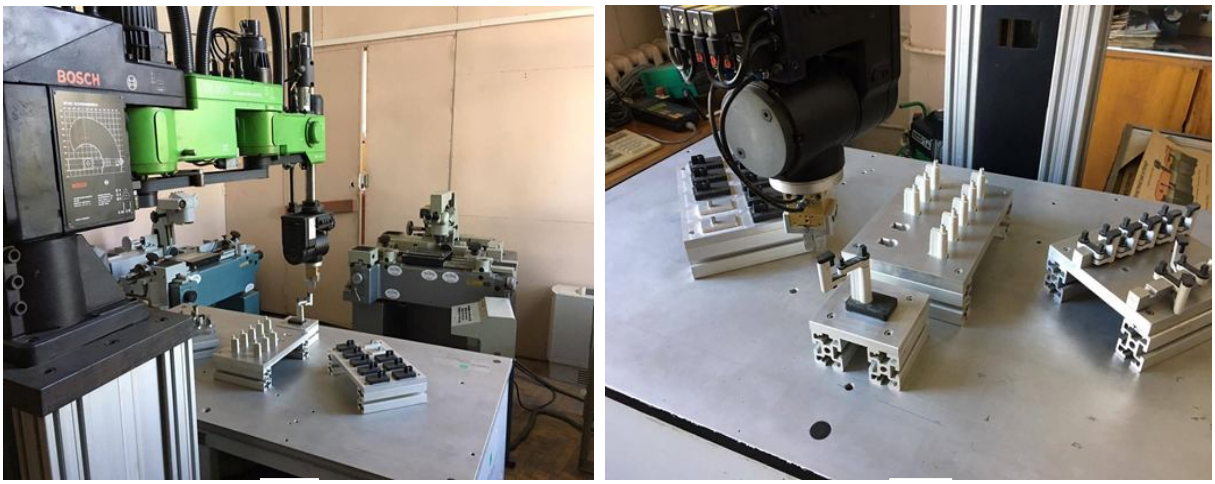
Они могут также освоить те практические навыки, которые нужны для выполнения указанных пунктов в перечне оценки уровня подготовки молодых специалистов.

По ходу появления новых поколений компьютеров, микроскопов, измерительной техники, станков с программным управлением и другого технологического оборудования, при наличии финансовых ресурсов, всегда можно производить постепенное обновление существующей материально – технической базы.

Для того, чтобы имеющая техника постоянно находилась в рабочем состоянии и давала возможность ведения учебного процесса на должном уровне необходимы еще и высококвалифицированные преподаватели и технический персонал с достаточным практическим опытом.

Наши воспитанники еще во время учебы принимают непосредственное участие в международных проектах и других научно-исследовательских работах проводимых в университете. После окончания учебы особо отличившихся приглашаем на работу в университете. Однако, достигая высокого уровня теоретических знаний и практических навыков быстро находят высокооплачиваемую работу на лучших условиях и мы их часто теряем. С одной стороны очень приятно, что в наших специалистах имеется большой спрос во многих организациях, но при этом периодически приходится искать и воспитывать других одаренных студентов. Из-за того, что в настоящее время университетская зарплата весьма низкая во всей пост Советской пространстве, этот цикл повторяется часто и если учесть еще и постоянное падение интереса хорошо подготовленной молодежи к техническим специалностям, его осуществление становится все время труднее и труднее. Однако, есть большая надежда, что после окончания происходящей реформы всей образовательной системы встране ситуация скоро улучшится.

Рис. 2. Часть метрологической лаборатории-a. Инструментальный микроскоп с програмным управлением-b.



a b

Рис. 3. Робот средних размеров мод. SR800 производства Немецкой фирмы <<BOSCH>> -a и процесс сборки простого узла-b

Рис. 4. Электроэрозионный специальный станок с программным управлением.

Рис. 5. Токарно-фрезерный станок с программным управлением

a

b

c

d

e

f

Рис. 6. Станки импортного производства разного назначения: горизонтально-фрезерный - a, универсально-токарный-b, универсально шлифовальный с специальным приспособлением-c, круглошлифовальный с многопозиционным приспособлением-d, оптикошлифовалный-e, универсально-заточной -f.

Рис. 7. Сверлильно-фрезерный станок.

Рис. 8. Инструменты для разного назначения

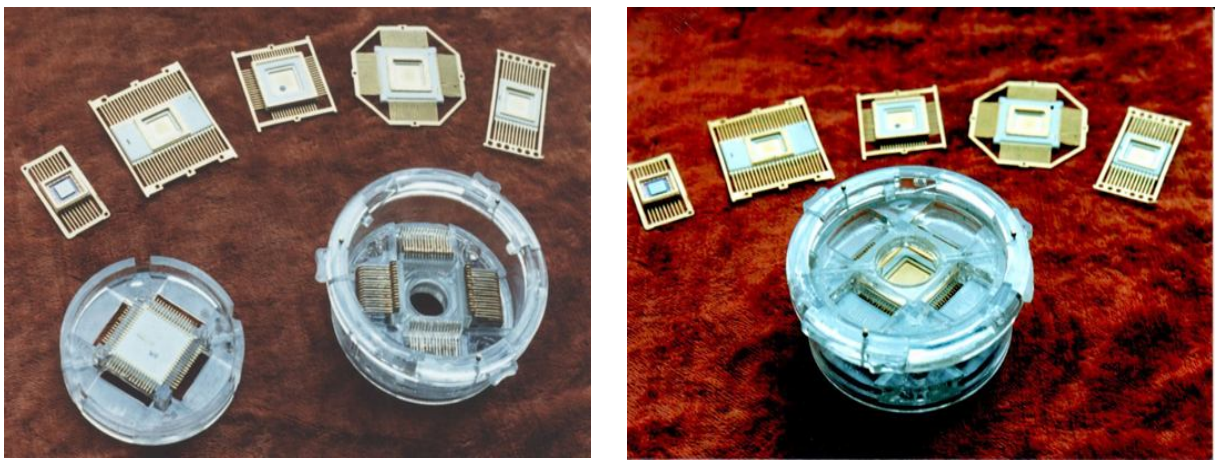


Рис. 9. Прецизионные детали и приспособления для производства изделий микроэлектроники

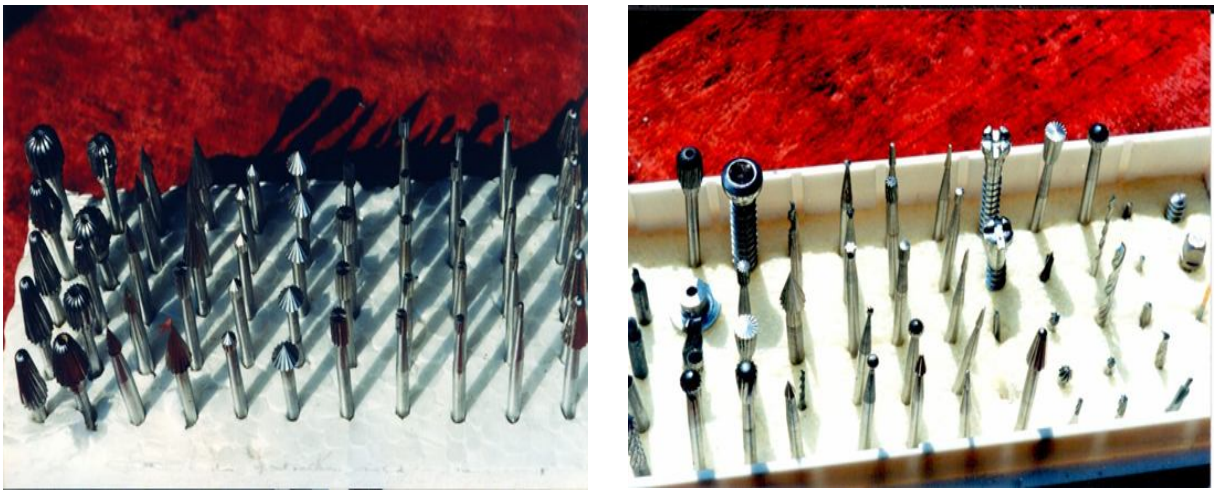


Рис. 10. Микроинструменты для прецизионного машиностроения, приборостроения и микроэлектронной промышленности.

Следует отметить, что в процессах закрепления талантливых молодых кадров в университете и обновления материально-технической базы нам всегда сильно помогало и будет помогать в будущем выполнение международных проектов совместно нашими иностранными коллегами. Поэтому мы постоянно стараемся расширить международные контакты и тем самым повысить вероятность возможности участия в крупных международных проектах. Считаем, что для Грузинских ученных одним из сильно способуюших факторов этих процессов будет вступление нашей страны в Евросоюз, что, по информации европейских экспертов, должно произойти в ближайшее время.

Список литературы: **1.** Снова перемены. Как выглядит Индустрия 4.0? available at: http://hi-news.ru/business-analitics/industriya-4-0-chto-takoe-chetvertaya-promyshlennaya-revolyuciya.html **2.** Всё началось с колеса. Двигаясь с помощью пара. available at: http://www.bibliotekar.ru/encAuto/5.htm **3.** Первые эксперименты с электродвигателями. available at: http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/history/ **4.** История создания и развития электродвигателя. Available at: http://ecoconceptcars.ru/2011/01/blog-post_10.html **5.** История создания мобильного телефона. Available at: http://mobileleader.ru/interesnye-fakty/23-istoriya-sozdaniya-mobilnogo-telefona.html **6.** ЧТО ТАКОЕ ИНТЕРНЕТ? ИСТОРИЯ И ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ. Available at: http://moolkin.ru/chto-takoe-internet-istoriya-i-etapy-razvitiya **7.** Zujevs, V. Osadcuks, and P. Ahrendt, Trends in robotic Sensor Technologies for Fruit Harvesting: 2010-2015, Procedia Computer Science, Vol. 77, 2015, pp. 227-233. **8.** S. Alben, P.G. Madden, and G.V. Lauder, The mechanics of active fin-shape control in ray-finned fishes, Journal of the Royal Society Interface, Vol. 4, no.13, 2007, pp. 243-256. **9.** J.J. Craig, Introduction to Robotics: Mechanics and Control (Third Edition), pearson Education, USA, 2005.

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ ОСЕВЫХ ЛЕЗВИЙНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Чугункин А. В., Пичко А. П., Хандожко А. В., Михайлов Д. А., Михайлов А. Н.
(УФУГУ, БГТУ, ДонНТУ, г. Усинск, г. Брянск, г. Донецк, Россия, ДНР)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; *E-mail:* tm@fimm.donntu.org

Abstract: *It has been shown that a combined tool can consist of a plurality of steps containing different tools, each of which has its own special cutting mechanism. This causes the need for different cutting modes to be provided at each stage. In this work, it is noted that the diameter of the blade tool of each stage is different, which leads to the need to assign different cutting modes. Also, in the work it was established that for instruments having radial cutting edges, the cutting speed varies along the length of the cutting edge. As a whole, it has been shown that the combined axial blade tool operates under complicated operating conditions characterized by varying conditions of their operation in steps and lengths of cutting edges.*
Keywords: *Combination tool, durability, tool level, cutting edge, variable cutting speed.*

В настоящее время, для повышения производительности обработки отверстий, с многостадийной обработкой, применяется комбинированные осевые лезвийные инструменты [1, 2, 3, 4]. Использование этих инструментов особенно эффективно в следующих случаях:

1. При обработке отверстий большого диаметра, выполняемой за несколько последовательных переходов, например, сверлами.

2. При обработке точных отверстий, требующих реализацию несколько переходов, например, сверлами, зенкерами и развертками.

3. При последовательной обработке отверстий, выполняемой различными видами осевых инструментов, например, сверлами, зенкерами, развертками, метчиками и тому подобными инструментами.

4. При обработке ступенчатых отверстий с различными параметрами качества отдельных поверхностей и для других особых случаев обработки.

В этом случае, повышение производительности обработки комбинированными осевыми лезвийными инструментами реализуется за счет сокращения вспомогательного времени обработки и других параметров технологического процесса. Это позволяет существенно повысить технико-экономические параметры обработки сложных по своей структуре отверстий.

Вместе с тем, применение комбинированных осевых лезвийных инструментов для обработки отверстий имеет определенные особенности. Это обусловлено тем, что эти инструменты имеют определенные особенности эксплуатации.

Целью данной работы является исследование конструктивных и эксплуатационных особенностей комбинированных осевых лезвийных инструментов для установления основных особенностей их работы для последующей разработки методов их повышения стойкости.

В соответствии с поставленной целью в работе планируется решение следующих основных задач: выполнить анализ структуры комбинированных осевых лезвийных инструментов; исследовать основные особенности работы комбинированных осевых лезвийных инструментов; предложить методы повышения стойкости инструментов.

Выполненные исследования позволили установить, что комбинированные осевые лезвийные инструменты для обработки отверстий обычно имеют сложную структуру ступеней (рис. 1). При этом для каждого варианта структуры поверхностей отвер-

стий детали составляется своя структура ступеней комбинированного инструмента [1, 2]. При этом структура поверхностей детали изоморфно отображается на структуру ступеней комбинированного осевого лезвийного инструмента. Изоморфное отображение структуры поверхностей детали, которые необходимо обработать, на структуру ступеней комбинированного осевого инструмента, математически можно представить следующим образом:

$$\varphi : Str\ \{X,\ A\} \rightarrow Str\ \{Y,\ B\}\ , \qquad (1)$$

где φ – изоморфное отображение структуры поверхностей детали на структуру ступеней комбинированного инструмента;

$Str\ \{X,\ A\}$ – структура поверхностей детали, которые необходимо обработать;

$Str\ \{Y,\ B\}$ – структура ступеней комбинированного осевого лезвийного инструмента;

X – множество поверхностей детали;

Y – множество ступеней комбинированного инструмента;

A – множество отношений между поверхностями детали;

B – множество отношений между ступенями инструмента.

Здесь, множества поверхностей детали X и ступеней комбинированного инструмента Y имеют вид:

$$X = \{x_1,\ x_2,\ ...,\ x_m\};$$
$$Y = \{y_1,\ y_2,\ ...,\ y_n\},$$

где x_j – j-я обрабатываемая поверхность детали;

y_i – i-я ступени комбинированного инструмента;

m и n – мощность множеств A и B, соответственно.

Для множеств отношений можно записать следующие выражения:

$$A = \{a_1,\ a_2,\ ...,\ a_m\};$$
$$B = \{b_1,\ b_2,\ ...,\ b_n\},$$

где a_j – j-е отношение между обрабатываемыми поверхностями детали;

b_i – i-е отношение между ступенями комбинированного инструмента.

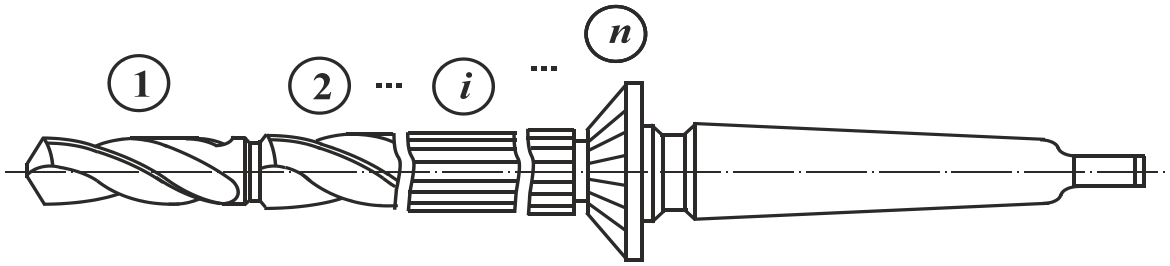


Рис. 1. Универсальная схема комбинированного осевого лезвийного инструмента

На рис. 1 показана универсальная схема комбинированного осевого лезвийного инструмента. Здесь показано, что инструмент имеет n различных ступеней инструмента. На

базе этой схемы и выражения (1) можно анализировать состав и структуру комбинированных осевых лезвийных инструментов, а также выполнять синтез различных вариантов их схем. В целом комбинированный осевой инструмент (рис. 1) можно представить в виде универсальной структурной схемы, представленной на рис 2. Здесь показано, что инструмент имеет *n* ступеней и связей между ними. При этом инструмент получает вращательное *В* и поступательное *П* движение.

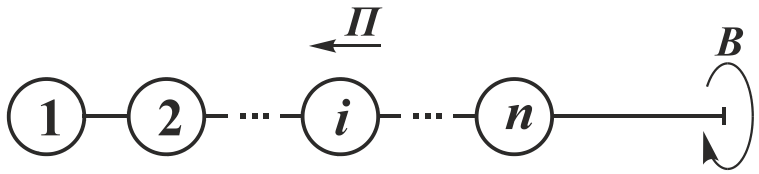


Рис. 2. Универсальная структурная схема комбинированного осевого лезвийного инструмента

Анализируя схему обработка поверхностей детали ступенями комбинированного осевого лезвийного инструмента, представленную на рис. 3 можно отметить, что процесс создания необходимой структуры инструмента может реализовываться в соответствии с выражением (1). При этом процесс проектирования комбинированного инструмента выполняется на базе изоморфного отобра-

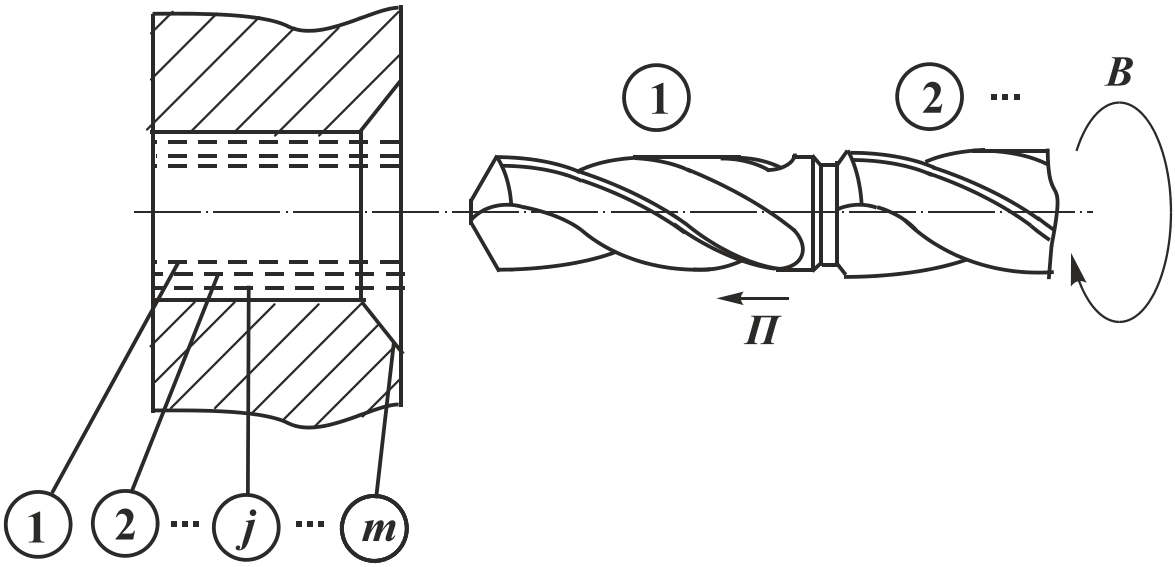


Рис. 3. Схема обработка поверхностей детали ступенями комбинированного осевого лезвийного инструмента

жения множества поверхностей детали, которые необходимо обработать, и множества ступеней инструмента. А именно, структура поверхностей детали изоморфна структуре комбинированного инструмента.

Анализ структуры комбинированного осевого лезвийного инструмента и его конструктивных особенностей показывает, что этот инструмент имеет ряд особых эксплуатационных особенностей:

1. В связи с тем, что в целом структура комбинированного инструмента может состоять из различных по своей сущности лезвийных инструментов (сверло, зенкер, развертка, зенковка и тому подобное), в процессе резания образуются различные механизмы резания материала заготовки по ступеням инструмента. При этом эти процессы могут реализовываться последовательно или мультипликативно.

2. По различным ступеням комбинированного осевого лезвийного инструмента реализуются различные скорости резания материала, зависящие от наружного диаметра инструмента каждой ступени.

3. Скорость резания по длине режущей кромки на ряде ступеней комбинированного инструмента может изменяться в зависимости от значения радиуса R_j до точки, лежащей на этой кромке (рис. 4).

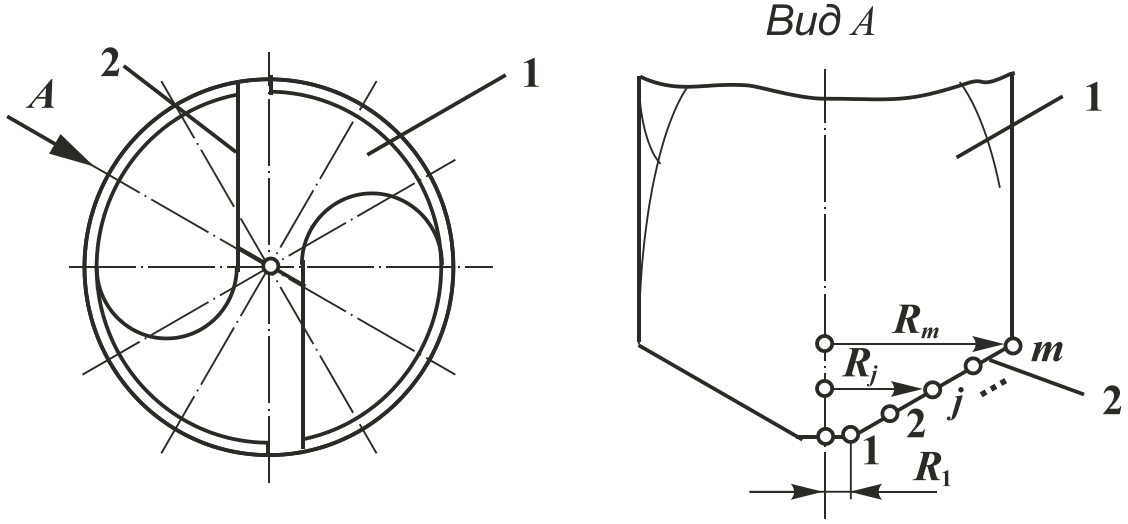


Рис. 4. Схема одной из ступеней комбинированного инструмента (сверло): 1 – тело ступени инструмента, 2 – режущая кромка инструмента

На рис. 4 представлена схема одной из ступеней комбинированного инструмента (сверло). Здесь показано: 1 – тело ступени инструмента, 2 – режущая кромка инструмента. Можно отметить, что изменение скорости резания v_p по длине режущей кромки инструмента обусловлено различными параметрами радиуса R_j.

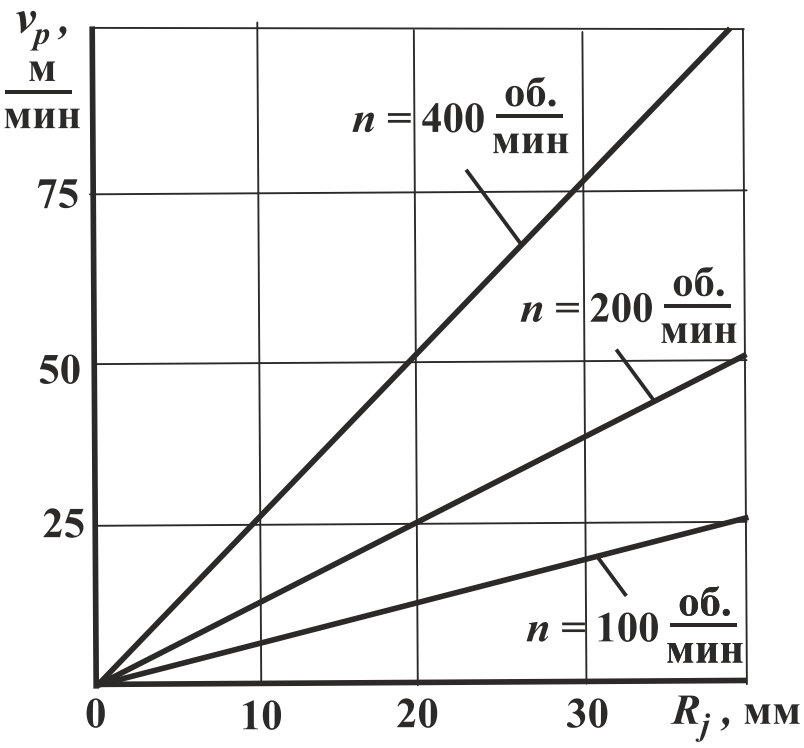


Рис. 5. Зависимость скорости резания по длине режущей кромки инструмента от расстояния до точек R_j по режущей кромке

Зависимость скорости резания по длине режущей кромки инструмента от расстояния до точек R_j по режущей кромке представлена на рис. 5. Здесь данные приведены для частот вращения комбинированного осевого лезвийного инструмента: n = 100 об./мин, n = 200 об./мин, n = 400 об./мин.

Следует также отметить, что эксплуатация комбинированных осевых лез-

вийных инструментов характеризуется следующими особенностями:

1. Сложной структурой и составом элементов комбинированного осевого лезвийного инструмента.

2. Различным механизмом резания по ступеням инструмента при обработке однотипного и/или многотипного материала на различных поверхностях детали.

3. Различной структурой параметров точности и/или качества обрабатываемых поверхностей по ступеням отверстий в детали.

4. Различной структурой физико-механических свойств по ступеням обрабатываемой детали и инструмента.

5. Одновременной обработкой сразу нескольких поверхностей детали.

6. Изменяющимися параметрами скорости резания по различным ступеням инструмента и по длине режущей кромки каждой его ступени и другими особенностями.

Эти особенности эксплуатации комбинированных осевых лезвийных инструментов снижают его потенциальные возможности в обеспечении стойкости.

Для повышения стойкости комбинированных осевых лезвийных инструментов наиболее, работающих в описанных выше условиях, целесообразно обеспечение его свойств на базе функционально-ориентированного подхода [5], особенности применения которого будут представлены в последующих работах.

Список литературы: 1. Малышко И. А. Основы теории проектирования осевых комбинированных инструментов. Автореферат дис. ... д-ра. техн. наук. – Киев. - 1996. – 33 с. **2.** Татьянченко А. Г. Теоретические основы прогнозирования термоупругих деформаций осевого инструмента и детали и их влияние на точность обработки отверстий. Автореферат дис. ... д-ра. техн. наук. – Донецк. - 2006. – 35 с. **3.** Григорьев С. В. Методы повышения стойкости режущего инструмента: Учебник для студентов вузов. – Москва: Машиностроение, 2009. – 368 с. **4.** Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н. В. Новикова. – Москва: Машиностроение, 2005. – 555 с. **5.** Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ. – 2009. – 346 с.

ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ В УСЛОВИЯХ СМЕНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УКЛАДОВ

Костенко А. В., Навка И. П., Михайлов А. Н., Лукичев А. В.
(Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, Россия; Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. *Рассмотрены условия подготовки инженерных кадров в условиях смены технологических укладов, показана важность фундаментальной и профессиональной подготовки специалистов, особенности системы высшего образования в ДНР.*
Ключевые слова: *технологический уклад, инженер, фундаментальная подготовка, профессиональная подготовка.*

Введение. В настоящее время происходит становление шестого технологического уклада, представляющего собой целостное и устойчивое образование, в рамках которого осуществляется замкнутый цикл, начинающийся с добычи и получения первичных ресурсов и заканчивающийся выпуском набора конечных продуктов, соответствующих типу общественного потребления. При этом ядро технологического уклада базируется на таком ключевом факторе, как нанотехнологии, в более широком смысле – конвергенция нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий (так называемая НБИКС-конвергенция) [1]. При этом, согласно прогнозам, уклад будет отличаться снижением энергоёмкости и материалоёмкости производства, в конструировании материалов с заранее заданными свойствами, а начало периода его широкого распространения предполагается с 2018 г.

Становление такого уклада и его реальная победа связана, прежде всего, с субъектами его осуществляющими – современными инженерными кадрами. Поэтому подготовка этих кадров – важнейшая задача, решаемая системой высшего образования. Рассмотрим, как решается эта задача на примере подготовки и повышения квалификации специалистов для наукоёмких технологий в машиностроении, в частности перспективы такой подготовки в условиях ДНР.

Основная часть. Отметим, что в странах бывшего СССР в связи с событиями 90-х годов образовалось довольно значительное отставание от ведущих стран, которые ушли в научно-техническом прогрессе вперед. Тем не менее, в периоды замещения технологических укладов возникает уникальный шанс для тех, кто отстает. Ведущие страны сталкиваются с колоссальным обесцениванием капитала в устаревших технологических цепочках, а страны, которые идут следом, имеют возможность маневра – могут правильно оценить приоритеты развития, сконцентрировав инвестиции в прорывных направлениях, поймать волну модернизации на старте и осуществить ее вместе с передовыми странами, даже опережая их, ведь смена укладов происходит на восходящей ветви цикла Н. Д. Кондратьева [1].

Сохранение научного потенциала Российской Федерации, активное развитие военно-промышленного комплекса позволяет с оптимизмом предполагать о возможностях страны «поймать волну» уклада и обеспечить рост производства и, как следствие, уровня жизни, несмотря на ряд неблагоприятных факторов.

Донецк, являясь мощнейшим научным и промышленным центром, обладает всеми возможностями, даже с учетом постоянных боевых действий, связанных с проведением Украиной так называемой «антитеррористической операции», войти в шестой уклад вместе с Россией, а возможно и являться передовой, экспериментальной площадкой всего нового. Это, прежде всего, объясняется особенностями существования, возникшими в Донбассе, а именно: физическое устранение большей части промышленности, созданной в периоды 3 и 4 технологического уклада; смена государственного строя с

реализацией идеи «народной республики»; в какой то степени смена идеологии и прав собственности. То есть, по сути, принудительно созданы условия для революционного развития промышленности ДНР. Все это создает уникальные стартовые условия для развития, а самым важным условием является наличие подготовленных инженерных кадров. Может ли существующая система образования, базирующаяся на подготовке бакалавров, создать таких специалистов, способных решать задачи развития и смены технологических укладов?

Возникает необходимость в пересмотре существующих технологий машиностроения. Постепенное снижение возможностей технологического совершенствования любой производственно-технической системы отражается в различных законах убывающей эффективности эволюционного совершенствования техники, например, если техническая система совершенствуется на базе неизменного научно-технического принципа, то с достижением некоторого уровня ее развития стоимость новых ее моделей растет как квадрат (или еще большая степень) ее эффективности [2].

В контексте вышесказанного особое значение приобретает развитие инженерного образования, о проблемах которого ведется дискуссия в образовательном и научном пространстве. Острая нехватка инженерных кадров ощущается во всех отраслях, что, безусловно, было отмечено на уровне государства и на решение которой были направлены «майские» указы Президента РФ [3].

Болонская система подготовки кадров предусматривает двухуровневую схему, которая предусматривает наличие бакалавров и магистров. Стремление влиться в единое образовательное пространство Европы в Украине привело, по сути, к ликвидации инженерного образования. Ведь бакалаврская подготовка сводится к подготовке обычных исполнителей, «винтиков» существующих промышленных условий. Бакалавр, к сожалению, в общей массе не способен решать творческие задачи, особенно связанные со сменой технологических укладов. Подготовка магистров, к сожалению, сводилась к подготовке научных кадров. А отдельными учебными планами подготовка магистра для индустрии не предусматривалась. Теперь стало понятно, что эта политика проводилась с целью ликвидации промышленности Украины, а значит и Донбасса.

К основным составляющим, которые определяют качество инженерного образования, следует отнести [4]:

1) уровень фундаментальной и общеинженерной подготовки;
2) уровень освоения информационных технологий;
3) уровень гуманитарной подготовки, в том числе освоения иностранных языков;
4) уровень освоения экономических дисциплин;
5) профессиональная подготовка.

В принципе, по первым четырем пунктам можно отметить, что ВУЗы имеют весьма солидный опыт преподавания и наличие необходимого кадрового состава. Хотя следует отметить, что с учетом перехода к подготовке бакалавров, сокращаются учебные часы, отводимые на изучение общих математических и естественнонаучных дисциплин, что зачастую приводит к поверхностному изучению таких дисциплин, как химия, математика, физика и др. [5]. А ведь именно эти фундаментальные дисциплины являются основой конвергенции нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий. Аналогична и проблема объединения в одной дисциплине «Механика» нескольких – теоретическая механика, теория механизмов и машин, сопротивление материалов с одновременным уменьшением периода обучения и учебных часов. При этом происходит неизбежный переход от изучения фундаментальных основ и физического смысла явлений к прикладному применению основ. Отсюда возникают проблемы достижения необходимого уровня знаний, умений и навыков студента, и, как следствие, уровня освоения соответствующих компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Создаваемые в ДНР образовательные стандарты, решающие задачу вхождения в образовательное пространство РФ, создаются на базе ФГОС ВО РФ, а значит являются копией, которая к тому же создается с временным отставанием. Поэтому они не могут являться движущей силой развития инженерного образования на новом уровне. То есть эти стандарты не отвечают критериям «опережение» и «перспективность». Особенно учитывая время создания и внедрения стандартов, а также длительность процесса обучения в целом.

Тем не менее «преимуществом» первых четырех составляющих является в целом невысокие требования по материально-техническому обучению, за исключением достаточно дорогих лицензионных продуктов программного обеспечения. При этом 1-я составляющая постоянно сокращается, уменьшается фундамент, на базе которого и строится система образования.

Существенно влияет на фундаментальную подготовку и дробление цельных дисциплин на фрагменты (например, цельная дисциплина «Технология машиностроения» разделена на 7-8 отдельно изучаемых разделов курса), создание новых, якобы перспективных дисциплин. Когда объем изучаемой дисциплины составляет 2-2,5 кредита, а таких до 50% в общем объеме (из 70-80 в период обучения), то в результате вместо знания предмета получаем знания «о предмете», фактически - потерю учебного времени.

Достижение необходимого уровня профессиональной подготовки (5-я составляющая) в технических ВУЗах связано с достаточно дорогостоящей материально-технической базой.

В случае подготовки специалистов для работы непосредственно на предприятиях, проблема материальной базы решается за счет кооперации с организациями и предприятиями.

Вывод. В условиях коренных перестроений в мировой экономике, становления шестого технологического уклада страна нуждается в специалистах, соответствующим вызовам особенностей будущего устройства промышленности. Страна, которая сможет обеспечить себе подготовку таких специалистов, создаст серьезный задел в создании сильной национальной экономики, что позволит занять лидирующие позиции в международном сообществе. А это, как следствие, повышение уровня благосостояния людей, уровня безопасности страны и др. При этом необходимо решить задачи: а) создания перспективных и опережающих стандартов образования; б) воссоздание целостной инженерной подготовки; в) перенесение основной направленности на базовую, фундаментальную подготовку; г) организация реальной профессиональной подготовки. Решить эти задачи ВУЗ, как структурная единица, не может. Их можно решить лишь в рамках государственной политики ДНР, а лучше в едином образовательном пространстве со странами ЕАЭС.

Список литературы: 1. Глазьев С. Ю. Перспективы становления в мире нового VI технологического уклада / С. Ю. Глазьев // Мир (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2010. - №2. – С. 4-10. **2.** Глазьев С. Ю. Современная теория длинных волн в развитии экономики / С. Ю. Глазьев // Экономическая наука современной России. – 2012, – №2. – С. 27-42. **3.** Правительство РФ. Указ президента РФ № 599 «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки». — 07.05.2012. **4.** Дегтярев Г. Л. Интеграция образования, науки и производства – определяющий фактор повышения эффективности инженерного образования / Г. Л. Дегтярев // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2001. – №2. – С. 34-36. **5.** Демидова Г. А. Исторические вызовы качеству инженерного образования в России: проблема структуры и качества подготовки в условиях бакалавриата / Г. А. Демидова, Д. В. Демидов, Н. О. Вербицкая // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1-1. – С. 828-835.

ЭВОЛЮЦИЯ ВЗГЛЯДОВ НА ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВИБРАЦИЙ ПРИ ТОЧЕНИИ

Чернышёв Е. А., Витолиньш Д. А. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
E-mail: chernyshev81@mail.ru

Abstract: *The paper deals with the evolution of ideas about why there are vibrations in turning.*
Keywords: *evolution, turning, vibrations, frequency.*

Введение. При обработке точением актуальным является разработка виброустойчивых конструкций станков и станочных приспособлений для обеспечения благоприятных условий и точности обработки. Поэтому важной задачей является исследование причин их возникновения при точении. Этому вопросу посвящены многие фундаментальные труды таких ученых, как Каширин А. И. [1], Жарков И. Г. [2], Амосов И. С., Манжос Г. А. [3], Соколовский А. П. [3, 4], Ильницкий И. И., Кудинов В. А., Подураев В. Н., Бармин Б. П. [5] и др.

Основное содержание работы. Первые работы, посвященные изучению причин возникновения колебаний при резании, относятся к началу XX века (исследования Тейлора, Николсона, Сидзоу Дои, Кюнсле и Кетнера). Одно из первых объяснений причины возникновения вибраций заключалось в том, что при резании скалывание каждого последующего элемента стружки вызывает ритмические колебания. Такое толкование основано на опытах Николсона (обтачивание на малой скорости цилиндрической заготовки). Причем Тейлор [1] говорит о том, что колебания возникают при совпадении частоты скалывания элементов стружки с собственной частотой колебаний обрабатываемой заготовки или резца.

В более поздних работах обоснована неправомерность такого объяснения. В частности, в работе [1] указано, что при очень малых скоростях обработки даже пластичные материалы дают элементную стружку. Поэтому результаты подобных опытов не могут быть перенесены на обработку с практически применяющимися скоростями резания. Тем более практика показывает, что к вибрациям более склонны пластичные металлы, дающие сливную стружку. Поэтому к 40-м годам XX века формируется мнение о том, что вибрации при резании являются автоколебаниями [1-5]. Они поддерживаются внутренними силами, возникающими в самом процессе колебания. Примером автоколебательной системы может быть маятник, подвешенный на вращающемся валу. При отсутствии внешней периодической силы он будет совершать незатухающие вибрации. Т.е. в автоколебательной системе соблюдается равенство энергий: сколько энергии за один период колебаний расходуется, столько и поглощается.

Каширин А. И. [1] провел аналогию между трением стружки о переднюю поверхность резца и детали о его заднюю поверхность с приведенной выше колебательной системой, где вибрации поддерживаются переменной силой, возникающей в связи с падающей характеристикой силы трения. Он назвал этот эффект первичным возмущением автоколебаний. Также причинами появления и поддержания этих вибраций он считает точение по следу и переменные силы, возникающие при резании от изменения углов резца, происходящего в связи с колебательным движением. Однако опыты Рыжкова Д.И. [6] показали, что вибрации возникают как на интервале падающей характеристики силы резания, так и на интервале возрастающей, что корректирует выводы А. И. Каширина.

Иную точку зрения на причину возникновения автоколебаний при резании выдвинул Соколовский А. П. [3, 4]. Он вывел зависимость между радиальной составляющей силы резания ΔP_y и относительными колебаниями инструмента и заготовки, физи-

ческий смысл которой заключается в следующем: резец врезается в материал с меньшей силой, чем выходит их него. Он объяснил это тем, что инструмент врезается в неупрочненный материал, а выходит по упрочненному. Этим и объясняется появление переменной силы, поддерживающей колебания. Однако в работе [6] подобная точка зрения подвержена сомнению: «…чугун и красная медь практически не упрочняются, однако вибрации при обработке этих металлов могут легко возникать».

Амосов И. С. [3] опытным путем определил, что заготовка при автоколебаниях колеблется с большей амплитудой, чем резец. При этом их движения происходят по замкнутой кривой и смещены по фазе (рис. 1).

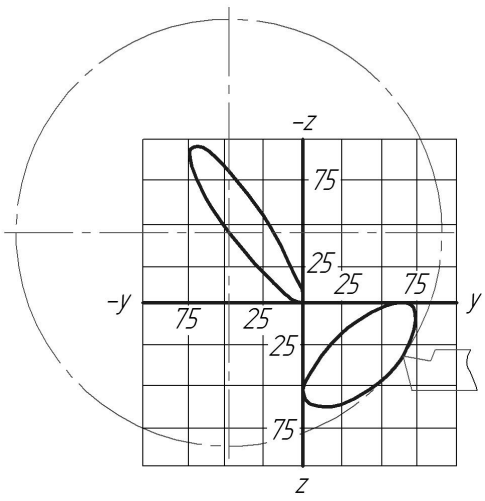


Рис. 1. Траектории движения резца и заготовки при точении с колебаниями [3]

Бармин Б. П. [5] разделил вибрации при резании на две группы: вызванные причинами, связанными с резанием, и вызванные причинами, не связанными с резанием. Он назвал вибрации при точении автоколебаниями, и определил зависимости параметров вибраций при точении и растачивании от режимов резания. По его мнению, рациональной схемой нагружения суппорта, т.е. таковой, при которой жесткость данного узла максимальна, является приведенная на рис. 2.

Бармин Б. П. разработал рекомендации по гашению автоколебаний при точении, в частности применение виброгасителей различных типов, изменение конструкции узлов станка и т.п.

Некоторые авторы как одну из причин возбуждения вибраций называют резание по следу, т.е. обработку по неровностям, оставшимся от предыдущих проходов или операций. В случае с точением это может быть резание по следу от предыдущего оборота (например, для прорезания). Каширин А.И. [1] определяет точение по следу как вторичное возмущение вибраций.

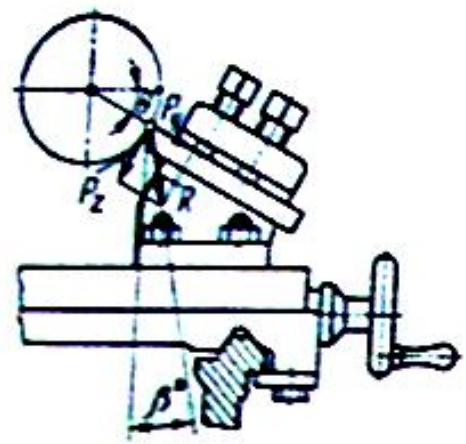


Рис. 2. Схема рационального нагружения суппорта

Во многих работах отдельное внимание уделяется путям демпфирования и разработке конструкций виброгасителей. Большое внимание гашению колебаний уделяется в работе Рыжкова Д.И. [24]. Он провел серию экспериментов по изучению автоколебаний при продольном точении. Не прибегая к теоретическим исследованиям, он эмпирически выявил закономерности протекания колебаний в зоне резания (как линейных, так и крутильных), в частности влияние углов инструмента, режимов резания, трения и дополнительного трения на интенсивность вибраций. Разработал рекомендации по устранению колебаний системы деталь-суппорт за счет выбора оптимальной геометрии, путем применения второго диаметрально противоположного инструмента, изменения ре-

жимов резания, массы детали и жесткости системы СПИД, а также с помощью виброгасителей различных видов.

Современные представления о вибрациях при резании практически не отличаются от сформированных в середине XX века. Большинство работ за последние 40 лет посвящены изучению динамики станков и разработке оптимальных противовибрационных конструкций отдельных узлов.

Рыжов Э.В., Панов Н.Н. и Смирнов А.А. [26] исследовали вопросы жесткости расточных и токарных станков при растачивании. Они изучили влияние жесткости на вибрации. Согласно экспериментальным данным Панова Н.Н., при уменьшении жесткости расточных скалок от l/d=5 до l/d=7 автоколебания переходят от гармонических к релаксационным. Поэтому при отношении длины к диаметру скалок до 5 (включительно) частота возникающих вибраций не зависит от скорости резания, а при отношении 7 и более проявляется устойчивая зависимость. Математически возможность такого перехода была показана Ван-дер-Полем. Панов Н.Н. вывел безразмерную величину ε, зависящую от параметров резания, значение которой определяет вид автоколебаний:

$$\varepsilon = \left(\frac{aB}{V} - h_c \right) \sqrt{\frac{1}{m(k+r)}},$$

где a – положительный коэффициент, B – ширина резания, V – скорость резания, h_c – коэффициент линейного сопротивления, m – масса системы, k – жесткость системы, r – коэффициент частоты вибраций.

Из вышесказанного Панов Н. Н. сделал следующие выводы: «Для случая вибраций при резании переход к релаксационным автоколебаниям возможен за счет увеличения ширины резания, уменьшения скорости резания, уменьшения сопротивления в системе, уменьшения массы, уменьшения жесткости и т.д.»

Выводы. Несмотря на то, что изучению вибраций при резании посвящено огромное количество работ, в последние десятилетия прекратились попытки объяснить их возникновение. Все сосредоточились на их описании и выведении инженерных количественных или качественных закономерностей. Аналитические исследования, к сожалению, практически ушли в прошлое. В этом отношении перспективной представляется теория резания, разработанная Воронцовым А. Л., которая опирается на механику деформируемого твердого тела.

Список литературы: 1. Каширин А. И. Исследование вибраций при резании металла / А. И. Каширин. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1944. 133 с. **2.** Жарков И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. Л., Машиностроение. Ленинградское отделение, 1986. 184 с. **3.** Точность механической обработки и пути ее повышения / под ред. А. П. Соколовского. Москва (Ленинград), Машгиз, 1951. 487 с. **4.** Соколовский А. П. Жесткость в технологии машиностроения. М.-Л., Машгиз, 1946. 206 с. **5.** Бармин Б. П. Вибрации и режимы резания. М., Машиностроение, 1972. 71 с. **6.** Рыжков Д.И. Вибрации при резании металлов и методы их устранения. М., Машгиз, 1961. 172 с. **7.** Жесткость, точность и вибрации при механической обработке / под ред. В. А. Скаргана. М.-Л., Машгиз, 1956. 194 с.

ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Лахин А. М. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*

Abstract. *In work the analysis of gearwheels elements of on a functional purpose is executed. The requirements for each group of gears functional elements are defined. A coating method is proposed that provides varying properties for tooth height.*
Keywords: *gear wheel, technology, coating, quality.*

Зубчатые колеса с эвольвентной формой зуба получили наибольшее распространение в силовых механизмах для передачи высоких крутящих моментов и скоростей. Качество работы зубчатой передачи зависит главным образом от качества и физико-механических свойств рабочих поверхностей зубьев, которые обеспечиваются на заключительных этапах отделочной и упрочняющей обработки зубьев. При этом используемые в настоящее время технологии зубо обработки ориентированы на получение зубчатых колес имеющих постоянные физико-механические свойства зубьев во всех точках рабочих поверхностей, а требуемые свойства достигаются преимущественно методами термической обработки с последующей абразивной отделочной обработкой зубьев. Это накладывает повышенные требования к материалу зубчатых колес и требует длительной и трудоемкой механической обработки для достижения заданных параметров точности и качества поверхностей зубьев. Поэтому в настоящее время требуются все новые подходы, позволяющие изготавливать зубчатые колеса, имеющие свойства рабочих поверхностей соответствующие условиям эксплуатации, без значительных требований к материалу зубчатых колес.

Одним из направлений совершенствования процесса зубообработки является нанесение функционально-ориентированных покрытий на рабочие поверхности зубьев [1]. Данный подход позволяет обеспечивать свойства рабочих поверхностей зубьев в соответствии с условиями эксплуатации, при этом не предъявляя повышенных требований к материалу зубчатых колес.

Проанализируем требования, предъявляемые к элементам зубчатых колес. Для этого рассмотрим конструкцию изделий с зубчатым венцом и выделим его элементы по функциональному назначению (рис.1).

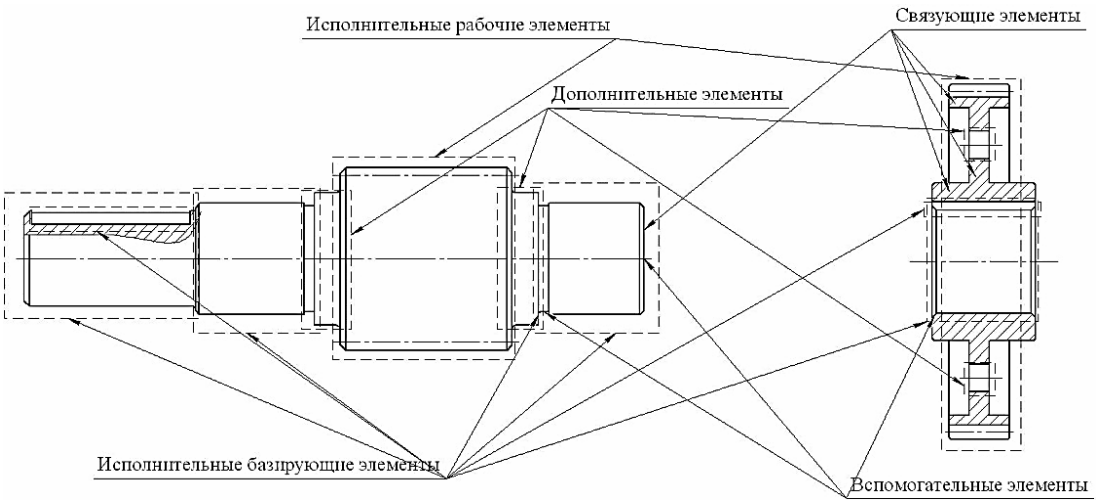


Рис. 1. Элементы зубчатых колес

Зубчатое колесо можно представить совокупностью исполнительных (рабочих и базирующих), связующих, дополнительных и вспомогательных элементов.

Среди данных элементов дополнительные и вспомогательные элементы выполняют второстепенные функции, связанные с операциями механической обработки, являясь либо искусственными технологическими базами, облегчать монтаж при сборке узлов, или служат для присоединения к зубчатым колесам других деталей. Как правило данные элементы не испытывают значительных эксплуатационных нагрузок, а от их свойств не зависит ресурс работы изделия.

Связующие элементы представляют собой объемные зоны, которые объединяют воедино все элементы зубчатых колес. Являясь промежуточным звеном между исполнительными рабочими и базирующими элементами, связующие области передают эксплуатационные нагрузки, испытывая при работе напряжения кручения и изгиба. Свойства данных элементов определяются механическими свойствами материала зубчатых колес и должны быть обоснованы силовыми характеристиками зубчатой передачи.

Исполнительные базирующие элементы определяют положение зубчатых колес в изделии и должны создавать силовой контакт с элементом, передающим крутящий момент (шлицы вала, шпонка и т.п.). Кроме того к данным элементам предъявляются повышенные требования к точности формы и взаимного положения поверхностей так как данные свойства определяют точность положения зубчатых колес относительно сопрягаемых с ним деталей и точность сопряжения пар зубьев. Таким образом свойства базирующих элементов достигаются при механической обработке и зависят от ее точности.

Исполнительные рабочие элементы обеспечивают передачу крутящего момента от шестерни к колесу, и представляют собой совокупность зубьев. Их можно разделить на: рабочие поверхности, по которым осуществляется контакт с сопрягаемыми зубьями, объемные зоны, обеспечивающие механическую прочность каждого зуба предупреждая его поломку, и торцы зубьев переключаемых колес имеющие скругленную форму. Свойства объемных зон зубьев обеспечиваются свойствами материала зубчатых колес который должен иметь достаточную изгибную прочность. Свойства поверхностей торцов зубьев должны обеспечивать достаточную износостойкость и низкий коэффициент трения для возможности многократного переключения скоростей в течении всего срока эксплуатации зубчатых колес. Наиболее высокие требования предъявляются к рабочим поверхностям зубьев. Это связано с тем, что зубья эвольвентного профиля, наряду с контактными напряжениями, воспринимаемыми поверхностными слоями, испытывают трение и механический износ при проскальзывании профилей относительно полюса зацепления (рис. 2).

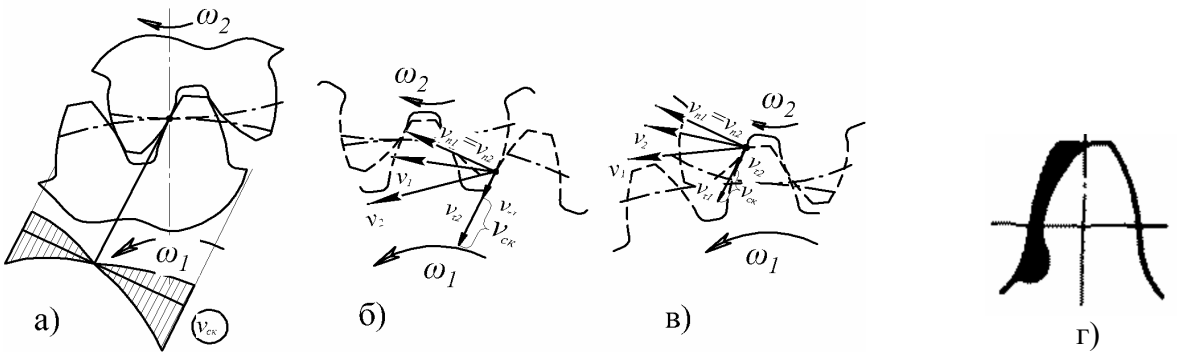


Рис. 2. Характер изменения скорости взаимного скольжения и его влияние на износ зубьев: а) график изменения скорости взаимного скольжения; б) скорости в начале зацепления; в) скорости в конце зацепления, г) характер износа зубьев.

Действие взаимного скольжения неизбежно вызывает износ рабочего профиля зуба. Причем характер этого износа, при постоянных свойствах материала, неравномерен по высоте зуба, и примерно соответствует графику скорости взаимного скольжения [2] (рис. 2), поэтому наибольший износ проявляется у ножки и у головки зуба – в конечных точках зацепления [3].

Согласно результатам теоретических и экспериментальных исследований, полученных в работе [3], интенсивность изнашивания зубьев тяжелонагруженных передач определяется выражением:

$$I_h = k\left(\frac{\sigma_H}{HB}\right)^{m_1}\left(\frac{\chi}{h_{см}}\right)^{m_2}\left(\frac{RT}{Q}\right)^{m_3}\left(\frac{\nu_{100}}{\nu_1}\right)^{m_4}$$

Из данной зависимости видно, что определяющим параметром износостойкости является отношение ($\frac{\sigma_H}{HB}$), характеризующее напряженное состояние в зоне контакта и площадь фактического касания пары зубьев. Эти свойства можно обеспечить при нанесении покрытий на рабочие поверхности зубьев. Причем при изменении микротвердости и толщины наносимого покрытия по высоте зуба в зависимости от скорости взаимного скольжения, достигается возможность обеспечения равномерного износа зубьев и его уменьшении за счет свойств покрытия, имеющего значительно большую микротвердость и износостойкость по сравнению с материалом зубчатого колеса.

Из всех способов нанесения покрытий, нанесение вакуумных ионно-плазменных покрытий методом КИБ имеет ряд преимуществ, среди которых высокая прочность адгезионной связи покрытия с подложкой, малая толщина (8-12 мкм), относительно низкая температура при нанесении, что исключает структурные превращения в материале зубчатых колес [4]. Требуемый характер изменения свойств поверхностей по высоте зуба можно обеспечить за счет заданной структуры кинематики движения зубчатых колес при нанесении покрытий, которая предусматривает более длительное нахождение участков поверхностей требующих большую толщину покрытия, под прямым углом к действию потока плазмы, и затенение поверхностей требующих минимальную толщину покрытия. Общий вид кинематической структуры движения зубчатых колес в вакуумной камере представлен на рис.3.

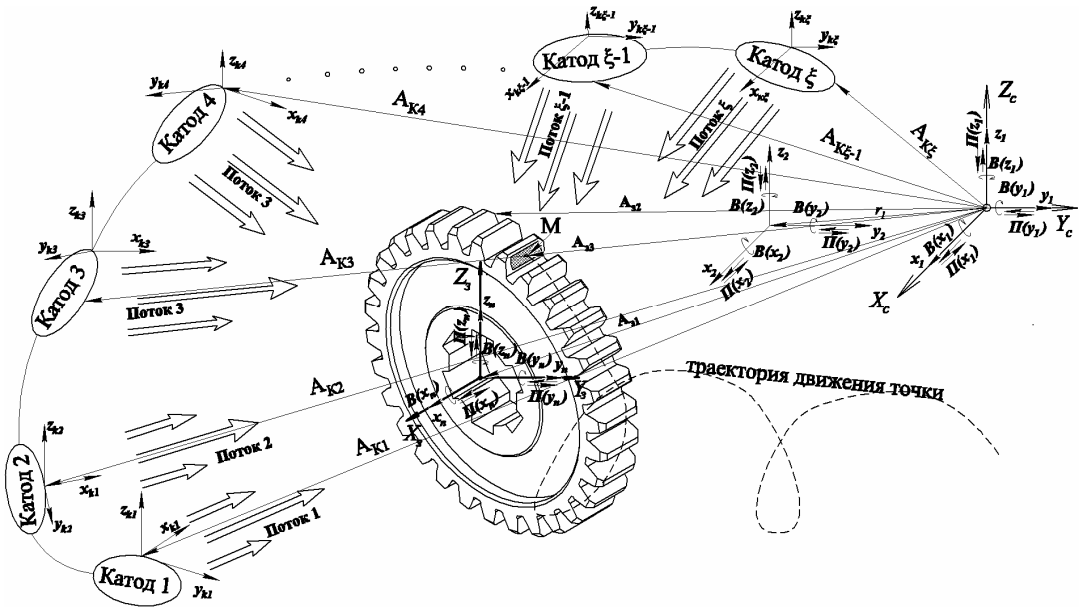


Рис.3. Структура кинематики движения зубчатых колес при нанесении покрытий

Заданный характер движения зубчатых колес в вакуумной камере при нанесении покрытий можно обеспечить за счет специальных устройств [5], кинематически связанных с цепью вращения планетарного стола камеры. Это позволяет, помимо имеющихся вращательного и кругового движений заготовок, сообщать качательные движения относительно продольных осей заготовок, а также возвратно-поступательных движений вдоль оси заготовок. Данная структура движений позволит в значительной степени варьировать толщину и физико-механические свойства наносимого покрытия.

Предохранение поверхностей не требующих покрытий по условиям сохранения точности размеров и формы, осуществляется за счет использования защитных масок, устанавливаемых на соответствующие поверхности зубчатых колес. В наиболее труднодоступных местах, где использование масок неэффективно, возможно применение специальных защитных покрытий, которые не оказывают влияния на среду в вакуумной камере, в то же время относительно легко удаляются при последующей чистке и мойке заготовок.

Таким образом в работе проанализированы элементы зубчатых колес по функциональному назначению, определены требования к каждой группе функциональных элементов, а также предложены рекомендации по нанесению функционально-ориентированных покрытий на рабочие поверхности зубьев. Установлено, что на основе сообщения ряда дополнительных движений заготовкам зубчатых колес в процессе нанесения покрытий возможно обеспечение изменяющихся свойств рабочих элементов зубьев в соответствии с характером действия эксплуатационных функций. Сообщение дополнительных движений заготовкам зубчатых колес достигается за счет использования дополнительных устройств, приводимых в движение от привода планетарного стола вакуумной камеры.

Список литературы: **1.** Михайлов А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 346 с. **2.** Кудрявцев В. Н. Зубчатые передачи. – М.: «Машгис», 1957. – 263 с. **3.** Когаев В. П., Дроздов Ю. Н. Прочность и износостойкость деталей машин. Учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов / В. П. Когаев, Ю. Н. Дроздов. – М.: Высш. школа, 1991. – 319 с. **4.** Внуков Ю. Н., Марков А. А., Лаврова Л. В., Бердышев Н. Ю. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент. – Киев, Тэхника, 1992. – 143 с. **5.** Лахин А. М. Синтез технологического обеспечения функционально-ориентированных свойств рабочих элементов зубчатых колес на базе методов нанесения покрытий // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. Вип. 3(49), С. 101-107.

HEAT TRANSFER AND AN ACTIVE ZONE FORMATION IN GAS-SHIELDED WELDING

Druz O. N., Zhytnaya S. V. *(LN University nam. V. Dahl, Lugansk, LPR)*
tel 0506101139, e-mail: bgd.ot.dahl@yandex.ru

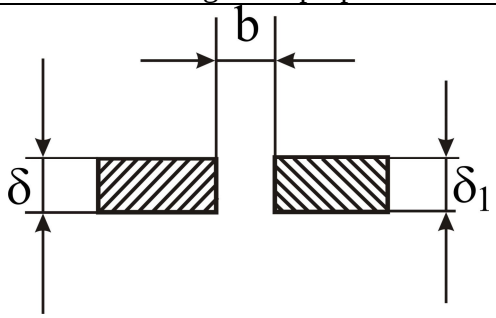
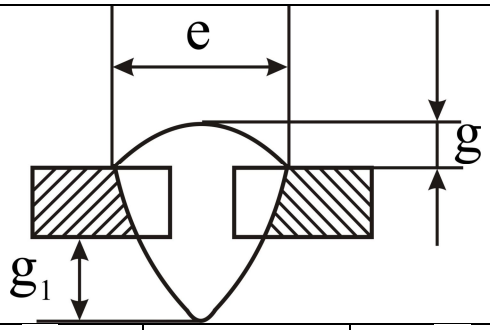
Abstract: *The work analyze the impact of the design features of the assembly welding elements on the thermomechanical processes in the weld pool and the heat affected zone. It has been found that with the increase in size of the gap, assume by GOST, for the weld material of the same thickness is necessary to increase the diameter of the filler wire and with capacity of the welding arc, which leads to a change in the plastic deformation zone size.*
Keywords: *welding, heat affected zone, plastic deformation zone, welding arc.*

Presently, the theory of welding processes does not allow clear the question, what must be the implications of welding variables in an atmosphere of shielding gas for a given geometry of the joints and the minimum of the active zone size. The reason of contribution is the complexity of the processes occurring in welding, although the majority of physical phenomena are known and it pretty exactly described mathematically. In this regard, the development of computational methods of forecasting welding deformation based on computational methods definition of the active zone is very important.

The aim of the work was to study the effect of constructional features on the assembly of the thermomechanical processes in the weld pool and the heat-affected zone.

The main way to obtain welded joints from sheets in thickness up to 6mm of low-carbon and low-alloy steels is a consumable electrode arc welding in an inert gas CO_2. As per GOST 14771-76 monotremes butt joints must be assembled for welding and have dimensions of welds according to the requirements given in table 1.

Table 1 – Seizes of prepared edge and welded seamsof jump-joint C2 in the process of weldlng CO_2 (mm)

Structural elements					
Weldment groove preparation			welded seam		
					
$\delta = \delta_1$	b		e_1 max	q	q_1
	Nominal	Breaking dump			
0.8 – 1.2 1.4 – 2.0	0	+1.0	7.0	$1.0^{\pm 0.5}$	$1.0^{+1.0}_{-0.5}$
2.2 – 4.0		+1.5	8.0	$1.5^{\pm 0.5}$	$1.5^{\pm 1.0}$
4.5 – 6.0		+2.0	12.0		

When estimating the residual deformation of the welded structures of these steels is used in an active zone term ($2b_p$), in which residual stress reaches the yield strength of the base metal (σ_T).

The active zone consists of two components: the weld area (F_w) and the area of the heat affected zone in which plastic deformation occurs upon heating the shortening (F_{pd}) [1].

Theoretically plastic deformation zone can be determined by the size of the isotherm $T = 300°C$, which depends on the power of heating source and fixity of the connection elements. In welding the welding arc heats the edges of the two compounds. Assuming that the welding arc is a powerful fast-moving heat source. It possible to record, for welding deposit on the edge of the sheet, which is the case in butt welding [1]:

$$b_p^n = \frac{0{,}484 q_i}{2V\delta c\gamma T_{pd}^n} K_\sigma K_j \ , \qquad (1)$$

where q_i – heat effective energy, Dg/s; ($q_i = IU\eta_i$; I – force of arc welding current, A; U – arc volts, V; η_i – coefficient of efficiency welding process (welding accessories in CO_2 η_i=0,7));

V – welding rate, cm/s;

δ – effective thickness, cm;

$c\gamma$ – volumetric heat capacity (for steel; $c\gamma$ =5.2 Dg/ ($sm^3 \cdot °C$));

T_{pd}^n – temperature of the plastic deformation in battering on the edge is equal to 300°C;

K_σ – factor considering the strength characteristics of steel (K_σ =1.44 – $0.00176\sigma_T$);

K_j – factor considering fixity of the connection elements (K_j=0.3+0,0022H, if H≥400 mm; K_j=1.0).

This zone is formed through thermal conductivity namely in heat transmission from the weld pool to the parent metal.

The seam area F_w standardized by GOST 14771-76, and F_{pd} – depends on the heat transfer efficiency in the parent metal weld pool.

Weld sizes (F_w), in general within the range of thicknesses remained unchanged (Table. 1), which is determined by the parameters (e), the seam margin and technological oversizes q and q_1.

According to classical approach:

$$F_w = F_n + N_{pr} \ , \qquad (2)$$

where F_n – weld deposit area;

F_{pr} – fusion area.

The assembly is carried out with the butt joint gap b. The gap ranges from 0 to +2.0 for welding metal of thickness δ =4.5 – 6.0 mm. Changing the structural elements in the assembly compound alters the kinetics of melting the parent metal.

Considering the heat transfer processes from the welding arc to the solid metal it is possible to notice the following. The energy of the source is transmitted in different ways, in most cases through a pass of "liquid metal – liquid layer" at the leading edge, or directly under the arc.

The larger fraction of heat energy is transmmited through the pass of liquid metal (and the more bigger the thickness of pass) so much the more will be the heat overloaded of the weld pool and the loss of energy in it and more disperses heat current and so much the less temperature gradients at the solid metal surface [2], as the result of which reducing the effectiveness of melting processes.

Assuming that the shape of the leading edge (limited melting isotherm) has the form of a sphere of radius R and based on the known size of foundering of the parent metal in the work [3] for welding in CO_2 obtain a formula for the average thickness of the liquid pass, apportioned on the leading edge of the weld pool:

$$\delta_{sr} = \frac{R}{\frac{Rq_i}{F\lambda(T_{mbt} - T_m)} + 1}, \tag{3}$$

where F – surface area of the the leading edge of the weld pool;

λ – heat-conduction coefficient;

q_i – actual power of heating source;

T_{mbt} – metal boiling temperature;

T_m – melting temperature.

It has been experimentally established that the difference between the depth of the weld penetration h and the thickness of liquid pass δ_l (Fig. 1.).

At constant value of thermal conductivity, boiling temperature and melting, δ_{mid} depend on the size of the surface area of the leading edge of the weld pool and effective power of the heating source. From the liquid layer, heat is transferred to the parent metal.

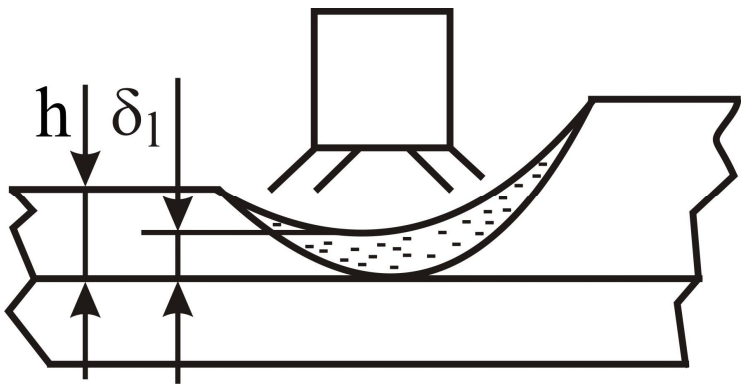
For more convenient use of the formula (3), let`s express the surface area of the leading edge of the weld pool F through R, and the all constant value (thermal conductivity, melting and boiling temperature) we shall call it the complex value C:

$$\pi\lambda(T_{mbt} - T_m) = C.$$

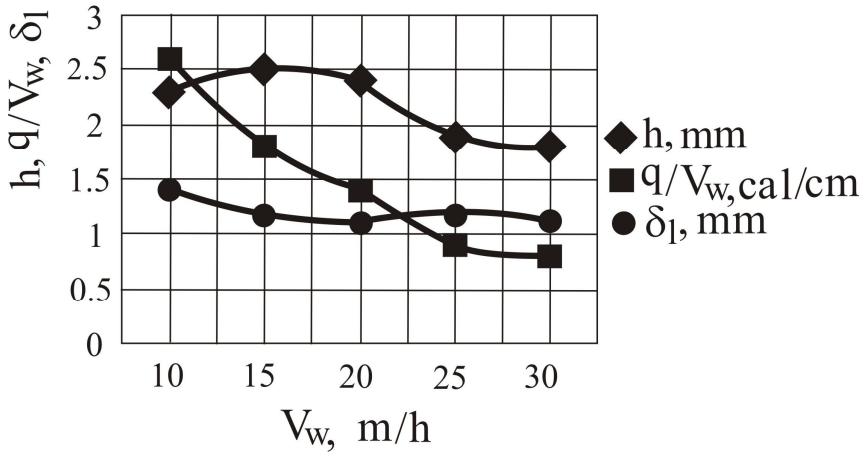
To express the area F by the radius R, it s necessary to assume that the extent radius of the weld pool R is its half-width (see Fig. 2).

From Fig. 2 it is apparent that the surface area of the leading edge of the weld pool F – is the area of the semicircle, i.e.:

$$F = \frac{\pi R^2}{2}.$$



a)



b)

Fig. 1. The dependence of the thickness of the liquid layer δ_l under the arc and depth of fusion h from the welding speed (I_w = 140 A; U_a = 20 B):
a) – the scheme of process; b) – graphical dependency.

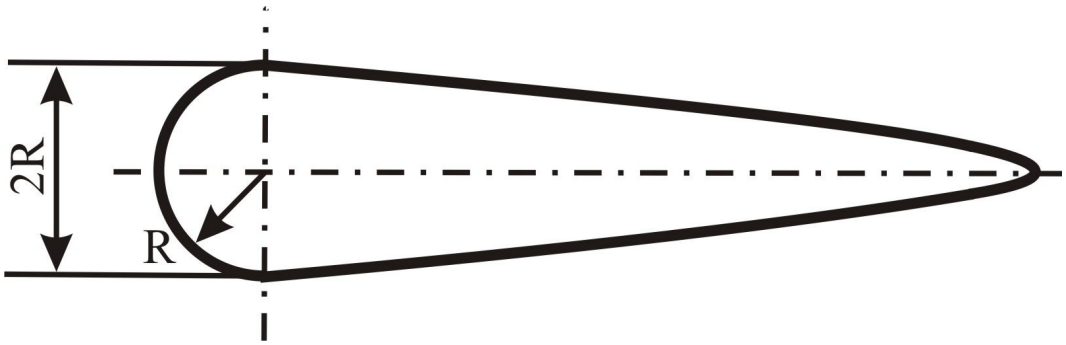


Fig. 2. The scheme of weld pool

Described the reexpression, and used in the formula (3) the value of F area, we obtain the final formula:

$$\delta_{\text{mid}} = \frac{R^2 C}{2q + RC} \tag{4}$$

or

$$\delta_{\text{mid}} = \frac{R^2 C}{2IU\eta_i + RC} \tag{5}$$

The formula (4) implies that the thickness of the liquid layer δ_{mid}, at constant thermal properties, depends on the geometry of the front of the weld pool and the power of the electric arc. In shielding gases welding, the power of source is determined by the strength of the welding current and arc voltage. With an increase in the welding current increases the arc column pressure [2] and decreases the thickness of the pass of molten metal.

The research suggests that with the increase of the bowing of the leading edge of the weld pool the ratio of the average thickness of the layer to the thickness of the pass under the arc decreases. By this means, changes are in the process of compartition of the liquid pass over the surface of the leading edge.

Allow these arguments are fair about surfacing or welding in CO_2 bridged with zero clearance b. According to table. 1. GOST 14771-76 allows the weld metal of the same thickness δ in the presence of the gap b. For example, at δ =3 mm it can reach a value of 1 mm.

This situation changes the ratio of the forces acting on the molten metal (arc column pressure, the hydrostatic pressure of the molten metal) and requires an additional filler metal to form a predetermined by GOST F_n ($F_n = \delta b + 0.73eg + 0.73e_1g_1$).This fact changes welding variables of metal of a predetermined thickness. Experiments proved that to give the required F_w new welding conditions are necessary (Tabl. 2) to obtain the desired necessary. Welding is performed by automat ADH-5002. Parent metal VSt3 (GOST 380-71), welding wire Sv-08G2S.

Table 2 – Welding conditions of the butt joints in carbon dioxide single-pass welds (reversed polarity direct current)

δ, mm	b, mm	d_{el}, mm	I_w, A	U_a, B	V_w, m/h	Electrode extension, mm	Gas rate, l/min
0.8-1.0	0-0.3	0.7-0.8	50-85	17-18	25-50	8-10	6-7
1.5-2.0	0-0.8	0.8-1.2	90-200	18-22	25-55	8-13	6-7
2.0	0-0.8	1.0-1.2	180-250	22-23	25-75	10-13	8-9
3.0	0-1.0	1.2-1.4	200-300	23-110	25-110	12-15	8-11

It is apparent from the obtained results that with the increasing size of the gap within the thickness of weld metal requires a filler wire with larger diameter and increased capacity of the welding arc. These results are consistent with the recommendations of the work [3].

Conclusions: 1. Changing of the structural elements in the assembly connection alters the melting kinetics of the parent metal.

2. With the increase in the proportion of heat transmitted through the pass of liquid metal overheating increases the weld pool and the energy loss (heat current disperse), so reducing the efficiency processes of foundering.

3. With increase of the bowing of the leading edge of the weld pool ratio of the average thickness of the layer to the thickness of the pass under the arc decreases.

4. Changes in the butt joint gap (C2) in regulated GOST 14771-76, changes the ratio of the forces acting on the molten metal, which requires changing welding variables of metal of a predetermined thickness which leads to different sizes of plastically deformed metal.

References: 1. Gedrovich A. I .Plastic Deformation in Welding. Lugansk.: Center agency of the East Ukrainian National University, 1998. – 237 p. **2.** Erokhin A. N. Foundation of Welding. M.: Engineering, 1973. – 448 p. **3.** Potap`evskiy A. G. Gas-shielded Welding consumable Electrode. M .: Engineering, 1974. – 240 p.

STAGE STRUCTURE "BACHELOR-MASTER-DOCTOR" IN THE UNIVERSITY EDUCATION MODERN SPACE

Kaverina O., Prihodchenko K.
(Educational Establishment "Donets National Technical University")
*Ph: (0*62) 3052372; *E-mail: chugunova1973@mail.ru*

Abstract: *The modern requirements for technical specialist professional training dictate the change of methodology approaches for professional education. The article deals with the comparative analysis of educational structure of different countries, emphasizing upon the creative peculiarities of the Bologna process.*
Keywords: *Bachelor; Master; European educational entry; credit-module system; European educational standards.*

Issue setting. The three-stage structure of education service has long historical roots. Nowadays we are in the necessity of its returning and using for the new social conditions.

The aim and tasks. We take as the background the European educational system, set the aim of its thorough learning and using in the education space of our country. We try to solve the following tasks: make up a comparative analysis of the educational structure of different countries, emphasizing upon the creative peculiarities of the Bologna process in the higher educational establishments of our country.

The main scientific approaches for the scientific problem under investigation. The issue of entering the European educational space is under investigation of the following scientists. V. Zuravsky, M. Thgurovsky, I. Babin, A. Ephremov and others.

The scientists are interested in the following different aspects of this problem, including the main principles of European educational entry, chronological sequence of this process, credit-module system of specialist training.

The main concept of the article. Time dictates the constant social changes, influencing the education as well. The higher school is responsible for the educational stage level, their competitive ability in the labour market. The multistage educational usage is the desire to respond the European educational standards. "Let's try to investigate the structure of bachelor– master– doctor in the universities of our country."

Let's turn our attention to the history of the issue. The first university was Bologna University, founded in 1088 on the school basis. The university status was given with the special charter, publicized in 1158 by imperator of Barbarossa. At the end of the XIII century there were 10 thousands students in that university, witnessing about its popularity. There were other universities – Cambridge, (1209), Oxford (XII century), Corbonna (1215), Karlov University (1348), ets. In XIII century there were 19 universities the number growing up to 44 in XIV. Two training cycles were established, the initial and final. The first referred to bachelor training, the second – to master training. They had different names in different countries [6, p. 19], "student and post graduate" [6, p. 173], "bachelor and post bachelor education" [4, p. 19].

The necessity of returning for the two cycle education is connected not only with the historical traditions, but with the modern labour market demands, and the academic requirements of higher education. The very important advantage of the bachelor – master system is the fact of its recognition in a lot of countries talked about it in Helsinki (16-17.02.2001). At Helsinki seminar it was declared that the bachelor stage is the higher education qualification with the right of the further master education according to the Lastborn agreement, but before making that decision it was a disputable question. In Berlin it was solved to begin giving the supplements for the diplomas to all graduates, starting from 2005, where bachelor is the educational or educational-qualification stage of higher

education; academic stage (qualification), which obtains a person after gaining the higher educational programme up to 3-4 years and successful passing of final tests. It gave the right for the further master education A master is an academic stage which a bachelor takes as the result of the main educational programme up to 1-2 years of learning and receives the right for the PhD learning courses.

Starting from 1998, the European educators try to unite the common efforts for the Bologna process practical realization: the perspectives of the European educational system, which is called the European higher educational Zone, grounding upon the interactional unity at the horizontal level, expanding the rights of the middle and lower management in the information exchange sphere, initiative encouraging, the proposition deep thinking and final results viewing its realization, studying and transmission of the European experience in the sphere of the integration process state management.

In Prague (2001) the Ministers of Education declared the necessity for the further discussion of the three important aspects of the European space of the higher education:

– the learning during whole life;
– the problem of the role of the higher educational establishments and the students in the Bologna process;
– the issue of the advantages of the European educational process.

Up to 1999 the main questions were connected with the management level growth in Universities, restructure and creation of the learning programmes, teacher qualification increase, higher education system perfection, European disciplines for the educators. The main documents of the European Community are “Strategy for the period 2002-2006” “National indicative programme (2002-2003)”.

There are main positions as far as the European educational and scientific space creation is concerned:

– the introduction of the two cycle education – from 3 to 4 years and obtaining the academic level; the second – obtaining the master degree (in 1-2 years of education) or PhD degree (the total educational process durates up to 7-8 years);
– credit system implementation – the technology of register of the learning process in credits.

It is recommended to take as the basis ESTS (the European system of the credit register), capable of working in the concept frame in learning during life, it means the endless education, which is grounded upon the unity and value of the world system of education, the combination of the differentiated educational programmes of different degrees and levels, with the guarantee for the citizens to realize the right for education and the possibility of obtaining the general educational training, improving qualification and creating the conditions for self-education.

Distance education is examined as the aim-centred, systematic, organizational process of gaining knowledge, skills of the students, directing upon the increase of his/her level of education as the result of learning, upbringing and developing. Distance learning is the form of education where the best traditional and innovation methods, means and forms of learning are used, based upon the computer and telecommunication technologies. It came into being in XXI century as the most perspective, synthetic, humanistic, integrative from of education – the quality education control. The accreditation agencies must be founded. They must be independent of the government and international organizations. The mark must be defined not only with the term or contents of education but also with the knowledge, skills and habits obtained by the graduate students. There are also the standards of transnational education:

– the extension of the teachers mobility for the mutual enrichment of the European experience;
– the work supply for the graduate students;

– obtaining the European system of education – the most important social aspect.

ESTS is based upon the three elements: information, mutual agreement (between educational establishment and the students), and credit implementation system.

The strategic trends of education modernization, the importance of these spheres for the state social development are determined with the natural tendencies of the general educational development, and it is closely connected with the inner state processes. So, there comes the first strategic aim for the scientific development – the setting of the scientific priority in society, that produces the new knowledge and education, attracting the society and a person to obtain this knowledge.

The second strategic aim is the educational activity modernization to prepare a person for an effective productive life in XXI century. To solve this problem a lot of events were organized: "Credit-module system of specialist training in Bologna declaration", "Quality guarantee, the European system of credit transfer, credit savings and implementation practise of the Bologna process in different European countries". The events confirmed the necessity of international educational establishments, the multi-stage system of higher education, credit system implementation. It implies, that a credit is a unit of volume and measure of the learning results, achieved as the definite moment of programme fulfilling; test credit is a unit of measuring of the learning loading, necessary for gaining the content modules or the blocks of content modules. So it is necessary to mention the chosen content modules – these are the content modules of the variation part of the qualification characteristics, giving an opportunity to fulfill the training according to the definite speciality and improving the academic mobility and advanced training connected with the future activity.

The students doing creative work, take part un the scientific-research activity, in the conferences, seminars, in article preparation and it can add more scores. The general final mark consists of the score, gained for the results of the current module control, the score gained for the results of the exams. If the discipline has a credit as a final result, there is a summary score, being a consequence of the module control.

So, it is necessary to have National higher education recognized in Europe; the change of the contents and organizational forms of the state institutions, being responsible for the education quality; it is very important to put into practise the criteria for working out the learning plans, mobile schemes and integrated learning programmes, practical training and scientific research.

The organization of the learning process in the modern University is based upon the principles of the scientific-cognitive, informational, methodical supply sufficiency, being a ground for the independent creative usage and knowledge thinking, creative and research initiative reveal.

At the same time they must have organized individual classes, consultation classes, the control of the independent work. The control of the independent work is paid a lot of attention.

So, we have tried to make up the theoretical analysis of the Bologna system as an innovation approach for the educational process in the higher school, showing its advantages and disadvantage. This approach gives the possibility for a teacher and a student to determine, develop and perfect himself/herself in the educational space.

Bologna process is considered to be a deep structural reform of the European higher school on the way to the knowledge society globality and integration. This global reform consists of the following components: general system reform of the European level, the reform of the National level and the reform the higher educational establishment.

Now turn our attention to the following aspect of the discussed issue: the social measuring of the Bologna process.

This term was firstly declared in Prague (2001) in the concept of mobility and strategy

of one continuous education. The social defence of student was discussed at the seminar in Athena called: “The investigation of social aspects of European space of the higher education”. At the seminar in Budapest it was stated that all actions linked with the Bologna process must be correlated with the social measuring. It was declared the necessity of optimal social life condition supply of the student, and also the monitoring of this process.

In 2001 in Europe the European Association for Quality Assurance in Higher Education was established, the aim is the working out the education standards and their control.

The basic of this activity was the European pilot project for the quality evaluation of the higher school, where the main question was connected with the student competitiveness increase being in the balance with the social characteristics improvements in the European space frames. The European education must be not only an advantage but also responsibility for every student.

The main trends of the cultural-educational and scientific-technical integration have been admitted the European standards implementation in education, science and technique; the cultural and scientific-technical links expansion in Europe, common project fulfilment. For example, the “Tempus” programme was aimed at the development and perfection of the higher education system in the countries-partners on the basis of the balanced co-work with the educational establishments and other institutions of the European community.

The modern stage of the Tempus programme is the component of the general strategy European Union (“Enlargement” and “Development”) which gives the European countries to choose the national priority trends of reforms and motivates everybody to reveal initiative, look for innovation approaches, create modern education projects.

All these trends are a follows: 1) modernization of plans correspondingly to the European system of saving and transferring credits; 2) international link development; 30 learning during life, including priority components “education-innovation-investigation”/

So, we are coming to the conclusion. If use take active port in the European education space, will have the possibility of perfection individual cultural field, professional growth, creative productivity and development organization of the professional self-realization of a student taking into consideration the main competences declared in European standards: study, look for, co-work, adapt. But the main prevailing principle of this reform is the private life perspective personal principle.

References: 1. Bologna process in foxts and documents (Sorbonne – Bologna – Salamanka – Prague – Berlin) / M. Stepko and others. – Ternopol, 2003. – 52 p. **2.** Ephremov A. Credit and learning process / A. Ephremov. – Moscow, 2003. – 142 p. **3.** Prihodchenko K. The higher school and Bologna process: methodical recommendations / K. Prihodchenko. – Donetsk, 2012. – 54 p. **4.** Scientific-practical seminar “Credit Module system of specialist training in Bologna declaration”. – Lviv, November, 2003. – 111 p. **5.** Sherbik E. Pedagogic aspects of credit system implementation in master courses / E. Sherbik and others. – Kiev, 2000. – 144 p. **6.** Zuravsky V. Bologna process: the main principles of entering the European space of the higher education / V. Zuravsky, M. Zgurovsky. – Kiev: “Polytechnics”, 2003. – 200 p.

SOCIAL ASPECT OF BOLOGNA PROCESS

Prikhodchenko Y. I., Kapatsina N. N. *(SEIHPE «DONNTU», Donetsk)*
Tel: 050-901-21-83, E-mail: kapanata77@gmail.com)

Abstract: *The article is raising the problem of countries' adaptation in the European educational space. Its positively developing role in the intellectual growth of each teaching agent is considered. The joint educational projects between educational institutions of different countries both participating in the Bologna process and integrating into it.*
Keywords*: globalization of the world educational system, social characteristics of non-participating country's education, lifelong learning.*

The main function of education is to improve the educational and cultural level of all members of a society. In 1973 D. Bell insisted on increasing the role of universities as a source of innovation and knowledge in the process of globalization of the world system. Therefore, in non-participant countries there is a situation of accented interest in Bologna process as the top priority.

Notwithstanding the numerous works about the Bologna process itself not much is said about its social aspect; the difference between the definitions «Bologna system of education» and « European educational space» is worked out vaguely. Considering the key problems of non-participant countries' higher education in the context of the Bologna Process we aim: to show high level achievements of intellectual and spiritual self-identity of a student. The following problems are to be solved: to study the development of modern higher education in non-participant countries in accordance with the national strategy of social development.

The question of a country's entry into the European educational space is in the sight of many scientists, including M. Stepok, J. Bolyubash, V. Shynkaruk, B., J. Babin, Z. Tymoshenko, A. Gapon, D. Palekh, V. A. Andrushchenko, V. Zhuravsky, M. Zhurovskiy, V. Kremen and others. They emphasize on the social dimension of higher education, on the mechanisms for implementing the European Higher Educational Area [1-17].

The term "social dimension" was first mentioned in Prague communique in the context of mobility and strategies for lifelong learning (2001). The seminar held in Athens and called "Research of social aspects of European Higher Education" (February, 2003.) was focused on the social protection of students.

During the seminar in Budapest (2008) it was noted that all the actions taken in the frames of the Bologna Process should occur with regard to the social dimensions. Also this issue was brought to public at the conference in Berlin (September, 2005.). The need to ensure the optimal social conditions for students' life was stressed on as well as the monitoring of comparative data on this subject. It was pointed out to the importance of the social dimension of the European Higher Educational Area (EHEA), considering the fact that in 2000 in Europe established the European Network for Quality Assurance in Higher Education (ENQA), which aim is to develop standards for quality education and monitor their compliance.

In November 2004, the General Assembly transformed the European network into the European Association for Quality Assurance in Higher Education. The impetus for the creation of such an organization was a pilot project on quality assurance in higher education (1994-1995).

Increasing the competitiveness of a student must be equal to improving the social characteristics of education and be both the good and the responsibility for members of society. The main areas of cultural, educational, scientific and technical cooperation were determined as the implementation of European standards in education, science and technology and at the same time spread of the national cultural, scientific and technical achievements into the EU, implementation of joint projects and etc.

Let’s consider some of them. Thus, the program "Tempus" is aimed to the development and improvement of higher education in the so-called partner countries through balanced cooperation with universities and other educational institutions of the European Community members.

The name "Tempus" is formed as the abbreviation «Trans-European Mobility Programme for University Studies», which reflects the main purpose of the program – Trans-European mobility in the area of higher education. The program was founded in 1990 and promotes people for people approach. It has got the longest term; its first stage began in 1990 and continued until 1994 (Tempus I), Tempus II – 1994–1998, Tempus III ibis – 1998–2000, Tempus III – 2000–2006, Tempus IV – 2007– 2013.

That stage – Tempus – was a part of the general strategy of the EU «Enlargement» and «Development» and allowed partner countries to choose priority areas of national reform and encouraged every interested person or organization to take the initiative, to seek innovative approaches, to create innovative educational projects. In Tempus IV program three areas of educational changes that coincide with the main objectives of EU educational program «Lifelong Learning» and correspond with the objectives of the Lisbon Strategy and the Bologna process were identified. These areas are:

1. modernization of curricula according to the European system of accumulation and transfer of credits;
2. development of international relations;
3. lifelong learning with priority components of «education – innovation – research».

Overall Tempus program is implemented through projects initiated, designed and implemented in partnership of 27 EU member states and 5 countries of the Western Balkans (IPA) – Albania, Bosnia and Herzegovina, Montenegro, Serbia and Kosovo; 6 of the Eastern region (ENPI East) – Azerbaijan, Belarus, Georgia, Moldova, Ukraine, Russia; 10 countries of the Southern region (ENPI South) – Algeria, Egypt, Israel, Jordan, Lebanon, Libya, Morocco, the Palestinian Territories, Syria, Tunisia; 5 countries of Central Asia (DCI) – Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan, Uzbekistan and partner countries on terms of self-financing – Turkey, Croatia, Macedonia, Iceland, Liechtenstein, Norway and Switzerland.

In the framework of the Tempus IV program two types of projects were funded: a) joint projects based on multilateral partnership between higher education institutions in the EU and the partner countries and aimed to develop, modernize and disseminate modern educational programs; b) structural measures to modernize higher education on the national level. The duration of projects was three years. National Projects of the sixth contest were established in October 2012. They were:

• reforming the curriculum;
• management reform of universities;
• higher education and society.

Courses: teacher training and educational science; social and behavioral sciences; natural Sciences; engineering; Materials.

For more plausible results of the implementation of educational programs the study of quality indicators received during their phased implementation was provided. The transnational European project assessment (Total Effective Equipment Performance (TEEP)) was focused on. TEEP estimated self-assessment activities; evaluating the quality of educational services by external groups of experts; the reports’ publication. TEEP II appeared as the detailed results of the first transnational European project assessment (TEEP I). TEEP II main objectives were: to develop external evaluation methodology of master's degree; to promote cooperation at European level. Practical implementation of the projects took place during 2002-2005.

TEEP essentially are the founders of implementation tasks the World Forum held in Dakar on 26-28 April 2000 – wider access to basic education raised in the World Conference on Education for All (March, 1990, Jomtien, Thailand). UNESCO activities in education deal

with the education to all at all levels throughout life. It is UNESCO along with UNICEF (UN Children's Fund) and UNDP (UN Development Program), the World Bank and the United Nations Population Fund (UNFPA) were the organizers of this event in Dakar (Senegal). The Forum was the culmination event of the decade of Education for All. It promoted the development of innovative mechanisms for the UN initiative "Education for All" and the new UN initiative "Education above All".

The positive response to the event in Dakar is demonstrated by: the International Workshop "Global Education" (2– 4.03.2001, Sweden), workshop for students of Europe "Implementation of the Bologna Declaration" (10– 12.03.2001, Belgium), St. Petersburg Convention of Association of students' national unions (22– 25.03.2001, Goteborg, Sweden).

The two-year project of setting up educational structures in Europe (May, 2001); The International Conference on Information Society Problems (Mainz, Germany, 2002; Paris, France, 2003; Budapest, Hungary, 2004); The World Summit of Information Society (Tunis, 2005) and others.

Pretty powerful event in the development of the European educational area was Barcelona strategy of Research and Innovation development (Barcelona, Spain, 2003). It was a logical continuation of the EU Lisbon Strategy (Lisbon, Portugal, 2000). Here, in Lisbon, in the following 2001, the conference to determine the new basic competencies was held. It was heard about the implementation of the program " Definition and Selection of Competencies: theoretical and the conceptual foundations" (DeSeCo) (1997) and new perspectives of educational development were skimmed. Attention must be drawn to the fact of the active involvement of young people in public life, in social transformations at different levels. (European Charter, 2003, European Youth Package, 2005, the European Commission's Programme "Youth in Action" (2007 - 2013)). The year 2010 was even named as the International Year of Youth.

The application of projects for researchers is considered to be a positive step.

Thus, having taken an active part in the European educational space, we had an opportunity to improve individual culturological field of vocational and professional growth and creative performance; to organize the process of students' professional self-realization via the fulfillment of the decision of the Council of Europe on "Key competences for Europe", which contains a list of key competencies: to learn, to investigate, to think, to cooperate, to get down to work, to adapt. When the prevailing principle is the principle of personal consideration of life perspective.

References: 1. Beh I. D. Psychologichna sut humanismu u vihovanni osobystosti. – Problemy osvity – K., 2001 – Iss. 26 – s. 97–104. **2.** Belavina T. I. Suchacni aspecty vstanovlennya cultury gromadyanskoyi ta uchnivskoyi molodi.// Novi technologiyi navchannya - 2001 – Vyp.. 30 – s. 63– 73. **3.** Bilik L. I. Pro systemnyi pidhid v organizatsiyi vihovnogo processu // Problemy osvity – K., 2001 – Vyp. 26 – s. 91 – 104. **4.** Bolshakov V. I. Vihovaty tvorchu osobystist budivnyka ukrayinskoyi derzhavy // V. I. Bolshakov, G. G. Krivchik // Problemy Osvity – K., 2001. – Vyp. 26 – s. 109– 173. **5.** Gudzenko S. V. Shchodo problemy simeynogo vykhovannya. // Novi technologiyi navchannya – K., 2001 – Vip. 31 – s. 115– 123. **6.** Iova V. Formuvannya gromadskoyi kultury osobystosti. – Kamyanets-Podilsky: "Abetka", 2004 – 147p. **7.** Karpechuk S. G. Teoria i metodyka vykhovannya: navchalshniy posobnik. – K.: Vyshcha shkola, 1997 – 235s. **8.** Kostyuk G. S. Navchalno-vyhovnyi process i psyhichnyi rozvitok osobystosti. – K.: Rad.shk., 1989 – 125 s. **9.** Kosareva N. I. Vykhovannya hromadskosti uchniv na ideyah ukrayinskoyi derzhavnosti. – Pedagogica i Psychologiya – 1996. – №3 – s.12– 15. **10.** O. Croytor. Osoblyvosti moralno-psychologichnogo climatu tvorchogo colectyvu. - Problemy osvity – 2001 – Vyp. 25 – s. 69– 75. **11.** Kuz V. G. Osnovy natsionalnogo vihovannya / V. G. Kuz, Yu. D. Rudenko, Z. Sergiychuk. – Uman, 2004 – 107 s. **12.** Prikhodchenko K. I. Rozvytok osobystosti – strategichyi napryam humanystychnogo vykhovannya. – Shlyakh osvity – 2012 - №1 – s. 6– 11.

ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ВДОЛЬ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Аршакян А.Л., Егиазарян С.К., Чибухчян О.С., Баласанян Б.А.
(*НПУА, г. Ереван, Армения)*
Тел: (374)935212; E-mail: a.l.arshakyan@mail.ru

Abstract: *Based on the preliminary study of the process of ultrasonic cutting of materials with the use of ultrasonic vibrations of the tool tip along the resultant cutting force, it is established that such an ultrasonic cutting process is the most promising and can become the basis for improving the processes of ultrasonic cutting of hard-to-work materials. To obtain final conclusions on this issue, it is required to conduct complex theoretical and experimental studies, which are currently being conducted in the problem laboratory "Machine-Building Technologies" of the NPUA.*
Keywords: *ultrasonic, cutting, force, oscillation, application, tools.*

Введение. В настоящее время известны три основные схемы использования ультразвуковых колебаний (УЗК) при резании труднообрабатываемых материалов лезвийным инструментом [1-3]. Они отличаются направлением возбуждения УЗК вершины резца, которые, как известно [1-3], осуществляются вдоль трех составляющих силы резания Pz, Py и Px и поэтому соответственно называются процесс ультразвукового резания (УЗР) с тангенциальными, радиальными и осевыми УЗК. Следует отметить, что из всех известных схем осуществления процесса УЗР наибольшими преимуществами обладает схема с колебаниями режущего инструмента вдоль тангенциальной составляющей силы резания, что и способствовало ее наибольшему применению в области обработки материалов лезвийным инструментом [2]. При этом основным недостатком схемы УЗР с тангенциальными колебаниями является наличие в процессе резания постоянного контакта задней поверхности режущего инструмента с обрабатываемой деталью, а при резании с радиальными колебаниями - наличие в процессе резания постоянного контакта передней поверхности режущего инструмента со стружкой.

Известна также схема осуществления процесса УЗР с одновременными колебаниями вершины резца вдоль трех составляющих силы резания, сдвинутых относительно друг друга по фазе УЗК [4-5], при котором вершина резца совершает эллиптические пространственные колебания (ЭПК). Такой метод УЗР обеспечивает наибольшую эффективность применения УЗК при резании материалов лезвийным инструментом, что связано с тем, что при определенных режимах резания и амплитуды УЗК в течение определенного промежутка времени одного периода колебаний режущее лезвие находится в полном отрыве от обрабатываемой детали и стружки, что способствует снижению размерного износа инструмента и средней силы резания, улучшению проникающей способности смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания и появляется возможность повышения режимов резания с соответствующим повышением производительности обработки [5].

К сожалению, до настоящего времени, этот способ УЗР применяется только в исключительных случаях и при резании особо труднообрабатываемых материалов, при которых повышенный размерный износ в случае традиционного метода резания не может обеспечить требуемое качество обработки в течение одного прохода. Отметим, что это

связано с определенной трудностью осуществления ЭПК вершины инструмента, для которого требуется три преобразователя УЗК и фазосдвигающие устройства, что значительно усложняет осуществление процесса УЗР и эксплуатацию акустической системы возбуждения УЗК вершины резца.

Цель работы. Целью настоящих исследований является предварительное изучение кинематики процесса УЗР материалов с УЗК вершины инструмента вдоль результирующей силы резания, разработанного в Японии [3], и установление условий резания, при которых в течение определенного промежутка времени одного периода колебаний режущее лезвие находится в полном отрыве от обрабатываемой детали и стружки.

Предварительные теоретические исследования. На рис.1 приведена схема процесса УЗР материалов с УЗК вершины инструмента вдоль результирующей силы резания.

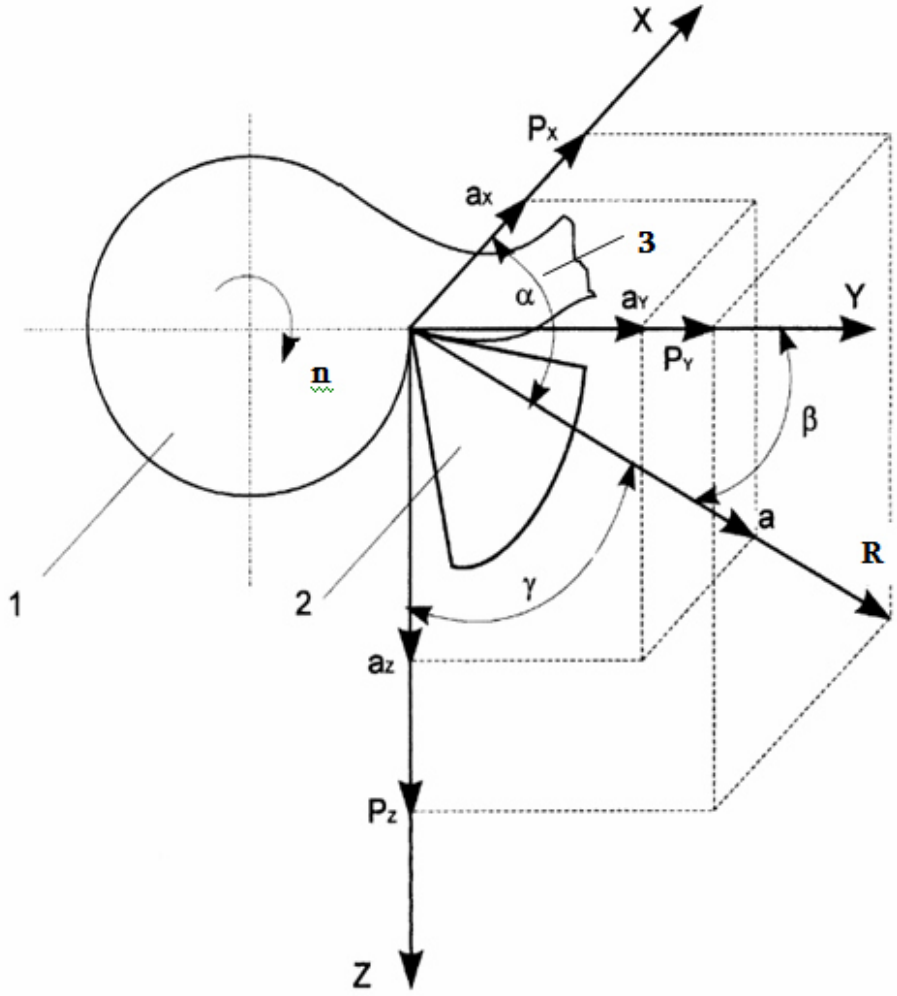
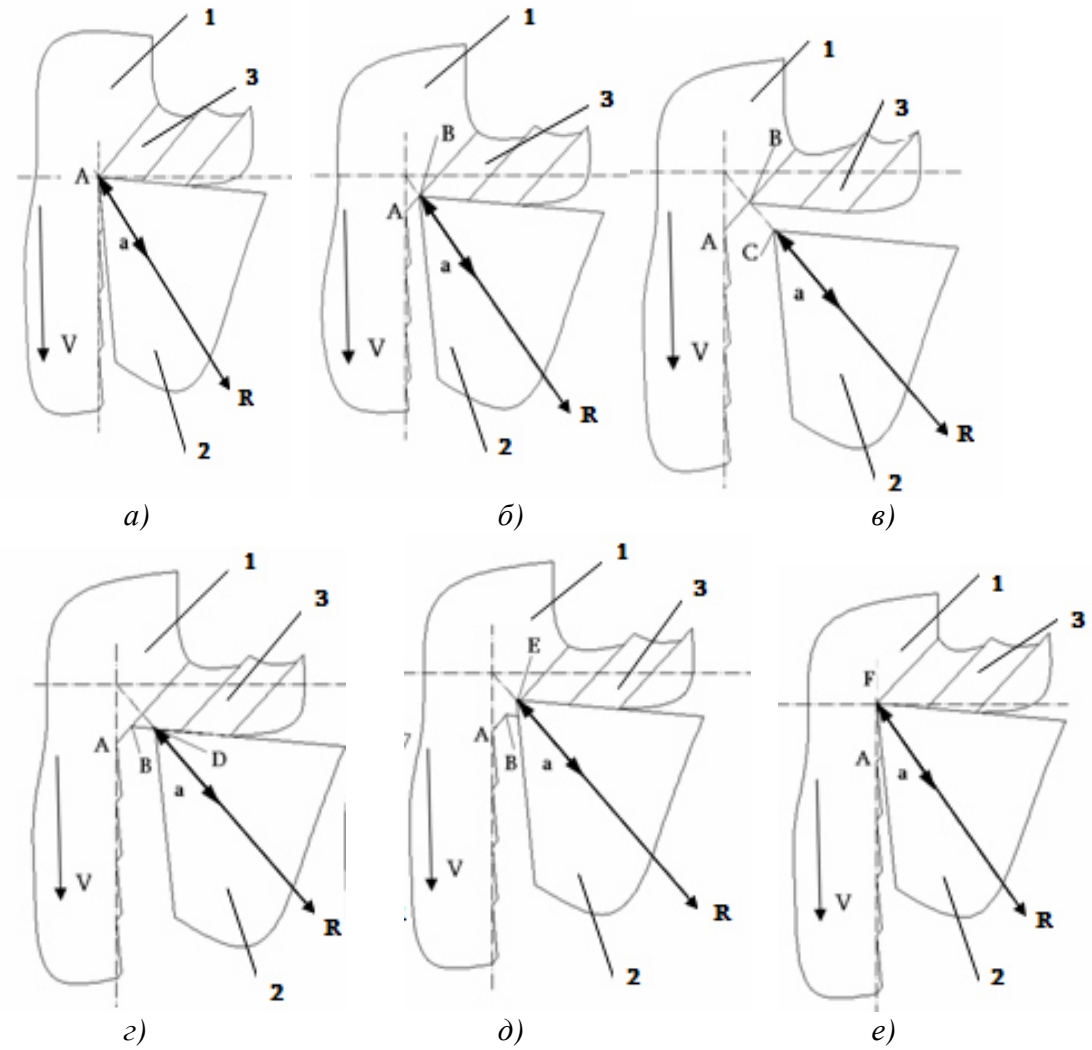


Рис. 1. Схема процесса УЗР материалов с УЗК вершины инструмента вдоль результирующей силы резания R: 1- обрабатываемая деталь, 2 – режущий клин инструмента, 3 - стружка

Приняты следующие обозначения (рис.1): R – результирующая сила резания; Pz, Py и Px составляющие R по осям координат Z, Y и X; “a” – амплитуда УЗК вдоль результирующей силы R; a_z, a_y и a_x - составляющие “a” амплитуды УЗК по осям координат Z, Y и X; γ, α, β – соответственно углы между вектором результирующей силы резания и осями Z, Y и X.

Рассмотрим характерные точки движения вершины резца относительно обрабатываемой детали в течение одного периода колебаний, приведенные на рис. 2.



а) *б)* *в)*

г) *д)* *е)*

Рис. 2. Характерные точки процесса УЗР материалов с УЗК вершины инструмента вдоль результирующей силы резания в течение одного периода колебаний

За начало отсчета примем момент времени, когда вершина резца максимальной амплитудой УЗК полностью внедрена в обрабатываемый материал в точке А (рис. 2. а). В последующий момент времени периода УЗК вершина резца начинает отходить от обрабатываемой детали и с учетом скорости резания ее относительное движение происходит по наклонной АВ (рис. 2. б). В течение этого промежутка времени задняя поверхность режущего клина теоретически сразу отрывается от обрабатываемого

материал, а передняя поверхность находится в контакте со стружкой, так как скорость резания больше колебательной скорости вершины резца. Если принять, что в точке В скорость резания равна колебательной скорости вершины резца, то при ее дальнейшем движении режущий клин полностью выходит из зоны резания (рис. 2. в), которое продолжается до момента времени, когда колебательная скорость уменьшаясь, снова становится меньше скорости резания, и после этого, в точке Д (рис .2, г), вершина резца вновь начинает внедряться в стружку, и проходя промежуточную точку Е (рис. 2, д) в конце доходит до точки F (рис. 2, е), после чего цикл повторяется.

Таким образом, на основе предварительного рассмотрения механизма процесса УЗР материалов с УЗК вершины инструмента вдоль результирующей силы резания показано, что при определенных соотношения между скоростью резания и колебательной скоростью вершины режущего клина в течение некоторого промежутка времени одного периода колебаний могут быть достигнуты условия, при котором режущий инструмент выходит из контакта с очагом деформации процесса резания, что может способствовать улучшению условий протекания процесса резания в целом.

Заключение. На основе предварительного изучения процесса УЗР материалов с применением УЗК вершины инструмента вдоль результирующей силы резания установлено, что такая схема осуществления процесса УЗР является наиболее перспективной и может стать основой для совершенствования процессов УЗР труднообрабатываемых материалов. Для получения окончательных выводов по этому вопросу требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований, которые в настоящее время проводятся в проблемной лаборатории «Машиностроительные технологии» НПУА.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного комитета по науке при Министерстве образования и науки Республики Армения в рамках тематики научно-исследовательской базовой лаборатории "Машиностроительные технологии" Национального политехнического университета Армении.

Список литературы: 1. Марков А.И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов. - М.: Машиностроение, 1968. – 268 с. **2.** Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1980. - 240с. **3.** Кумабэ Д. Вибрационное резание. - М.: Машиностроение, 1985. - 424 с. **3.** Патент РА №739. Способ вибрационного резания лезвийным инструментом / А. Баласанян, С. Христафорян, Б. Баласанян и др. – Ереван, 2000. - 6 с. **4.** Баласанян Б.С. Теоретические и технологические основы повышения устойчивости обрабатывающих систем применением ультразвука: Автореф. дис. … докт. техн. наук: 05.03.02 / Гос. инж. ун-т Армении. –Ереван, 2003.-35с. **5.** Христафорян С.Ш. Теоретические и технологические основы повышения эффективности обработки материалов использованием ультразвуковых колебаний: Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.03.02 / Государственный инженерный университет Армении. – Ереван, – 1996. - 32 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ АРМЕНИИ

Баласанян Б.С., Аршакян А.Л., Баласанян А.Б., Гараян А.В. (*НПУА, г. Ереван, Армения)*
Тел: (374)935212; E-mail: bbalasanyan@yahoo.com

Abstract: *The work shows that manufacturers, knowing about the undeniable advantages of the process of ultrasonic cutting with the help of a blade, consider these results still insufficient for risk and additional investments with the purpose of their introduction into production. Therefore, they need to offer such methods of ultrasonic cutting of hard-to-reach materials, which are the only ones for increasing the accuracy of processing and resistance of the cutting tool at times, rather than several, according to manufacturers, about 20-50%. Such methods include the process of ultrasonic cutting with elliptical spatial oscillations of the tool developed at the National Polytechnic University of Armenia, which allows increasing the productivity of the process of treatment materials up to 6 times or more, ensuring the required quality of processing.*
Keywords: *ultrasound, cutting, elliptical oscillations, accuracy, processing quality, cutting tools.*

Введение. Научно-технический прогресс в машиностроении, авиастроении, приборостроении, автомобилестроении, судостроении, ракетостроении и в других областях промышленности во второй половине XX века выдвинул перед разработчиками и конструкторами задачу всемерного улучшения технико-экономических показателей проектируемых ими машин и оборудования, которая сопровождалась повышением интенсивности режимов работы производственной продукции и все более ужесточающимися требованиями к качеству выпускаемой продукции. Это стимулировало опережающее развитие новых конструкционных материалов, таких как жаропрочные, титановые, коррозиестойкие стали и сплавы, обладающих повышенными прочностными характеристиками, а следовательно, и низкой обрабатываемостью резанием.

Поэтому совершенствование существующих и освоение новых прогрессивных методов обработки, направленных на повышение точности обработки и улучшение качества поверхностного слоя, увеличению периода размерной стойкости режущего инструмента и производительности обработки является актуальной задачей. В связи с этим, особую значимость при обработке деталей машин приобретают новые нетрадиционные методы обработки материалов резанием, к числу которых относится метод ультразвукового резания (УЗР).

Как известно, УЗР осуществляют по трем основным схемам [1-3], с применением радиальных, тангенциальных или осевых ультразвуковых колебаний (УЗК), каждая из которых, наряду с безусловной эффективностью, отличается и характерным недостатком. Из всех известных схем УЗР наибольшее применение в области обработки материалов лезвийным инструментом получило УЗР с тангенциальными УЗК вершины инструмента. Основным недостатком этой схемы УЗР является наличие в процессе резания постоянного контакта задней поверхности режущего инструмента с обрабатываемой деталью.

К сожалению, до настоящего времени, несмотря на бесспорную эффективность применения УЗК при резании лезвийным инструментом еще не нашло заслуживающего практического применения. Это вероятно связано с тем, что производители, зная о

бесспорных преимуществах УЗР лезвийным инструментом, считают эти результаты пока не достаточными, чтобы рискнуть и сделать дополнительные капиталовложения с целью внедрения в производство УЗР лезвийным инструментом. При этом они аргументируют тем, что вместо приобретения нового оборудования для осуществления УЗР, лучше пренебречь расходами на режущий инструмент и процесс резания осуществлять с высокими режимами резания, обеспечивая тем самым необходимую производительность и качество обработки. Поэтому производителям необходимо предложить такие методы УЗР труднообрабатываемых материалов, которые являются единственными для обеспечения необходимой точности их обработки. Такая проблема может возникнуть в случаях, когда повышенный размерный износ инструмента в течение одного прохода не может обеспечить требуемую точность обработки.

Цель работы. Целью настоящих исследований является совершенствование известных схем осуществления процесса УЗР, обеспечивающих необходимую точность обработки деталей из труднообрабатываемых материалов лезвийным инструментом в течение одного прохода, не достижимые традиционными методами резания.

Методы исследования. Эффективность процесса УЗР можно увеличить таким изменением ее кинематики, а, следовательно, и механизма воздействия ультразвука на процесс резания, при котором одновременно обеспечивается периодический отрыв от обрабатываемой детали или от образованной в процессе резания стружки, как по передней, так и по задней поверхностям инструмента. Решением поставленной задачи могут быть схемы УЗР с последовательным чередованием тангенциальных и радиальных колебаний (ПЧК) [4]. При этом вершина резца в первую четверть периода колебаний перемещается против направления скорости резания на величину a_Z, в течение второй четверти колебаний она перемещается от детали на величину a_Y в направлении, перпендикулярном к скорости резания. Далее последовательными перемещениями в течение третьего и четвертого четвертей периода колебаний соответственно на величины - a_Z и - a_Y, вершина резца завершает одно полное колебание.

Сравнение этой схемы УЗР с известными показывает, что путь резания вершины резца, а, следовательно, и длина контактного трения резца по задней грани, может регулироваться амплитудой и частотой УЗК и скоростью резания и при их определенных соотношениях, она равна длине контактного трения обычного процесса резания. Это естественно будет способствовать уменьшению интенсивности износа режущего инструмента за счет улучшения теплового режима обработки.

Согласно кинематике резания, для ее осуществления необходима определенная последовательность чередования амплитуды тангенциальных и радиальных колебаний вершины режущего клина инструмента, что требует наличия дополнительного коммутационного устройства в схеме ультразвукового технологического оборудования для подпитки ультразвуковых преобразователей тангенциальных и радиальных колебаний. Для процессов обработки материалов, осуществляемых с низкими скоростями резания (строгание, долбление, протягивание и т.д.) последовательность чередования амплитуды тангенциальных или радиальных колебаний вершины режущего клина инструмента можно осуществлять с низкими частотами и практическая ее реализация не вызывает определенных трудностей. Однако в области ультразвуковых частот для подпитки ультразвуковых преобразователей тангенциальных или радиальных колебаний в схеме ультразвукового технологического оборудования требуется введение дополнительного высокочастотного коммутационного устройства.

Очевидно, что коммутатор может получиться сложнее самого ультразвукового генератора, так как величины напряжения и электрического тока питания магнитострикционных преобразователей колебаний достаточно высоки, которые составляют соответственно 400В и до 1,5А. Поэтому для практической реализации УЗР с ПЧК была разработана и изготовлена пьезокерамическая акустическая система, представленная на рис.1, состоящая из двух идентичных пьезокерамические преобразователи колебаний типа “сэндвич” мощностью по 50 Вт каждая с датчиками измерения амплитуды колебаний, закрепленных на двух взаимно перпендикулярных плоскостях призматического волновода при помощи центральной шпильки. Режущий инструмент из эльбора был закреплен на призматическом волноводе.

Для проведения экспериментов предварительно была произведена апробация акустической системы и определена последовательность подключения преобразователей колебаний к питающей сети, которая обеспечивала бы чередование амплитуд тангенциальных и радиальных колебаний в последовательности $\overline{a}_Z$, $-\overline{a}_Y$, $-\overline{a}_Z$, $\overline{a}_Y$, то есть по направлению вращения часовой стрелки согласно. Правильность подключения преобразователей колебаний к питающей сети определялась как визуально, с помощью микроскопа х1000 кратным увеличением, так и с помощью электроннолучевого двухканального осциллографа марки С8-17 следующим образом. Выходы пьезокерамических датчиков измерения амплитуды колебаний подключались одновременно к двум каналам осциллографа, работающего в ждущем режиме, с помощью которых определялись направления смещений вершины резца следующим образом.

Вручную, к одному из пьезокерамических преобразователей подавался кратковременный импульс питающего напряжения и по данным датчика обратной связи, а также визуально, определялось направление колебательного смещения вершины резца.

После этого, полярность питающего напряжения менялась, и снова определялось направление колебательного смещения вершины резца. Аналогично были определены направления колебательных смещений вершины резца от второго пьезокерамического преобразователя, на основе которых была окончательно определена последовательность работы коммутатора преобразователей колебаний.

До апробации акустической системы были опасения, что в момент отключения одного из преобразователей колебаний и включения второго за счет переходного процесса затухания колебаний преобразователей, произойдет некоторое искажение ПЧК вершины резца. Апробация акустической системы для УЗР с ПЧК показала, что наши опасения были не напрасными, так как после подключения питающего напряжения, заранее выбранная на волноводе метка в поле зрения микроскопа преобразовывалась в расплывчатое пятно эллиптической формы, то есть происходило полное искажение кинематики резания.

Попытки изменения как соотношений и величин амплитуд тангенциальных и радиальных колебаний, так и последовательности их чередования для получения четкой эллиптической формы колебаний вершины резца не увенчались успехом. При этом изменялись только размеры и угол наклона пятна эллиптической формы, а расплывчатость ее оставалась.

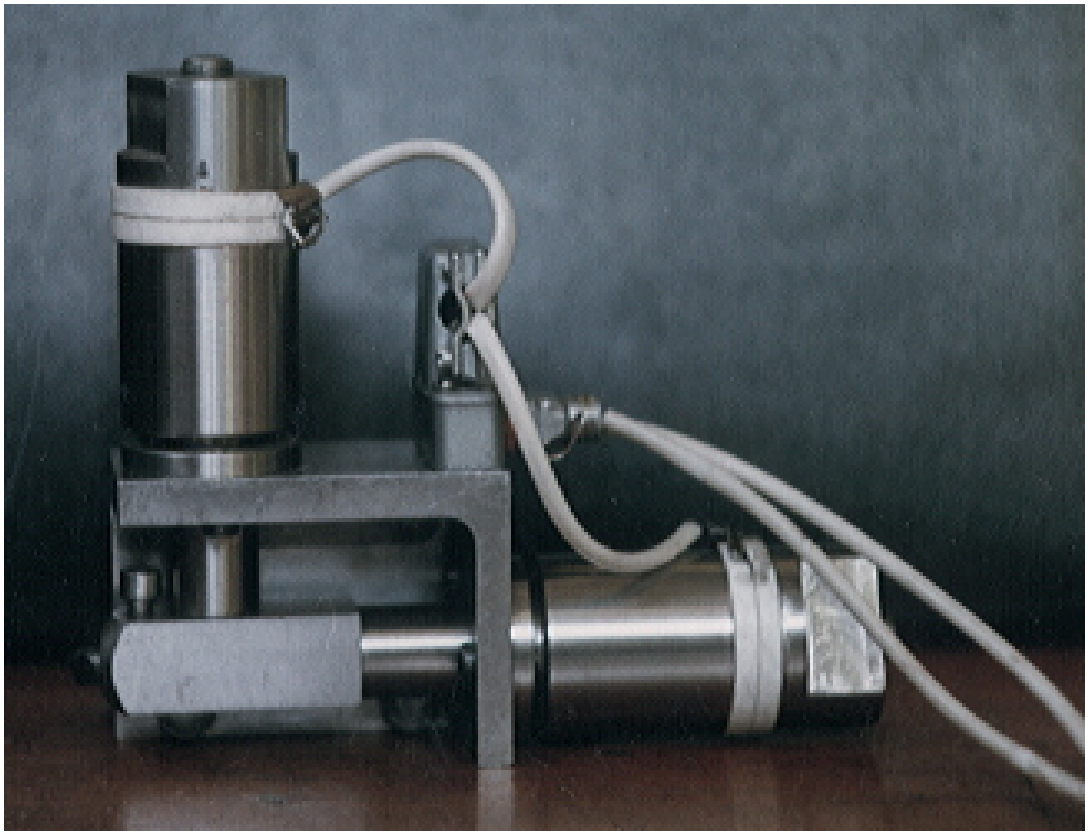


Рис.1. Экспериментальная установка и акустическая система для УЗР с ПЧК.

Как показали наши дальнейшие исследования, эта задача может быть решена применением эллиптических пространственных колебаний инструмента (ЭПКИ) путем одновременного возбуждения УЗК в режущем инструменте вдоль двух или трех взаимно перпендикулярных направлениях [5]. При этом частоты колебаний в принятых направлениях колебаний должны быть одинаковыми, а между ними должен существовать определенный угол сдвига фаз. На основании этого можно заключить, что при УЗР с ЭПКИ появляется возможность повышения эффективности ее использования, так как в течение определенного промежутка времени и при определенных условиях резания режущий инструмент полностью отрывается от обрабатываемой детали, что естественно будет способствовать улучшению большинства показателей процесса резания. При этом ее осуществление не требует дополнительного изменения схемы ультразвукового генератора, и для этого требуется всего лишь введение в схему включения одного из преобразователей колебаний (тангенциальных или радиальных) простого фазосдвигающего устройства.

Внедрение в производство. Внедрение процесса УЗР с ЭПКИ было осуществлено в Киевском НПО им. Артема для наружной обточки некоторых кольцевых деталей летательных аппаратов [6-7]. Проблема заключалась в следующем. Заготовка детали изготовлялась из листового титанового сплава ОТ4 методами горячей ковки с последующей аргонной сваркой ее стыка, где получался высокопрочный отбеленный и труднообрабатываемый слой. По производственной технологии в течение одного прохода по причине повышенного размерного износа кольцо получалось конусным, не входящим в

поле допуска размера детали. Для обеспечения необходимой точности обработки точение осуществляли до середины детали, затем, после заточки резца, заканчивали обточку, а в конце деталь обрабатывали начисто. Применение УЗР с ЭПКИ вершины инструмента позволило одним резцом, без его заточки, обработать сразу семь таких деталей, не требующих последующей чистовой обработки.

Заключение. Производители, зная о бесспорных преимуществах УЗР лезвийным инструментом, считают эти результаты пока не достаточными, чтобы рискнуть и сделать дополнительные капиталовложения с целью внедрения их в производство. Поэтому им необходимо предложить такие методы УЗР труднообрабатываемых материалов, которые являются единственными для повышения точности обработки и стойкости режущего инструмента в разы, а не на несколько, по мнению производителей, каких-то 20-50%. К числу таких методов относится процесс УЗР с ЭПКИ вершины инструмента, разработанный в НПУА, который позволяет до 12-ти и более раз увеличить производительность процесса точения труднообрабатываемых материалов с обеспечением требуемого качества обработки.

По нашему мнению, к числу таких методов можно отнести также процесс УЗР материалов с УЗК вершины инструмента вдоль результирующей силы резания, о котором имеется только сообщение [3], однако результаты исследований до настоящего времени. Этот метод также в течение определенного промежутка времени одного периода УЗК обеспечивает полный отрыв режущего инструмента из зоны резания, что естественно улучшит условия резания и является перспективным направлением совершенствования процессов УЗР. В настоящее время в базовой лаборатории «Машиностроительные технологии» НПУА начаты теоретические и экспериментальные исследования такого процесса УЗР.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного комитета по науке при Министерстве образования и науки Республики Армения в рамках тематики научно-исследовательской базовой лаборатории "Машиностроительные технологии" Национального политехнического университета Армении.

Список литературы: **1.** Марков А.И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов. - М.: Машиностроение, 1968. – 268 с. **2.** Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1980. - 240с. **3.** Кумабэ Д. Вибрационное резание. - М.: Машиностроение, 1985. - 424 с. **4.** Патент РА №667. Способ вибрационного резания / А. Баласанян, С. Христафорян, Б. Баласанян и др. – Ереван, 1999. - 5 с. **5.** Патент РА №739. Способ вибрационного резания лезвийным инструментом / А. Баласанян, С. Христафорян, Б. Баласанян и др. – Ереван, 2000. - 6 с. **6.** Христафорян С.Ш. Теоретические и технологические основы повышения эффективности обработки материалов использованием ультразвуковых колебаний: Автореф. дис. … докт. техн. наук: 05.03.02 / Государственный инженерный университет Армении. – Ереван, – 1996. 32 с. **7.** Баласанян Б.С. Теоретические и технологические основы повышения устойчивости обрабатывающих систем применением ультразвука: Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.03.02 / Гос. инж. ун-т Армении. –Ереван, 2003.-35с.

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ СИНТЕЗА МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЕЙ

Звягинцева А.В., Артемьева А.О. *(Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)*
E-mail: zvygincevaav@mail.ru, nastya.art.94@mail.ru

Abstract: The development of the laboratory method of accumulation of hydrogen by chemical elements and their compounds, is carried out in the work. The research directions and methods for the formation of structures of nickel-based composites with increased defectiveness, synthesized by the electrochemical method, are demonstrated. The synthesis of electrochemical composites Ni_x-In_y-H_z, is shown. The studies were carried out by introducing deuterium into the electrochemical system and subsequent its thermal desorption for the first time in the practice of studying hydrogen sorption. An electrochemical Ni-In composite with a phase composition-$Ni_{70}In_{30}$, having a structure capable of retaining doped hydrogen was obtained experimentally. The hydrogen concentration in the experimental samples of the Ni_x-In_y-H_z composite, determined by the TDS method, was up to 8 wt. %..
Key words: nickel, indium, indium intermetallides, ion implantation, hydrogen storage.

Одной из важнейших проблем использования водорода в энергетике и в системах питания является его безопасное хранение и возможность использования при относительно малых затратах энергии. Разрабатываемый нами способ гидридного хранения отвечает всем этим требованиям, поэтому актуальность выбранной тематики несомненна. Химическое соединение водорода в форме металлических гидридов представляет привлекательную альтернативу традиционным способам хранения (криогенный и балонный), которые небезопасны и энергоемки.

Научная новизна нашего проекта заключается в том, что мы впервые проводили исследования возможности электрохимических систем к поглощению водорода. Для экспериментального подтверждения нашего предположения, что интерметаллиды металлов могут быть структурной ловушкой для атомов водорода в электрохимических системах нами была выбрана электрохимическая система не склонная к поглощению водорода и образованию металл-гидридной фазы, к которым относится электрохимический композит Ni-In, согласно литературным данным.

Сплавы металлов с индием представляли большой интерес для различных областей современной промышленности, особенно в 80-90 годы. Легирование никеля индием увеличивает его пластичность, износостойкость, прочность на разрыв, облегчает обрабатываемость, повышает антикоррозионную стойкость, придает способность к пайке и к свариваемости с токопроводящими элементами и применялось в радиоэлектронной отрасли взамен драгоценных металлов [1, 2]. В зависимости от содержания индия в осадке, предназначение сплавов Ni-In различно. Сплавы с содержанием индия выше 10 % применяются, как антифрикционные и коррозионностойкие в машиностроении, а с содержанием индия менее 3 %, как функциональные в радиоэлектронной промышленности [1, 2].Функциональные свойства электрохимических композитов никель - индий были изучены не полностью. Обзор литературных данных показывает, что литература по данным системам за последние 10-15 лет отсутствует. Для экспериментального подтверждения нашего предположения, что интерметаллиды металлов могут быть структурной ловушкой для атомов водорода в электрохимических системах была выбрана электрохимическая система не склонная к поглощению водорода и образованию металл-гидридной фазы, к которым относится электрохимический композит Ni-In, согласно литературным

данным. По нашим исследованиям, индий в виде твердого раствора (максимально 9 вес. %) не является примесной ловушкой для атомов водорода. Это обусловлено соотношением радиусов (r_{Ni}= 0, 138 нм; r_{Jn} = 0,184 нм). Связи с тем, что у In радиус больше, чем у Ni, то в окрестности индия возникают сжимающие напряжения и водород уходит от него. Водородная проницаемость увеличивается. Однако при увеличении концентрации индия более 10 % вес. происходит образование новых фаз в виде интерметаллидов. Известно, если новая фаза некогерентно связана с Ni матрицей через сетку дислокаций, то такую систему можно рассматривать, как структурную ловушку для атомов водорода.

Никель – индиевые композиты получены электролитическим осаждением на подложки из меди (толщиной 0,05 мм), с составом электролита: $NiSO_4 \times 7H_2O$=140 г/л; $Na_2SO_4 \times 10H_2O$=20 г/л; и $In_2(SO_4)_3$ концентрация которого изменялась от 1 до 12 г/л, остальные компоненты электролита не подлежат разглашению [1-3]. Вариация количеством $In_2(SO_4)_3$ обеспечивало получение композитов Ni–In с различным соотношением компонент. Электролиз проводился платиновым анодом и медным катодом. Режимы электролиза: плотность катодного тока i_k = 0,5; 1; 2; 3 А/дм^2; время электролиза $\tau_{эл\text{-}за}$ = 10; 30; 60 мин.; температура электролита – комнатная, не выше 25 ^{0}С. Катод вырезался из медной фольги в виде прямоугольника 2,5×2 см, общей площадью S_{Cu} = 0,1 дм^2 с учетом двух сторон. Перед электролизом катод обезжиривался в среде C_2H_5OH и травился в HCl (1:1). Электролиз проводился с платиновым анодом. В ячейку заливали электролит с контролируемым содержанием $In_2(SO_4)_3$ и проводили электролиз при комнатной температуре. Режим электролиза: плотность катодного тока $i_к$ = 0,5; 1; 2; 3 А/дм^2; время электролиза $\tau_{эл\text{-}за}$ = 60 мин; содержание $In_2(SO_4)_3$ в электролите $C_{In2(SO4)3}$ = 0; 0,5; 1; 2; 4; 8; 12 г/л; тип подложки – медная.

Экспериментальным путем был подобран оптимальный режим нанесения никелевых образцов: плотность катодного тока - 2 А/дм^2, температура электролита - комнатная. Для определения влияния каждого из параметров электроосаждения на свойства композитов никель-индий варьировался только один параметр: либо плотность катодного тока, либо концентрация индия в электролите. При увеличении концентрации $In_2(SO_4)_3$ в электролите от 1 до 12 г/л содержание In в системе возрастает до 61,3 мас. %, а Ni, соответственно, становится 38,7 мас. %. Содержание компонентов в композитеNi-In определялось рентгено-флюоресцентным методом. Рентгеноструктурные исследования образцов проводили на дифрактометре HZG-4 в CuKα-излучении (β-фильтр).

Изготовлены образцы четырех концентраций: №1 - 24 мас. % In (при концентрации $In_2(SO_4)$ 1 г/л); №2 - 38 мас. % In (2 г/л $In_2(SO_4)$); №3 – 45,6 мас. % In (4 г/л $In_2(SO_4)$); №4 – 61,3 мас. % In (12 г/л $In_2(SO_4)$). На фазовой диаграмме [4], приведенной на рис. 1 стрелками отмечены образцы, которые были приготовлены и исследованы.

В работе исследован фазовый состав и структура электрохимических композитов Ni-In в зависимости от содержания $In_2(SO_4)_3$ в электролите. На основании проведенных исследований подобран состав электролита с оптимальным содержанием сульфата индия $In_2(SO_4)_3$ в электролите, который позволяет получать мелкокристаллические и равнозернистые Ni-In композиты. При использовании концентрации $In_2(SO_4)_3$ в электролите 4 г/л получились образцы с фазовым составом - $Ni_{70}In_{30}$. Результаты рентгеноструктурного анализа представлены в таблице. При содержании в электролите $In_2(SO_4)_3$ в количестве менее 2 г/л на катоде осаждается никель, присутствие чистого индия и его соединений с никелем не обнаружено. С увеличением содержания сульфата индия (III) в растворе 2 г/л и выше на катоде

осаждается чистый никель и интерметаллиды: $InNi_2$, $InNi_3$, In_3Ni_2, η-$In_{27}Ni_{10}$. При увеличении концентрации индия в композитах более 30 мас. % In на дифрактограммах появляются линии, соответствующие интерметаллидам Ni_3In и In_2Ni о возможности образования, которых свидетельствует фазовая диаграмма системы Ni-In [4].

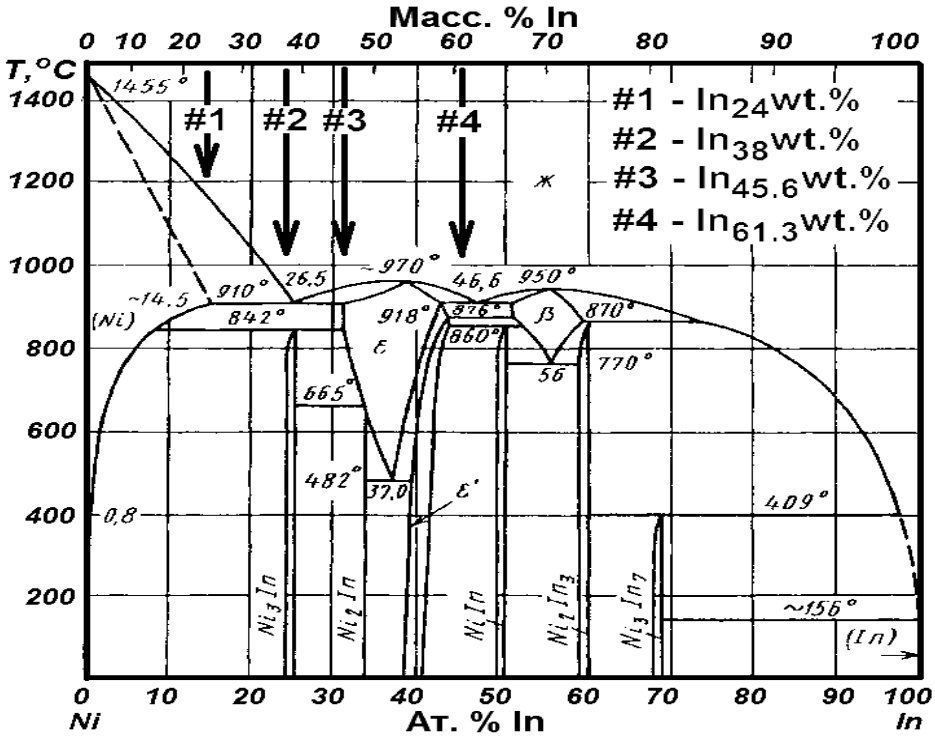


Рис. 1. Диаграмма фазового состояния системы Ni-In [3] и образцы, которые были приготовлены и исследованы: №1 - 24 мас. % In; №2 - 38мас. % In; №3 – 45,6 мас. % In; №4 – 61,3 мас. % In

При расшифровке рентгенограмм обнаружена фаза, соответствующая интерметаллиду η-$In_{27}Ni_{10}$. В диаграммах равновесного состояния, согласно [4], фаза η-$In_{27}Ni_{10}$ отсутствует. Ее отсутствие, по-видимому, связано с тем, что данная фаза является метастабильной. Однако если ориентироваться на данные американской международной организации, разрабатывающей и издающей добровольные стандарты для материалов, продуктов, систем и услуг ASTM International (American Society for Testing and Materials), то в композите Ni-In интерметаллидная фаза η-$In_{27}Ni_{10}$ с тетрагональной решеткой должна присутствовать (табл.1).

Таблица 1 – Зависимость фазового состава электрохимических композитов никель – индий от содержания индия

Номер образца	Содержание $In_2(SO_4)_3$ в электролите, г/л	Содержание индия в композите Ni-In в масс. %	Ni	$InNi_2$	$InNi_3$	In_3Ni_2	$In_{27}Ni_{10}$	In	InNi
1	2	24	+	+	+	+	+	-	-
2	4	38	+	+	+	+	+	+	-
3	8	45,6	+	+	+	+	+	+	+
4	12	61,3	-	+	+	+	+	+	+

Структура покрытий на атомном уровне анализировалась на сканирующем зондовом микроскопе Solver P47. При сканировании образца зонд перемещается вдоль поверхности, при этом напряжение на Z - электроде сканера соответствует рельефу поверхности.

На рис. 2. представлены результаты анализа на примере состава $In_2(SO_4)_3$ = 8 г/л.

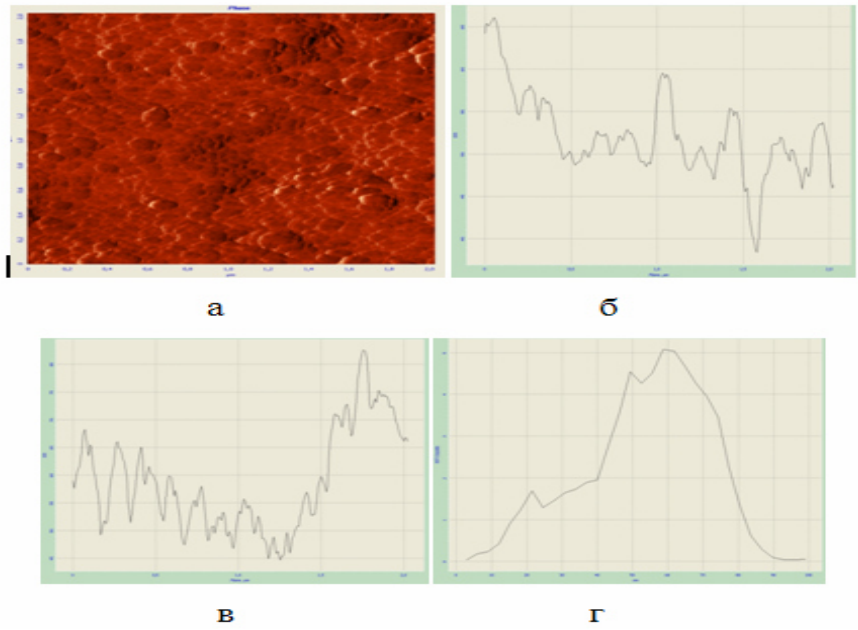


Рис.2. а – изображение поверхности в виде фазового контраста; б – профилограмма поверхности по оси *x*; в – профилограмма поверхности по оси *y*; г – гистограмма распределения неровностей поверхности

Из результатов исследования следует, что топология поверхности полученных пленок сильно развитая. Это можно связать с островковыми зародышами осаждаемой системы в начальные моменты времени. Напряженность электрического поля на выступающих участках - островками становится больше, чем над свободными участками от осадка катода. Рост катодной пленки в островковой части начинает опережать рост основной пленки, что приводит к возникновению развитой поверхности.

Рис. 2б. соответствует профилограмма по оси *x*, на ней представлен рельеф поверхности. По оси абсцисс отложена ширина изученной зоны, по оси ординат – высота зерна. Из рисунка видно, что при ширине изученной зоны (*l*) от 0 до 0,5 мкм, высота зерна (*h*) варьируется от 51 до 66 нм. При *l* = 0,5 - 1,0 мкм высота зерна составляет 49 - 57 нм, при *l* =1,0 - 1,5мкм *h* = 51 - 59 нм, при *l*= 1,5 - 2,0 мкм *h* = 46 - 54,5 нм.

На рис. 2в приведена профилограмма поверхности по оси *y*. По рисунку видно, что при *l* = 0 - 0,5мкм, высота зерна составляет 52 - 67,5 нм, при *l* = 0,5 - 1,0 мкм *h* = 49 – 59 нм, при *l* = 1,0 - 1,5 мкм *h* = 46 - 59 нм, при *l* = 1,5 - 2,0 нм *h* = 71 – 83 мкм.

Методом термодесорбционной масс-спектрометрии (ТДС) исследовалась кинетика развития спектра десорбции дейтерия из образцов системы Ni–In в зависимости от соотношения компонент. С целью уменьшения влияния фонового водорода, имеющегося в образцах и в камере мишеней, в экспериментах использовался изотоп водорода - дейтерий. Внедрение дейтерия и измерения спектров термодесорбции были выполнены на экспериментальной установке «СКИФ», детально

описанной в работе [5, 6]. Образцы размером 10×5 мм^2 крепились на фольги-нагреватели из тантала размером 5×45×0,1 мм^3. Измерение температуры осуществлялось вольфрам-рениевой термопарой ВР5/20, прикрепленной к нагревателю. Образцы подвергались имплантацией ионов дейтерия энергии 12 кэВ дозами в пределах 3×10^{17}–3×10^{18} D/см^2. Термодесорбционная спектроскопия - один из важнейших методов изучения взаимодействия газов с металлами, позволяет измерять температурные диапазоны десорбции газов, термодинамические параметры системы металл-газ в зависимости от концентрации внедренного газа.

Эксперименты по изучению термоактивированного газовыделения проводятся в измерительной камере № 1 установки «СКИФ». После достижения необходимой дозы внедрения газовых ионов в металлическую мишень пучок выключается, после чего образец нагреется по примерно линейному закону с помощью омического нагрева в диапазоне температур 80 ... 1800 К, а в отдельных случаях (для контроля) - до плавления образца. Температура мишеней, как отмечалось выше, измеряется с помощью термопары.

Никель–индий композиты в процессе изготовления электролитическим осаждением насыщаются водородом. Фактически, одновременно происходит два процесса: формирование никель–индий композита на медной подложке и его насыщение водородом. Проведены исследования по определению количества водорода, накопившегося в композитах в процессе их изготовления. С этой целью образцы помещали в камеру установки СКИФ и методом ТДС получены спектры десорбции водорода (рис. 3). Затем, после охлаждения образца, проведена имплантация водорода дозой 1×10^{17} Н/см^2 и регистрация этого спектра, как тестирующего для оценки количества водорода, накопившегося в композитах в процессе их изготовления. Суммарное количество водорода, выделившегося при нагревании из образца, определялась по площади фигуры, лежащей под кривой газовыделения.

Проведены оценочные расчеты количества десорбированного водорода из композитов №2 состава 38 мас. % In и №3 состава 45,6 мас. % In.

Из этого расчета следует, что в композите №3 после его изготовления находилось $1{,}14\times10^{18}$ атомов водорода, что соответствует формуле ат.Мет/ат.Н=2, а в композите №2 концентрация атомов водорода соответствует формуле ат.Мет/ат.Н=4.

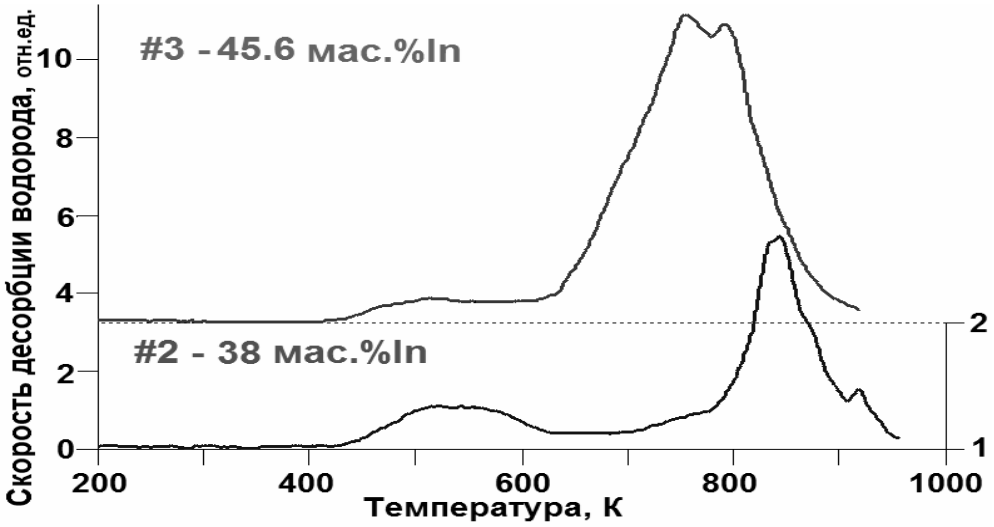


Рис. 3. Спектры термодесорбции водорода, выделившегося из композитов системы Ni–In: №2 - состава 38 мас. % In и (2); №3 - состава 45,6 мас. % In

Отметим, что температурный интервал десорбции водорода существенно отличается от температурных интервалов десорбции ионноимплантированного дейтерия. Вполне возможно, что десорбция водорода при температурах выше 650 К может быть обусловлена как десорбцией водорода и водородсодержащих газов из конструкций камеры измерений в процессе нагрева образцов, так и отжигом ловушек, удерживающих водород при температурах выше 650 К.

Далее в электрохимический композит методом ионной имплантации вводили изотоп водорода – дейтерий. Внедрение дейтерия в образцы производилось имплантацией ионов дейтерия энергии 12 кэВ дозами в пределах 3×10^{17}–3×10^{18} ат.D/см^2.Впервые возможность дополнительного введения водорода в электрохимическую систему рассмотрена в [5-8] и продолжена в этом проекте.На рис. 3 представлен спектр термодесорбции дейтерия, имплантированного в образцы композита $Ni_{70}In_{30}$ в зависимости от дозы имплантированного дейтерия и для одного фазового состава образца. Как видно на рис. 4, структура спектра ТДС дейтерия является функцией имплантационной дозы. При низких дозах имплантированного дейтерия в спектре присутствует один пик с температурой максимума ~530 К. Повышение дозыприводит к появлению нового низкотемпературного пика с температурой максимума ~420 К. При дальнейшем увеличении дозы температура максимума этого пика газовыделения постепенно смещается в область более низких температур.

Рост концентрации дейтерия приводит к образованию как твердого раствора дейтерия в композите $Ni_{70}In_{30}$ температура распада которого в вакууме ~530 К, так и гидрида температура распада которого ~350 К. При насыщении композита состава 45,6 мас. % In дейтерием с помощью ионной имплантации предельно достижимая концентрация дейтерия 2 ат.D/ат.Мет. Увеличение концентрации индия приводит к росту количества удерживаемого дейтерия в композите.

Таким образом, по нашим данным, водородная проницаемость никеля при наличии интерметаллидов индия в никеле уменьшается, так как в окрестности интерметаллида индия могут возникать напряжения растяжения и водород сегрегируется на границе этих соединений, что подтверждается данными термодесорбционного анализа.Результаты исследований проекта показывают принципиальную возможность синтеза материалов электрохимическим методом для дальнейшей разработки аккумуляторов для хранения водорода в металлогидридном состоянии без криостатных систем и последующего извлечения водорода при относительно невысоких температурах экстракции по сравнению с применяемыми металлургическими системами [7, 9].

Получены экспериментальные образцы и разработана технология получения образцов – электрохимические системы, с высокой способностью к аккумулированию водорода и последующим его хранением в виде гидридов металлов (рис. 5).

Характеристика опытных образцов: Площадь 0,24 дм^2, толщина слоя электрохимической системы никель-индий-водород 8 мкм (10^{-6} м) в этом образце 5,3 % вес. водорода, (расчет выполнен в соответствии с рис. 4). Температура экстракции водорода от 150 до 450 ^{o}C. Геометрическая форма – лента.

Возможны различные варианты комбинаций элементов по химическому составу, что расширит спектр используемых материалов для хранения водорода. Кроме этого возможны различные геометрические формы образцов: лента, стержень, шар.

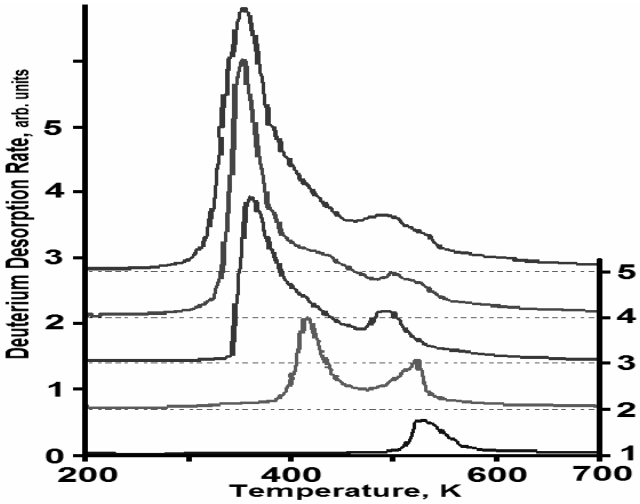


Рис. 4. Спектры термодесорбции дейтерия, имплантированного в образцы композита $Ni_{70}In_{30}$: 1 - 3×10^{17} D/см^2; 2 – 7.5×10^{17} D/см^2; 3 – 1.3×10^{18} D/см^2; 4 - 2×10^{18} D/см^2; 5 - 3×10^{18} D/см^2

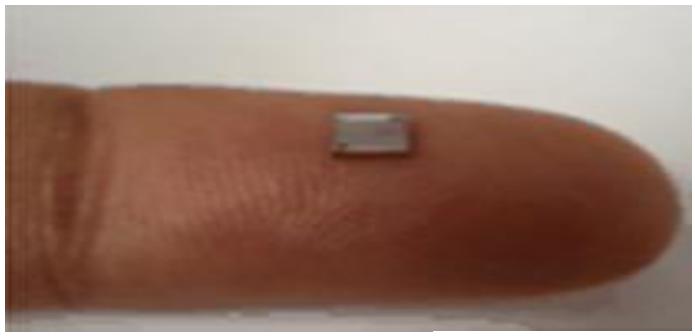


Рис. 5. Пример внешнего вида аккумулятора. Размеры образца, насыщенного водородом, электрохимическим методом

В ходе работы над проектом были достигнуты следующие основные результаты:

1. Экспериментально доказано, что формируя структуры определенной степени дефектности (за счет структурных и примесных ловушек или интерметаллидов индия) можно изменять свойства металлов к аккумулированию водорода.

2. Предложенный эффект «изменение структуры за счет формирования в ней водородных ловушек – изменение способности к поглощению водорода металлами» может быть использован для реализации управления водородной проницаемости металлов и, в конечном счете, создания материалов – накопителей водорода.

3. Разработана лабораторная методика синтеза электрохимических композитов никель-индий для аккумулирования водорода. Определен химический состав материалов на основе никеля, способных аккумулировать водород и удерживать его за счет структурных, примесных ловушек в структуре металла и подобраны режимы их синтеза.

4. Синтезированы образцы площадью 24 см^2, толщиной слоя электрохимического композита не менее 8-10 мкм (10^{-6} м). Композиты никель-индий-водород могут содержать до 8 % вес. водорода.

Получен патент на изобретение № 2608193 «Устройство для изменения траектории астероида, ядра кометы и других космических объектов». Заявка № 2015128741. Дата подачи заявка 14.07.2015. Решение о выдаче патента от 02.11.2016. Патент отличается от аналогов применением в качестве ударного тела - термоизолированного контейнера с гидридом металла, полученного

электрохимическим способом, или на основе никелевой матрицы, имеющей различные варианты насыщения их водородом [10].

Работа выполнена по Договору (Соглашению) №№9856ГУ/2015от 24.02.2016 ВГТУ.

Список литературы: 1. Звягинцева А.В. Электроосаждение покрытий никель – индий из сульфатно-хлоридного электролита /А.В. Звягинцева, А.И. Фаличева //Гальванотехника и обработка поверхности. – М., 1994. – т. 3 - №5 - 6. С. 47 - 51. **2.** Звягинцева А.В. Физико-механические и коррозионно-электромеханические свойства никелевых покрытий, легированных индием /А.В. Звягинцева, А.И. Фаличева // Гальванотехника и обработка поверхности. – М., 1994. – т. 3 - №5 - 6. С. 52 - 54. **3.** Звягинцева А.В. Структурно-фазовые изменения в электрохимических системах Ni-Jn /А.В. Звягинцева//Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». - 2013. - Том 26 (65). – № 3. - С. 253-260. **4.** Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник, ред. Н.П. Лякишев, том 3, кн. 1. М.: Машиностроение. 2001, 872 с. **5.** Zvyginceva A.V., Morozov O.M., Zhurba V.I., Progolaieva V.O. Effects of Deuterium Concentration on Deuterium Desorption TemperatureRange from Ni - In Composites. Scientific Journal. Proceedings of the international conference. nanomaterials: applications and properties. Vol. 2 No 1. **6.** Звягинцева А.В. Температурные интервалы десорбции дейтерия из Ni–In композитов [Текст] /А.В.Звягинцева,А.Н. Морозов, И.М. Кирьян //Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами. IHISM´14. Сборник докладов Пятой Международной конференции и Девятой Международной школы молодых ученых и специалистов им. А.А. Курдюмова ///Под ред. Д-ра техн. наук А.А. Юхимчука. Саров: ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», 2015. - С. 106-119. **7.** Звягинцева А.В. Способность материалов на основе никеля наноразмерного диапазона к аккумулированию водорода [Текст] /А.В. Звягинцева //Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». - Саров: НТЦ «ТАТА». - 2015. - №21 (185). - С. 150-155. **8.** Артемьева А.О. Разработка гибридных функциональных материалов на основе никеля /А.О. Артемьева, А.В. Звягинцева //Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые и граф. данные (25 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016. – С. 113-11. **9.** Звягинцева А.В. Определение водородной емкости структурных дефектов [Текст] / А.В. Звягинцева //Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». - Саров: НТЦ «ТАТА».- 2015. - №21 (185). - С. 145-149. **10.** Артемьева А.О., Звягинцева А.В. Патент на изобретение № 2608193 «Устройство для изменения траектории астероида, ядра кометы и других космических объектов». Заявка № 2015128741. Дата подачи заявка 14.07.2015. Решение о выдаче патента от 02.11.2016.

СПОСОБ ЭФФЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ И ДЕГАЗАЦИИ ВОСЬМИОСТНЫХ ЦИСТЕРНОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Звягинцева А. В., Самофалова С. А. *(Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)*
E-mail: zvygincevaav@mail.ru, malinka.alya8@yandex.ru

Abstract: *The issues of transportation of petroleum products in railway transport are considered and an analysis of environmental pollution is carried out on the example of a specific facility in the city of Voronezh. Surface concentrations for hydrogen sulfide (H_2S), formaldehyde (CH_2O), benzene (C_6H_6), toluene (C_7H_8), as well as the total amount of hydrocarbons have been calculated. The results of the calculations showed that the total emission during the washing of railway tanks is 1293.12 tons per year for the city of Voronezh. To ensure the safety and quality of atmospheric air in the city of Voronezh, it is proposed not to carry out a temporary and permanent dislocation of railway tanks carrying petroleum products, on the territory of the city. An alternative point of planned parking, refueling and control of such railway trains may be the town Povorino in the Voronezh Region. A method for degassing of eight-axle tanks is proposed, which makes it possible to increase the dispersing and washing capacity of washing solutions. The method is based on the use of a mixture of non-ionic surfactants, sodium carbonate and bleach.*

Key words: *hydrogen sulfide, formaldehyde, benzene, toluene, total emissions, monitoring, rail transportation, air pollution, eight-axle tank.*

Вблизи стоянок железнодорожного (ЖД) транспорта отмечается нарушение качества воздушного бассейна и превышение нормативов ПДК (предельно допустимая концентрация) [1] для ряда легколетучих соединений, что связано с миграцией загрязнений с поверхности цистерн в газовую фазу [2]. Важнейшей эколого-аналитической задачей является контроль качества воздуха в случае аварийных выбросов токсических веществ, что рассмотрено в работах [3-7]. Целью настоящей работы является – оптимизация обеспечения безопасности по транспортировкам нефтепродуктов на железнодорожном транспорте.

Высота источника выброса (цистерны) не превышает 10 м над уровнем земли, поэтому выбросы считаются низкими и наиболее опасными в случае аварий (когда концентрация ЗВ (загрязняющих веществ) во много раз превышает ПДК (предельно допустимую концентрацию)). В этой связи необходимо проводить расчет приземных концентраций ЗВ от аварийных источников, в том числе их валового выброса. Расчет выполнен по «Методике проведения инвентаризации выбросов ЗВ в атмосферу для ЖД предприятий» [1]. Исходя из класса опасности загрязняющих веществ, содержащихся в нефтепродуктах, их летучести и аккумулятивного воздействия на здоровье людей, живущих в близи стоянок ЖД цистерн, в качестве приоритетных веществ, подлежащих контролю, выбрали следующие соединения: сероводород (H_2S),формальдегид (CH_2O), бензол (C_6H_6), толуол (C_7H_8), а также суммарное содержание углеводородов.

По результатам расчета можно делать вывод о целесообразности и экологической безопасности стоянки ЖД цистерн, перевозящих нефтепродукты, вблизи крупных населенных пунктов.

Массу аварийного выброса ЗВ, образующихся при взрыве или разгерметизации цистерны с нефтепродуктами, рассчитывали по формуле (1):

$$M_{H_2S} = 0{,}001 \cdot B \cdot K_{H_2S} \cdot Q_H^P = 75\ г/с \qquad (1)$$

$$M_{CH_2O} = 0{,}01 \cdot B \cdot K_{CH_2O} \cdot Q_H^P = 36{,}75\ г/с$$

где В – расход топлива, г/с; $К_{H_2S}$ – коэффициент, характеризующий выброс, на 1 МДж теплоты, кг/МДж для сероводорода и формальдегида соответственно; Q_H^P – низшая температура сгорания, МДж/кг.

Массу аварийного выброса бензола и толуола рассчитываем по формуле (2):

$$\begin{matrix} M_{C_6H_6} = B \cdot A_P \cdot f = 525 \text{ г/с} \\ M_{C_7H_8} = B \cdot A_P \cdot f = 595 \text{ г/с} \end{matrix}, \quad (2)$$

где В – расход топлива, г/с; A_P – зольность топлива на рабочую массу, %; f - коэффициент учитывающий скорость трансформации ароматических углеводородов в воздухе.

Масса выброса суммарного количества углеводородов рассчитывается по формуле (3):

$$M_{Сум.Угл.} = g \cdot m \cdot \chi = 1375 \text{ г/с} \quad (3)$$

где g – зольность топлива, %; m – расход топлива, г/с; χ – коэффициент.

После расчета массы аварийного выброса ЗВ, образующихся при взрыве или разгерметизации цистерны с нефтепродуктами, проводили расчет рассеивания данных токсических веществ атмосферным воздухом.

При расчете рассеивания ЗВ от аварийного источника проводят расчет приземных концентраций по формуле (4):

$$C_A = \frac{A \cdot M \cdot \tau}{x^3}, \quad (4)$$

где C_A – приземная концентрация, мг/м^3 (в зоне жизнедеятельности населения); А – безразмерный коэффициент: А = 110; М – масса выброшенных веществ, г/с; τ – продолжительность выброса для всех веществ примем равную 10 с; x^3 – расстояние от источника до расчетной точки, м.

Проведены расчеты приземных концентраций для сероводорода (H_2S), формальдегида (CH_2O), бензола (C_6H_6), толуола (C_7H_8), а также содержание суммарного количества углеводородов [1, 2]. Сравнивая полученные в ходе расчетов значений C_A со значением ПДК, имеющихся для этих веществ, можно сделать вывод о том, что по всем направлениям света ПДК веществ достигается только на расстоянии более 1000 м. Графически полученные данные представим в виде карт-схем распространения ЗВ по всем направлениям света (рис. 1-3).

По результатам расчета и построения карт-схем можно сделать вывод о том, что в случае разрушения цистерн с нефтепродуктами, от 90 до 95 % объектов хозяйственной деятельности окажутся в зоне значительного превышения ПДК. От 2 до 300 раз превышения ПДК по наибольшей опасности токсикантами, содержащихся в нефтепродуктах – сероводород, формальдегид, бензол, толуол, а также по суммарному содержанию углеводородов. Суммарная нагрузка населения за сутки вследствие загрязнения воздушной среды по направлениям: северо-запад, север, северо-восток, юг и юго-запад максимальна. Люди, живущие в этих направлениях, от железнодорожного вокзала подвергаются наибольшей интоксикации вредными веществами, которые мигрируют с поверхности вагонов.

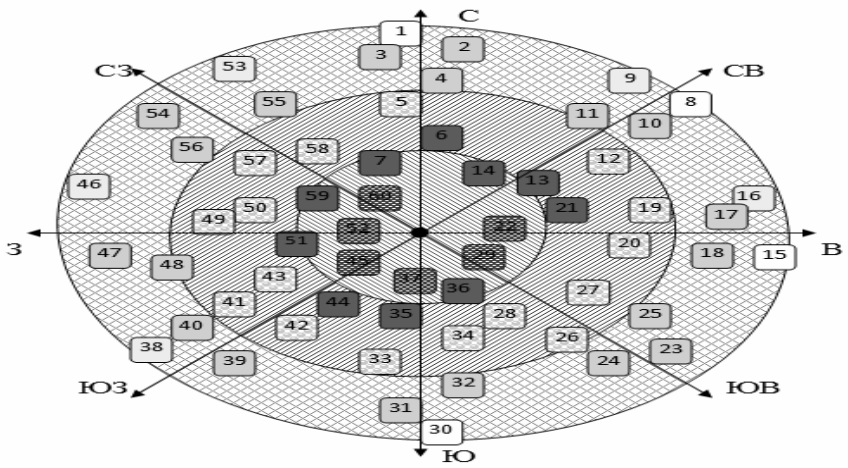


Рис. 1. Карта-схема распространения сероводорода при разрушении или взрыве цистерн с нефтепродуктами:

- объект, для которого в случае аварии C_A>ПДК в 300 раз; - объект, для которого в случае аварии C_A > ПДК в 100 раз; - объект, для которого в случае аварии C_A > ПДК в 50 раз; - объект, для которого в случае аварии C_A > ПДК в 10 раз - объект, для которого в случае аварии C_A > ПДК в 2 раз; - объект, для которого в случае аварии $C_A \cong$ ПДК; ● - место временной стоянки ЖД цистерн с нефтепродуктами; - соответствует 300 м от места стоянки цистерны; - соответствует 650 м от места стоянки цистерны; - соответствует 995 м от места стоянки цистерны

При использовании четырехосных цистерн для перевозки нефтепродуктов и других химических грузов на дорогах были разработаны специальные технологические устройства для их промывки и пропарки.

Однако существующая система обработки для четырехосных цистерн оказалось неэффективной при обработке восьмиосных цистерн [1]. В восьмиосных цистернах имеются два люка с теми же размерами, но из-за размещения их центральной части котлов рядом друг с другом (расстояние между ними не превышает 1–1,5 м) образуются огромные пространства днищевых отсеков длиной 4 м, трудно поддающиеся очистке, промывке и особенно дегазации существующими способами. В этой связи актуальной инженерной задачей является разработка новейших методов дегазации котлов восьмиосных цистерн от паров нефтепродуктов. Широкое распространение для мойки и очистки ЖД цистерн получили синтетические моющие средства (СМС), основу которых составляет ПАВ и щелочные соли. При использовании СМС в газовую фазу выделяются аэрозоль кальцинированной соды, а при использовании керосина – его пары [3, 4].

Произведен расчет валовых выбросов загрязняющих веществ при мойке и дегазации восьмиосных ЖД цистерн $M_м$ т/год по формуле:

$$M_м = g \cdot F \cdot n \cdot t \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \quad (5)$$

где g – удельное выделение ЗВ, г/с·м^2; F – площадь моечной территории, м^2; n – число моек в год, часы; t– время мойки в день, часы. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

$$M_{м1} = 0.0433 \cdot 500 \cdot 2000 \cdot 8 \cdot 3600 \cdot 10^{-6} = 1247.04 \text{ т/год}.$$
$$M_{м2} = 0.0016 \cdot 500 \cdot 2000 \cdot 8 \cdot 3600 \cdot 10^{-6} = 46.08 \text{ т/год}.$$
$$M_{м} = M_{м1} + M_{м2} = 1247.04 + 46.08 = 1293 \text{ т/год}.$$

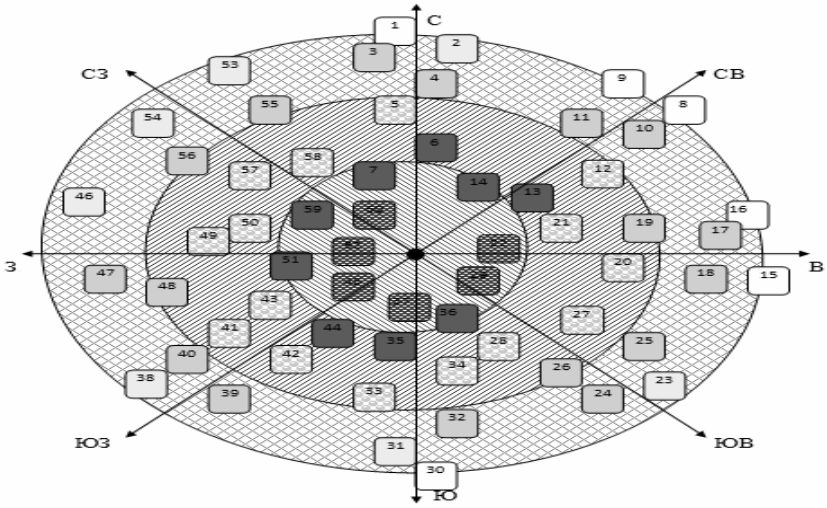


Рис. 2**.** Карта-схема распространения бензола при разрушении или взрыве цистерн с нефтепродуктами

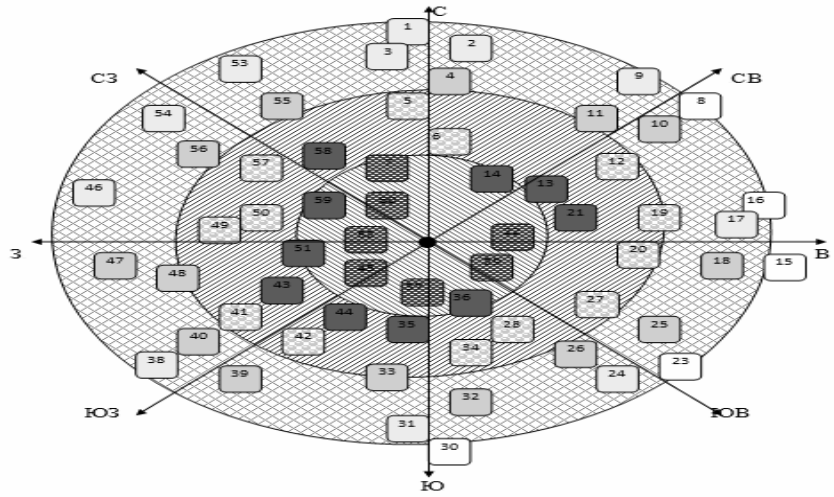


Рис. 3. Карта-схема распространение суммарных углеводородов при разрушении или взрыве цистерн с нефтепродуктам

Таблица 1. Исходные данные для расчета валового выброса

Вид выполняемых работ	Наименование применяемого вещества	ЗВ		Площадь моечной территории, $м^2$	Число моек в год, часы	Время мойки в день, часы
		Наименование	g, $г/с \cdot м^2$			
Мойка цистерн	Керосин	Керосин	0,0433	500	2000	8
Мойка подводящих патрубков и передвижных узлов	Лабомид 101, 202, 203, Темп 100Д и тд.	Na_2CO_3	0,0016	500	2000	8

Получили, что суммарный выброс $M_м$ при мойке ЖД цистерн составляет 1293,12 т/год для г. Воронеж. Для сравнения аналогичные параметры для г. Липецк, составляет 832,2 т/год. Учитывая неблагоприятную экологическую ситуацию в г. Воронеже следует изменить число моек или отказаться от них на территории города.

Нами предлагается новый способ дегазации восьмиосных цистерн, позволяющий повысить диспергирующую и моющую способность промывных растворов. Способ основан на использовании смеси неионогенных поверхностно-активных веществ, карбоната натрия и хлорной извести, которая подается под давлением 7-8 атмосфер при температуре 150 ˚С, объем оборотной смеси составляет 20 м^3 на одну цистерну [3, 4].

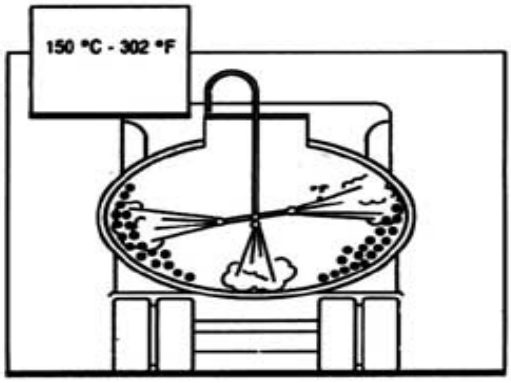


Рис. 4. Схема дегазации котла цистерны

В работе разработано предложение по внедрению нового метода дегазации цистерн с нефтепродуктами и применению мобильного устройства для отбора и анализа газовых проб, а также инспектирования опасных участков территорий и объектов.

Очищающую способность дегазатора (*X*), смытое количество загрязнителя, в процентах, рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{A_1 - A_2}{A_1 - A} \cdot 100\%, \qquad (6)$$

где *A* - масса чистой пластинки, г; A_1 - масса пластинки с загрязнителем, г; A_2 - масса пластинки после удаления загрязнителя, г.

Испытания проводили на примере очистки пластины площадью 10*10 см^2 от остаточного содержания мазута (имитация реальных условий дегазации в котле). За результат принимают среднее арифметическое двух параллельных определений, расхождение между которыми не должно превышать 0.5 абс. %. Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2. Очищающая способность предложенного дегазатора

Метод отмывания	Время контакта с раствором, мин	Температура, °С	Степень очистки, %
Погружением с барботажем	15	55 ± 5	96

Деэмульгирующую способность (Д) предложенного раствора рассчитывали по формуле (7):

$$Д = \frac{V_1}{V_2} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где V_1- объем мазута, взятого для анализа, мл; V_2- объем выделенного обводненного мазута, мл. Физико-химические показатели дегазационного раствора (таблица 3).

Таблица 3. Физико-химические показатели дегазирующего раствора

Наименование показателя	Характеристики нормы
pH	10,0 – 11,0
Пенообразующая способность	Исчезновение пены после встряхивания р-ра, нагретого до t=55± 5°С 1 мин., не более
Очищающая способность, %	95
Деэмульгирующая способность, %	91
Качественная реакция на присутствие неионогенного ПАВ	Появление мути или осадка коричневого или красно-коричневого цвета

Таким образом, применение для очистки и дегазации восьмиосных цистерн предлагаемой смеси позволит повысить адгезию нефтепродуктов поверхностью капель раствора и его прохождение в днищевые отсеки, трудно поддающиеся очистке. Кроме того, к значительным достоинствам применения предлагаемого раствора относится возможность его повторного и многократного использования за счет регенерации из углеводородной эмульсии. При отстаивании смеси происходит постепенное расслоение двух зон: более тяжелая углеводородная фракция оседает на дно, а моющая скапливается на поверхности. Данный метод дегазации цистерн с нефтепродуктами представляет собой новый способ дегазации восьмиосных цистерн, позволяющий повысить диспергирующую и моющую способность промывных растворов (рис. 4). Способ основан на использовании патентованной смеси неионогенных поверхностно-активных веществ, карбоната натрия и хлорной извести. Применение раствора является не только инженерно, но и экономически оправданным.

Выводы и инженерно-технические мероприятия:

1. Рассмотрены вопросы транспортировки нефтепродуктов на железнодорожном транспорте и проведен анализ загрязнения окружающей среды на примере конкретного объекта в городе Воронеж. Проведены расчеты приземных концентраций для сероводорода (H_2S), формальдегида (CH_2O), бензола (C_6H_6), толуола (C_7H_8), а также содержание суммарного количества углеводородов. Результаты расчетов показали, что суммарный выброс при мойке железнодорожных цистерн составляет 1293,12 т/год для г. Воронеж.

2. Установлено, что в случае разрушения цистерн с нефтепродуктами, от 90 до 95 % объектов хозяйственной деятельности окажутся в зоне значительного превышения ПДК (от 2 – 300 раз превышения ПДК) по наибольшей опасности токсикантами, содержащихся в нефтепродуктах - сероводород, формальдегид, бензол, толуол, а также суммарное содержание углеводородов.

3. Предлагается способ дегазации восьмиосных цистерн, позволяющий повысить диспергирующую и моющую способность промывных растворов. Способ основан на использовании смеси неионогенных поверхностно-активных веществ, карбоната натрия и хлорной извести. Применение для очистки и дегазации восьмиосных цистерн предлагаемой смеси позволит повысить адгезию нефтепродуктов поверхностью капель раствора и его прохождение в днищевые отсеки, трудно поддающиеся очистке. Кроме того, к значительным достоинствам применения предлагаемого раствора относится

возможность его повторного и многократного использования за счет регенерации из углеводородной эмульсии.

4. Инвентаризация, проведенная на предприятии, выявила, что мойка цистерн относится к ОАО «Российские железные дороги», контроль над данным предприятием ведется им же и регламентируется паспортом безопасности. Рассматриваемый объект попадает под критерии потенциально опасных объектов, согласно Федеральному закону от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Экологический контроль над предприятием ОАО «Российские железные дороги» и конкретно мойка цистерн осуществляется самим предприятием и сам объект находится под наблюдением Государственного пожарного надзора МЧС России.

Список литературы: 1. ГОСТ Р 22109-2005. «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг аварий на железной дороге». Принят и введен в действие постановлением Госстандарта России от 25 мая 2005. – 181 с. **2.** Золотов, Ю.А. Химические тест-методы анализа [Текст] / Ю.А. Золотов, В.М. Иванов, В.Г. Амелин. – М.: Химия, 2008. – 290 с. **3.** Обеспечение безопасности по транспортировкам нефтепродуктов на железнодорожном транспорте [Текст] /А.В. Звягинцева, А.С. Самофалова //Proceeding soft he Fifth International Environmental Congress (Seventh International Scientific Technical Conference) "Ecology and Life Protection of Industrial-Transport Complexes" ELPIT 2015 16-20 September, 2015 Samara-Togliatti, Russia: Publishing House of Samara Scientific Centre, 2015.V. 5 Scientific symposium "Urban Ecology. EcologicalRisksofUrbanTerritories" – 307 p. С. 149-154. **4.** Самофалова А.С., Звягинцева А.В. Методы контроля безопасности воздушного бассейна при стоянках железнодорожных вагонов с нефтепродуктами [Текст] /А.В. Звягинцева, А.С. Самофалова //Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сб. ст. по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 15-16 декабря 2015 г.: в 2-х ч. Ч. 1, 2 / ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2015. С. 191-195. **5.** Самофалова А.С., Звягинцева А.В. Оценка содержания выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и факторов, влияющих на их распределение, при стоянках железнодорожных цистернс нефтепродуктами /Физическая и коллоидная химия – основа новых технологий и современных методов анализа в химической и пищевой промышленности [Текст]: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 120-летию со дня рождения С.Е. Харина /под общ. ред. проф. Т.А. Кучменко; Воронеж. Гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. - 414 с. – С. 370-374. **6.** Самофалова А.С., Звягинцева А.В. Проблемы обеспечения экологической безопасности при транспортировке нефтепродуктов железнодорожным транспортом / Фундаментальные проблемы системной безопасности: материалы III школы- семинара молодых ученых 26-28 мая 2016 г.: в 2 частях. Ч. II. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2016. – 251 с. – С. 242-247. **7.** А.С. Самофалова, М.В. Вербицкая, А.В. Звягинцева. Мониторинг безопасности воздушного бассейна при эксплуатации железнодорожных вагонов с нефтепродуктами.Академические Жуковские чтения. Системы гидрометеорологического, экологического и специального мониторинга: методологические аспекты повышения качества функционирования: в 2 т. Т. 2. Методологические основы создания и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами: [текст] / Сб. науч. ст. по материалам IV Всероссийской науч.-практ. конф. «Академические Жуковские чтения» (23–24 ноября 2016 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. – 176 с. – С. 16-20.

ФОРМИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ НИКЕЛЕ В ПРИСУТСТВИИ БОРА И ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

Звягинцева А.В. (Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)
E-mail: zvygincevaav@mail.ru

Abstract: *The paper demonstrates methods of forming Ni-B composite structures and Ni-In with a high degree of defectiveness synthesized by an electrochemical method. An electrochemical process for the preparation of Ni_x-B_y-H_z composites is described using nano-forming boron additives. The hydrogen content in the samples Ni_x-B_y-H_z, measured by the vacuum extraction method, was 600 cm^3/100g. For the first time in the practice of studying the sorption of hydrogen studies were carried out by introducing of deuterium into the electrochemical system in order to subsequently thermodesorbit.*
Key words: *nanostructured materials, nickel, boron, hydrogen, impurity and structural traps, ion implantation, hydrogen battery.*

Статистическая водородная усталость (СВУ), то есть снижение длительной прочности стали в результате водородной хрупкости в условиях статического нагружения металла, представляющая один из основных видов коррозионного разрушения ОЦК-сплавов на основе железа [1, 2], хорошо известна. При металлургическом способе производства её появление объясняется захватом газообразного водорода из атмосферы областями микроскопических пор, возникающих вблизи протяженных структурных дефектов металлов подгруппы железа таких, как дислокации и границы зерен, после завершения в отливках процесса кристаллизации.

В соответствии с современными физико-механическими представлениями о природе статической усталости металла для возникновения замедленного разрушения по механизму водородной хрупкости, обуславливающего СВУ, необходимо сочетание критических значений концентрации водорода, при достижении которых резко ослабляется связь в кристаллической решетке, и механических напряжений.

Один из возможных способов борьбы с хрупкостью металлов является захват водорода в ловушки [3], в качестве которых могут выступать вакансии, примесные атомы, дислокации, границы зерен, поры и многие другие структурные дефекты [4]. Современным направлением металловедения, обеспечивающим управление захватом водорода, является использование примесей замещения. Это направление металловедения получило название «водородная обработка материалов», интенсивно развивается в настоящее время [5].

Взаимодействие водорода с примесями в металлах может возникать по нескольким причинам. Наиболее существенные из них имеют упругую и электронную природу. К ним следует отнести: а) упругое искажение решетки, вызываемое растворенной в ней примесью; б) различие между взаимодействиями водорода с атомами матрицы и примеси. Остается дискуссионным вопрос о характере электронного состояния атома водорода в металле.

Гидриды и интерметаллические соединения даже при нормальном атмосферном давлении содержат водород до 50–60 ат. %. Считается, и это один из основных постулатов структурной химии гидридов, многократно исследованный и экспериментально подтвержденный в ряде работ [6, 7]. В кристаллических решетках гидридов атомарный водород присутствует либо в виде «ионов» H^- [8] или H^+ [9], либо в виде атомов с высокой степенью ионизации $H^{\delta-}$ или $H^{\delta+}$, где $\delta \rightarrow 1$.

Однако доминируют две противоположные точки зрения: протонная модель (электрон атома H^0 переходит на свободные электронные уровни матрицы вблизи уровня Ферми, что приводит к положительному заряду иона H^+) и модель аниона (электроны матрицы захватываются низколежащими водородными уровнями, что приводит к возникновению отрицательно заряженного иона H^-) [10]. Исследование двух различных механизмов выходит за пределы настоящей статьи и не является предметом дальнейшего обсуждения.

Исследованиям взаимодействие водорода с примесями в металлах посвящено значительное количество публикаций, работы в данном направлении исследования продолжаются и будут продолжены в дальнейшем, это взаимодействие включает в себя ряд элементарных физико-химических процессов, недостаточно изученных в отдельности. Этим и объясняется наличие большого числа теорий, связанных как с исследованиями способности к растворимости водорода в металлах и сплавах, так и с установлением причинно-следственных связей между параметрами отдельных составляющих, образующих систему, и конечным продуктом различного функционального назначения. Этот продукт может быть представлен либо в виде изделий с повышенной коррозионной устойчивостью, либо в виде экрана, обеспечивающего снижение водородной проницаемости в активной зоне, либо в качестве фильтра или накопителя водорода.

Следует отметить, что большинство накопленных к настоящему времени сведений, полученных из цитируемых публикаций и выдвинутых различными авторами, базируются на исследованиях физико-химических свойств металлов и сплавов, полученным металлургическим способом.

В данной работе предметом исследования являются композиты Ni-B и Ni-In с оптимальной степенью дефектности, полученные электрохимическим методом.

Физико-механические свойства электролитических сплавов существенно отличаются от свойств их составляющих чистых металлов и металлургических сплавов. Это связано с их структурой. Для ряда сплавов их фазовая структура соответствует диаграмме состояния металлургических сплавов. Однако для электролитических сплавов характерно образование пересыщенных твердых растворов на основе более электроположительного компонента, изменение границ существования отдельных промежуточных фаз или их отсутствие. Поэтому электролитические сплавы обычно находятся в неустойчивом термодинамическом состоянии, их фазовая структура и свойства, по сравнению с металлургическими сплавами, изменяются после прогрева. Так, большое число дефектов в структуре электролитических сплавов приводит, например, к их повышенной микротвёрдости. При образовании твёрдых растворов и интерметаллических соединений, как это характерно для металлических систем, их микротвёрдость и электрическое сопротивление возрастают [5]. Ещё одной особенностью структуры электролитических покрытий является их большая неоднородность на макро - и микроуровнях [12]. Эти неоднородности представлены в виде дефектов структуры, по которым, в основном, осуществляется взаимодействие водорода с металлом.

В работе использованы результаты исследований диффузии водорода в композитах Ni-B, взятые из источников [12-19].

Интерес представляет взаимосвязь структурных изменений, происходящих в никеле за счет внедряемого бора, с количеством включаемого водорода, поэтому были проведены исследования влияния структуры на окклюдирующую способность металла. Эта способность оценивается с позиции изменения количества дефектов в структуре металла [20, 21]. Для более качественного сравнения на рис. 1 изображена кривая (кр. 1) некого гипотетического сплава с нарастающей дефектностью и зонами структурного

состояния. В данной работе представлены новые уточненные данные о влиянии структуры на окклюдирующую способность композитов Ni-B, полученных методом электрокристаллизации.

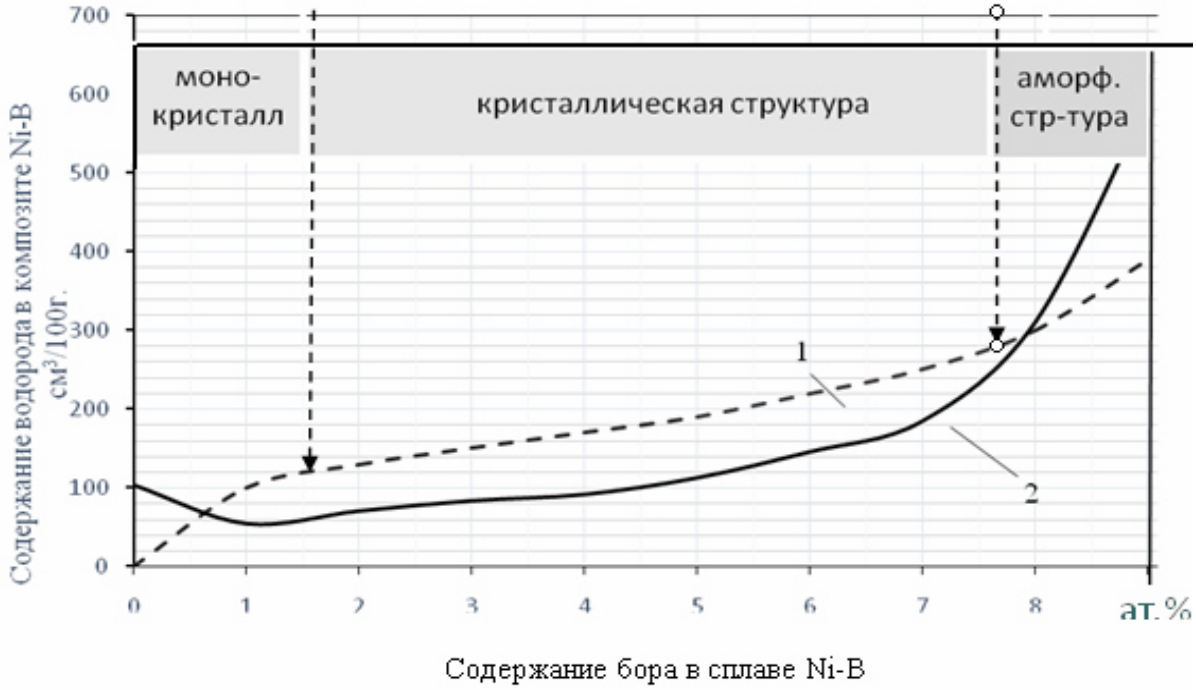


Рис. 1. Закономерность изменения способности к окклюзии водорода для электрохимических систем (металлов и сплавов): 1- гипотетический металл; 2 - электрохимический композит Ni-B-H

Для гипотетического металла при переходе от чистого монокристалла к аморфной структуре увеличивается степень дефектности структуры и повышается вероятность поглощения водорода (рис. 1, кр. 1). В монографии [21], одной из первых работ по данной тематике, было предложено оценивать способность металлов и сплавов к окклюзии водорода структурными изменениями и насыщение водородом металла можно разделить на 3 этапа: монокристаллическое, кристаллическое и аморфное состояние. Повышение содержания водорода в аморфном состоянии металла, авторы связывают с увеличением степени дефектности структуры. Экспериментальным подтверждением гипотезы работы [21], явились результаты, представленные на рис. 1, кр. 2.

Закономерность изменения способности электрохимического композита Ni-B-H к окклюзии водорода отражена на рис. 1, кр. 2. При введении от 2 до 10 ат. % бора в никель происходит переход от кристаллической структуры (до 5 ат. %) к неявно выраженной кристаллической структуре (6-9 ат. %) с переходом к аморфной, что сопровождается увеличением экстрагируемого водорода из образца, содержание которого определялось методом вакуумной экстракции. В отличие от чистого никеля, при формировании композитов никель-бор, имеющих мелкокристаллическую структуру, скорость возникновения зародышей превалирует над скоростью их роста [16]. Синтез композитов, образующих сочетание элементов в виде мелких кристаллитов, создаёт условия для формирования внутренних конструкций с заметно возросшим числом дефектов на единицу объема металла, за счет возникновения в них структурных и примесных ловушек.

По сравнению с чистым никелем, введение бора с последующим возрастанием его концентрации в композите Ni-B вызывает увеличение содержания водорода.

Присутствие бора в сплаве обеспечивает повышенную прочность материала [16]. Бор в соединении с другими веществами не дает токсичных компонентов. Он увеличивает число дефектов, которые являются «ловушками» для атомов водорода. Число «ловушек» находится в зависимости от величины плотности катодного тока и содержания включаемого бора (влияние катодной плотности тока на формирование структуры композита Ni-B-H планируется рассмотреть в следующих публикациях). Такие системы характеризуются малым размером кристаллитов, и их характерной особенностью является наличие значительной доли межзеренных границ со своими структурными несовершенствами, которые служат оперативной зоной протекания процесса образования гидрида. Данный процесс развивается вначале на поверхности электрода, а затем, проникая глубже, продолжает распространение в его объемной структуре, создавая тем самым условия для увеличения энергетической емкости водородного накопителя, построенного на базе такого композита.

Сформировать электрохимическую систему, с оптимальной степенью дефектности, из однородного металла не представляется возможным, и если учесть, что однокомпонентные металлы как растворители водорода достаточно хорошо и всесторонне изучены, в данной работе экспериментально исследовались трёхкомпонентные структуры, представляющие собой электрохимический композит Ni-B-H с различной степенью заполнения промежуточных слоев атомами бора. На рис. 2 представлена модель образования электрохимических композитов на основе никеля, которая демонстрирует повышенную окклюдирующую способность образовавшейся системы (модель уточнена и исправлена в данной работе).

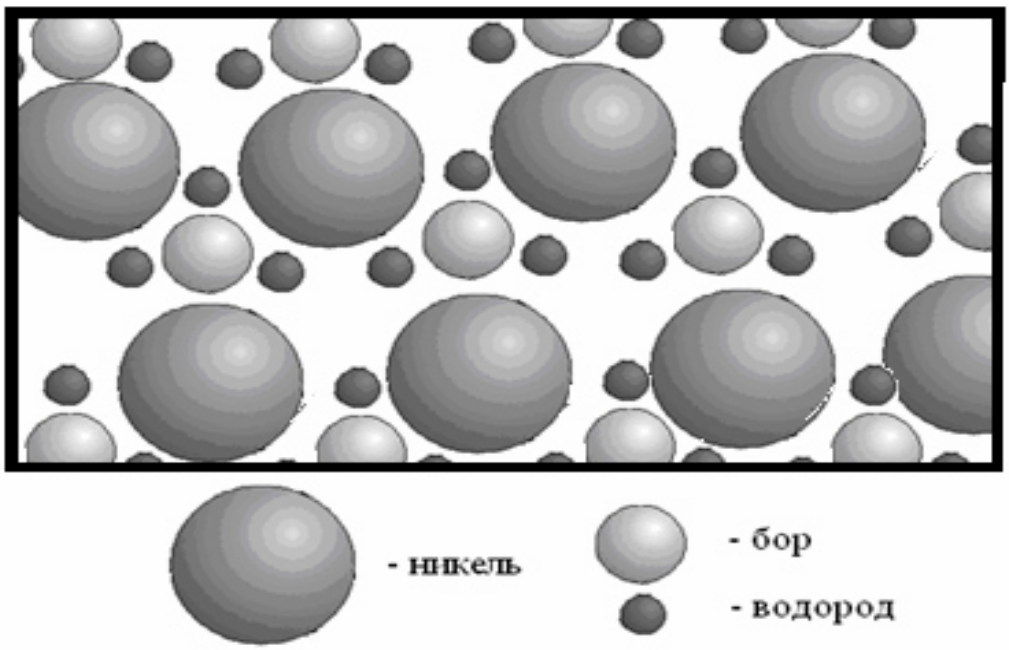


Рис. 2. Механизм образования электрохимических композитов с ограниченно растворимыми компонентами: гибридные металло-металлоидные структуры на основе никеля для аккумулирования водорода

Такая система обеспечивает не только эффективное аккумулирование водорода, но и полную экстракцию его под действием температуры. Одной из особенностей

сплавов такого типа является возможность регулирования температуры, при которой начинается процесс извлечения водорода из накопителя. Элемент бор легко образует соединения с водородом (боргидриды) различного химического состава. Внутренняя структура формируемой пористой системы имеет разветвленную форму с каналами внутри электрода, которые отличаются по сечению и протяженности. Водород образует сегрегации на дефектах кристаллической решетки никеля. Это приводит к возникновению температурного и концентрационного градиента, полей напряжения, создаваемых структурными дефектами. В конечном итоге происходит перераспределение диффузии водорода в электроде по скоростям. Возникает редукционный эффект, который полностью исключает взрывной характер экстракции и позволяет эффективно регулировать подачу энергии.

Дальше в работе методом термодесорбционной масс-спектрометрии исследовалась кинетика развития спектра десорбции дейтерия из образцов никеля и композита никель-бор (1 мас. % бора) в зависимости от дозы имплантированного дейтерия. С целью уменьшения влияния фонового водорода, имеющегося в образцах и в камере мишеней, в экспериментах использовался изотоп водорода – дейтерий. Предварительная имплантация образцов производилась ионами дейтерия с энергией 12 кэВ и плотности тока 5 мкА/см^2 в интервале доз 10^{17}–10^{18} D/см^2 при температуре образца $T_{обл.}$~100 К. Низкая температура выбрана для ограничения диффузионной подвижности дейтерия в образцах.

По мере увеличения дозы имплантированного дейтерия формируется четко выраженный пик с температурой максимума 325 К. Качественно кинетика развития спектра термодесорбции дейтерия (ТД) из образцов никеля и композитов никель-бор близка по структуре. Однако имеется существенное отличие, которое проявляется в том, что в спектре ТД из композита никель-бор пик с температурой максимума 325 К сильно размыт. Помимо этого формируется широкая по температурной шкале область десорбциии дейтерия в диапазоне температур 250-500 К.

Наличие протяженной по температурной шкале области десорбции дейтерия и размытие пика десорбции с температурой максимума 325 К свидетельствует о наличии аморфной фазы в композитах никель-бор.

Работа выполняется на кафедре химии ВГТУ на основе гранта «Разработка аккумулятора на основе гибридных функциональных материалов» к Договору (Соглашению) № №9856ГУ/2015 от 24.02.2016 г.

Список литературы: 1. Наводораживание металлов в электролитах / В.В. Кузнецов, Г.В. Халдеев, В.И. Кичигин – М.: Изд-во «Машиностроение», 1993. – 244 с. **2.** Белоглазов С.М. Наводороживание стали при электрохимических процессах. - Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1975. – С. 1- 412. **3.** Власов Н.М. Математическое моделирование водородной проницаемости металлов: монография /Н.М. Власов, А.В. Звягинцева. - Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2012. - 248 с. **4.** Пат. № 2529339 Российская Федерация. МПК ^{51}, B22D 27/02, C22F 3/02. Способ получения сплава с нарушенной структурой для аккумуляторов водорода. [Текст] /Звягинцева А.В., Голодяев А.И. Заявитель и патентообладатель - Звягинцева А.В. и Голодяев А.И.– 2013113425/02; заявл. 10.08.2013; опубл. 27.09.2014; бюл. № 27; - 4с. **5.** Progress in Hydrogen Treatment of Materials / Ed. By V.A. Goltsov. - Donetsk-Coral Gables: Kassiopeya Ltd., 2001. - 543 p. **6.** Яртысь В.А., Бурнашева В.В., Семененко К.Н. Структурная химия гидридов интерметаллических соединений //Успехи химии, 1983. - Т. 52. - Вып. 4. - С. 529-562. **7.** Яртысь В.А., Завалий И.Ю., Лотоцкий М.В. Абсорбенты водорода низкого давления на основе модифицированных оксидными добавками сплавов Zr-V и Zr-V-Fe /Координационная химия, 1992. - Т. 18. - Вып. 4. - С .409-423. **8.** Gibb T.R. Progress in

inorganic chemistry /Interscience L.; N.Y. - 1962. - 315 p. **9.** Ubbelode A.R. //J. Chem. Soc. - 1950. - P. 1143. **10.** Мирзаев Д.А., Мирзоев А.А., Ракитин М.С. Влияние легирования на термодинамичес- кие характеристики водорода в ОЦК-железе / Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy, 2016. - Vol. 16. - No. 4. - P. 40–53. **11.** Звягинцева А.В., Гусев А.Л., Шалимов Ю.Н. Кинетика процессов электрохимического наводороживания металлов в присутствии бора /Альтернативная энергетика и экология.- Саров: НТЦ «ТАТА». - 2009. - №4 (72). - С. 20-27. **12.** Звягинцева А.В., Гусев А.Л., Шалимов Ю.Н. Кинетика процессов электрохимического наводороживания металлов в присутствии бора /Альтернативная энергетика и экология.- Саров: НТЦ «ТАТА». - 2009. - №4 (72). - С. 20-27. **13.** Звягинцева А.В. Влияние бора на наводороживание никелевых плёнок /А.В. Звягинцева //Альтернативная энергетика и экология. - Саров: НТЦ «ТАТА». - 2006. - № 5. - С. 85-87. **14.** Звягинцева А.В. Исследование влияния бора на формирование электрохимических структур на основе никеля /А.В. Звягинцева //Международный журнал экспериментального образования. М.: Изд-во: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский Дом «Академия Естествознания»», 2012. - №9. - С. 27. **15.** Звягинцева А.В. Температурные интервалы десорбции дейтерия из Ni–In композитов /А.В. Звягинцева, А.Н. Морозов, И.М. Кирьян //Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами. IHISM´14. Сборник докладов Пятой Международной конференции и Девятой Международной школы молодых ученых и специалистов им. А.А. Курдюмова /Под ред. Д-ра техн. наук А.А. Юхимчука. Саров: ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», 2015. - С. 106-119. **16.** Звягинцева А.В. Взаимосвязь структуры и свойств гальванических никелевых покрытий, легированных бором, в изделиях электронной техники /А.В. Звягинцева //Гальванотехника и обработка поверхности. - М.: Изд-во Российского химико-технологического ун-та им. Д.И. Менделеева, 2007. - Т.XV. - №1. - С.16-22. **17.** Zvyagintseva, A.V. Interaction peculiarities of hydrogen and Ni-B galvanic alloys /A.V. Zvyagintseva //Carbon Nanomaterials in Clean Energy Hydrogen Systems. - Springer, 2008. - P. 437 – 442. **18.** Звягинцева А.В. Зависимость процессов взаимодействия металлов с водородом от структуры электрохимических систем /Звягинцева А.В. Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». -Симферополь: Изд-во Таврического национального ун-та им. В.И. Вернадского. - 2013. - Том 26 (65). - № 4. - С. 259-269. **19**. Zvyagintseva A.V. On the Stability of Defects in the Structure of Electrochemical Coatings [Текст] /A.V. Zvyagintseva, Yu.N. Shalimov //Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2014. - Vol. 50. - No. 6. - P. 466–477. **20.** Звягинцева А.В. Способность материалов на основе никеля наноразмерного диапазона к аккумулированию водорода. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». - Саров: НТЦ «ТАТА», 2015. - №21 (185). - С. 150-155. **21.** Судзуки К. Аморфные металлы: монография / К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото. - М.: Металлургия, 1987. - 328 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Аверченков В. И., Надуваев В. В., Фролов Е. Н.
ПРАВЯЩИЕ КАРАНДАШИ ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ …… **6**

Аглямов Р. Р., Бахарева В. И., Шестаков В. С..
АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА…….. **9**

Акопян Н. Х.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ МОДУЛЕЙ МИКРОМАНИПУЛЯТОРОВ С УПРУГИМИ ШАРНИРАМИ.……..... **12**

Алсайяд Т. Х. К., Першин В. Ф.
ДВИЖЕНИЕ ПОРЦИИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ПО ЦИЛИНДРИЧЕСКОМУ ЛОТКУ, СОВЕРШАЮЩЕМУ КРУТИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ …….. **16**

Аль-Саади Д. А. Ю., Першин В. Ф.
ДВИЖЕНИЕ МЕЛЯЩИХ ШАРОВ В ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ……..... **20**

Бахадиров Г. А., Абдукаримов А., Хусанов К., Набиев А. М.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛ В ВАЛКОВЫХ МЕХАНИЗМАХ МАШИН ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОЖ……. **24**

Бахадиров Г. А., Баракаев Н. Р., Бахадиров К. Г.
ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ МОБИЛЬНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ…….. **29**

Бахадиров Г. А., Набиев А. М.
КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ОПОРНЫХ ПЛИТ ВАЛКОВОЙ МАШИНЫ…… **32**

Болотский В. Н., Ильина А. А., Борзов Д. Б.
ДИНАМИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОГРАММ В ОДНОРОДНЫХ СЕТЕВЫХ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ…….. **36**

Болотских С. В., Ковеленов Н. Ю., Глумин М. Ю., Михайлов С. В.
РАЗРАБОТКА СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ТОЧЕНИЯ НЕРЖАВЕЮЩИХ СПЛАВОВ ……..... **40**

Бородавко В. И., Грецкий Н. Л., Пынькин А. М., Хейфец М. Л.
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПАКЕТА ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН СПРИМЕНЕНИЕМЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХТЕХНОЛОГИЙ ……...…… **43**

Бохонский А. И., Рыжков А. И.
КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ…….. **48**

Витренко В. А., Ефимов А. В., Кузнецова М. Н.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОСТРАНСТВЕННОМ СТАНОЧНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ…….. **54**

Волков И. В., Солодовник М. Д., Кузнецова М. Н.
ОЦЕНКА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ВНУТРЕННЕЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В ПРОЦЕССЕ ГАЗОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ……. **59**

Гиммельберг А. С., Егоров П. В., Чупраков М. В., Эрнандес А. Д., Жукова В. С.
РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ УКРУПНЕННЫХ ДЕАЭРАТОРОВ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ…….. **64**

Григорьева Н. С.
СТРУКТУРЫ ГИБКИХ МОДУЛЬНЫХ СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ ……. **68**

Гусев Е. Л.
МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА, ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ, ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК…….. **72**

Девойно О. Г., Кардаполова М. А., Луцко Н. И., Лапковский А. С.
ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И МИКРОТВЕРДОСТЬ В НАПЛАВЛЕННЫХ ЛАЗЕРОМ ВАЛИКАХ ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01 И БРОНЗЫ ПГ-19М-01…….. **76**

Девойно О. Г., Кардаполова М. А., Яцкевич О. К.
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРБИДАМИ, ПРИ ТРЕНИИ ПО СТАЛИ …….. **80**

Джура С. Г., Чурсинов В. И., Якимишина В. В.
КОРРЕКТРИРОВКА ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ВЫСШЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ……..…. **84**

Друзь О. Н., Житная С. В.
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО БЖД…….…… **88**

Еремин Е. Н., Лосев А. С., Бородихин С. А., Маталасова А. Е., Пономарев И. А., Филиппов М. Ю., Маркин А. А.
КОМПЛЕКСНОЕ УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ВЫСОКОХРОМИСТОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ПП-20Х14М2Б……. **90**

Ерицян Л. В., Арутюнян М. Г.
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРЕХНОЖЕВЫХ РЕЗАЛЬНЫХ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИН…… **94**

Ермишкин В. А., Соловьева Ю. Б., Минина Н. А., Кулагин С. П., Томенко А. К.
ВЛИЯНИЕ КРИОМЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ СПЛАВА В-9…….. **99**

Ермишкин В. А, Соловьева Ю. Б., Минина Н. А., Кулагин С. П.
УСЛОВИЯ РАВЕНСТВА ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПРИ МАКРОСКОПИЧЕСКОМ И МИКРОСКОПИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К ЕЕ ИЗМЕРЕНИЮ…… **105**

Жумагалиева Г. Б., Аль-Саади Д. А. Ю., Першин В. Ф.
ПУЛЬСИРУЮЩЕЕ ДВИЖЕНИЕ МЕЛЯЩИХ ТЕЛ В СТЕРЖНЕВОЙ МЕЛЬНИЦЕ…… **111**

Иванов И. Ю., Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Телиман И. В.
ОДНОКОВШОВЫЕ ЭКСКАВАТОРЫ – ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАРЬЕР…… **114**

Игнаткина Е. Л.
ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ ШАХТНЫХ ПОДВЕСНЫХ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ……. **118**

Калинин А. В., Мельникова Е. П.
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК ТРАНСПОРТНОЙ УПАКОВКИ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ И ХРАНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ…… **121**

Дьяченко О. В., Кардаполова М. А., Николаенко В. Л.
К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА…….. **126**

Коваленко В. И., Шахова И. А.
ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ…… **130**

Кругликов П. А., Смолкин Ю. В.
АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНОСФЕРА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ…… **133**

Кузнецова О. П., Юмаев Е. А., Макаров В. В., Тищенко Н. И.
ПОВЫШЕНИЕ РОЛИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ ОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОФИЛЯ …… **138**

Курбанов Х. К., Гурбанова М. Х., Ходжаев Дж. Н.
ТЕПЛООБМЕН И АЭРОДИНАМИКА НЕТРАДИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОНВЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА СВП…….. **142**

Лагунова Ю. А., Калянов А. Е., Майоров С. А.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРОБИЛЬНО-ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ..... **146**

Макаров В. Ф., Горбунов А. С., Сычев Р. В., Чернов Е. В.
ПРИМЕНЕНИЯ СБОРНЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ШЛИФОВАЛЬНО-ПОЛИРОВАЛЬНЫХ КРУГОВ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС……. **151**

Масюков И. И., Борзов Д. Б.
ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОГРАММ В СИСТЕМАХ НА КРИСТАЛЛЕ……. **154**

Махджубиан Масуд, Розоринов Г. Н.
МАГНИТОМЯГКИЕ СПЛАВЫ ДЛЯ СЕРДЕЧНИКОВ ГОЛОВОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В УСТРОЙСТВАХ СВЕРХПЛОТНОЙ ЦИФРОВОЙ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ…… **156**

Меликсетян Н. Г., Агбалян С. Г., Меликсетян Г. Н.
ФРИКЦИОННЫЙ ПЕРЕНОС ПРИ ТРЕНИИ БЕЗАСБЕСТОВЫХ ТОРМОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ…….. **160**

Мирзоалиев А. И., Мирзоалиев И. М., Убайдуллоев А. Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ГАЛТОВКЕ САМОЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ…….. **165**

Нагоркин М. Н., Фёдоров В. П., Ковалева Е. В., Пыриков И. Л.
ПАРАМЕТРЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО МИКРОПРОФИЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРИБОЭЛЕМЕНТОВ СОЕДИНЕНИЙ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ, ПОДВЕРГНУТЫХ КОМБИНИРОВАННОЙ АНТИФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ…… **170**

Настасенко В. А.
ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ СУДОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЕЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ……... **174**

Овсянников С. И.
ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОТОАГРЕГАТОВ…….. **181**

Пантелеенко Ф. И., Оковитый В. В., Асташинский В. А.
АНАЛИЗ И ВЫБОР ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ НАПЫЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ НА МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКРАНОВ ПРОТИВОМЕТЕОРНОЙ ЗАЩИТЫ…… **185**

Переверзев П. П., Акинцева А. В.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЦИКЛОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА…… **190**

Петров М. Г., Михайлов А.Н., Аль-Судани Т. Я. Т., Головятинская В. В.
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ……. **194**

Поветкин В. В., Керимжанова М. Ф., Татыбаев М. К., Букаева А. З.
РАЗРАБОТКА СПОСОБА И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ…….. **198**

Прейс В. В., Усенко К. С., Усенко Н. А.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ВИБРОРОТОРНОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА…….. **203**

Радин В. П., Щугорев В. Н., Щугорев А. В., Новикова О. В.
УСТОЙЧИВОСТЬ ШАРНИРНО ЗАКРЕПЛЕННОГО ТРУБОПРОВОДА…….. **207**

Ракунов Ю. П., Абрамов В. В.
АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ……... **212**

Рахимов Р. Р., Звездин В. В., Исрафилов И. Х., Саубанов Русл. Р., Звездина Н. М.
ПРЕЦИЗИОННАЯ ЛАЗЕРНАЯ ПРОШИВКА ОТВЕРСТИЙ МЕТАЛЛИЧЕКИХ ФИЛЬТРОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА……... **220**

Савин Л. А., Родичев А. Ю., Поляков Р. Н., Бабин А. Ю.
ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ: ОПОРЫ РОТОРОВ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ……. **224**

Сенють В. Т., Витязь П. А., Валькович И. В., Хейфец М. Л.
ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНОГО МОДИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ ШУНГИТОВОГО УГЛЕРОДА ДЛЯ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ И КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИХ ОСНОВЕ……... **228**

Скворцов А. И., Сергеева А. В.
ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ НА СООТНОШЕНИЕ УПРОЧНЕНИЯ И РАЗУПРОЧНЕНИЯ ЦИНКА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ…… **230**

Скляров В. Н.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ РОЛИКОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ…… **233**

Степанова Е. А.
ОТ РЫЧАГА ДО РОБОТА ……... **237**

Таскалиев А. Т., Монтаев С. А., Першин В. Ф.
ПРОИЗВОДСТВО ИСКУССТВЕННОГО ЩЕБНЯ ДЛЯ ГРАЖДАНСКОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА……. **241**

Фёдоров В. П., Нагоркин М. Н., Ковалева Е. В., Топорков М. П.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНДЕНТОРА С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ В ПРОЦЕССЕ ППД МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ…….. **245**

Федоров В. П., **Анкуда С. Н., Хейфец И. М.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА…… **249**

Цыркин А. Т.
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДИ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕЕ: ОТ ДРЕВНЕГО МИРА ДО СОВРЕМЕННСТИ…….. **254**

Цыркин А. Т.
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ……. **263**

Черных А. В.
ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА К УСТАНОВКАМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ С НИЗКОКИПЯЩИМ РАБОЧИМ ТЕЛОМ……... **272**

Шабайкович В. А.
СОВРЕМЕННОЕ МАЛОЗАТРАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ……. **276**

Шабалина Л. В.
ГРАНТ КАК ОДИН ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ……. **280**

Заплетников И. Н., Кириченко В. А.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДРИЯТИЙ ПИТАНИЯ МЕТОДОМ САМООРГАНИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ…….. **284**

Ивченко Т. Г., Лыхманюк Е. О.
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РЕЖИМОВ ТОНКОГО ТОЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД…… **289**

Михайлов А. Н., Костенко А. В.
МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ВЫБОРЕ МЕТОДОВ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ..... **293**

Вайнер Л. Г.
МОДЕЛИРОВАНИЕТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ ДОМИНИРУЮЩИХ ИДЕНТИФИКАТОРОВ ПРОЦЕССА……..... **298**

Дюбрюкс С. А., Борзов Д. Б.
РОЛЕВАЯ МОДЕЛЬ БЕСПРОВОДНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА..... **303**

Петросян Г. Л., Акопян Н. Г.
ОСОБЕННОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ПРЕДЕЛЬНОГО КОНТУРА В ЗАДАЧАХ ПЛОСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СПЕЧЕННОГО МАТЕРИАЛА…… **307**

Горобец И. А., Голубов Н. В., Ищенко А. Л., Голенков Е. А., Боровенский Е. А.
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РЕДУКТОРОВ……... **311**

Лапаева И. В., Каверина О. Г., Горобец И. А.
ИЗМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТА НАВЫКОВ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ ……..... **316**

Лапаева И. В., Горобец И. А., Каверина О. Г.
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСТАНОВОЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА КОЛЛЕКТИВНОГО ПРОЕКТА В СТУДЕНЧЕСКИХ ГРУППАХ……..... **319**

Лисковая Е. Н., Каверина О. Г.
МЕСТО ГУМАНИТАРНЫХ ДИСЦИПЛИН В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ СОВРЕМЕННЫХ ИНЖЕНЕРОВ…… **321**

Турманидзе Р. С., Попхадзе Г. З.
ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОЗДАНИЮ НЕОБХОДИМОЙ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ НА ФОНЕ ВЫЗОВОВ “ИНДУСТРИЯ – 4.0” С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ МОЛОДЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ……... **324**

Чугункин А. В., Пичко А. П., Хандожко А. В., Михайлов Д. А., Михайлов А. Н.
КОНСТРУКТИВНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ ОСЕВЫХ ЛЕЗВИЙНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ…… **333**

Костенко А. В., Навка И. П., Михайлов А. Н., Лукичев А. В.
ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ В УСЛОВИЯХ СМЕНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УКЛАДОВ…… **338**

Чернышёв Е. А., Витолиньш Д. А.
ЭВОЛЮЦИЯ ВЗГЛЯДОВ НА ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВИБРАЦИЙ ПРИ ТОЧЕНИИ…….. **341**

Лахин А. М.
ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС……. **344**

Druz O. N., Zhytnaya S. V.
HEAT TRANSFER AND AN ACTIVE ZONE FORMATION IN GAS-SHIELDED WELDING…….. **348**

Kaverina O., Prihodchenko K.
STAGE STRUCTURE “BACHELOR-MASTER-DOCTOR” IN THE UNIVERSITY EDUCATION MODERN SPACE……..... **353**

Prikhodchenko Y. I., Kapatsina N. N.
SOCIAL ASPECT OF BOLOGNA PROCESS……..... **357**

Аршакян А. Л., Егиазарян С. К., Чибухчян О. С., Баласанян Б. А.
ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ВДОЛЬ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ…….. **360**

Баласанян Б. С., Аршакян А. Л., Баласанян А. Б., Гараян А. В.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ АРМЕНИИ…….. **364**

Звягинцева А. В., Артемьева А. О.
ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ СИНТЕЗА МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЕЙ…… **369**

Звягинцева А. В., Самофалова С. А.
СПОСОБ ЭФФЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ И ДЕГАЗАЦИИ ВОСЬМИОСТНЫХ ЦИСТЕРНОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ…….. **377**

Звягинцева А. В.
ФОРМИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ НИКЕЛЕ В ПРИСУТСТВИИ БОРА И ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА…….. **384**

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Druz O. N. 348
Kapatsina N. N. 357
Kaverina O. 353
Prihodchenko K. 353
Prikhodchenko Y. I. 357
Zhytnaya S. V. 348
Абдукаримов А. 24
Абрамов В. В. 212
Аверченков В. И. 6
Агбалян С. Г. 160
Аглямов Р. Р. 9
Акинцева А. В. 190
Акопян Н. Г. 307
Акопян Н. Х. 12
Алсайяд Т. Х. К. 16
Аль-Саади Д. А. Ю. 20, 111
Аль-Судани Т. Я. Т. 194
Анкуда С. Н. 249
Артемьева А. О. 369
Арутюнян М. Г. 94
Аршакян А. Л. 360, 364
Асташинский В. А. 185
Бабин А. Ю. 224
Баласанян А. Б. 364
Баласанян Б. А. 360
Баласанян Б. С. 364
Баракаев Н. Р. 29
Бахадиров Г. А. 24, 29, 32
Бахадиров К. Г. 29
Бахарева В. И. 9
Болотский В. Н. 36
Болотских С. В. 40
Борзов Д. Б. 36, 154, 303
Боровенский Е. А. 311
Бородавко В. И. 43
Бородихин С. А. 90
Бохонский А. И. 48
Букаева А. З. 198
Вайнер Л. Г. 298
Валькович И. В. 228
Витолиньш Д. А. 341
Витренко В. А. 54
Витязь П. А. 228
Волков И. В. 59
Гараян А. В. 364
Гиммельберг А. С. 64
Глумин М. Ю. 40
Голенков Е. А. 311
Головятинская В. В. 194
Голубов Н. В. 311
Горбунов А. С. 151
Горобец И. А. 311, 316, 319
Грецкий Н. Л. 43
Григорьева Н. С. 68
Гурбанова М. Х. 142
Гусев Е. Л. 72
Девойно О. Г. 76, 80
Джура С. Г. 84
Друзь О. Н. 88
Дюбрюкс С. А. 303
Дьяченко О. В. 126
Егиазарян С. К. 360
Егоров П. В. 64
Еремин Е. Н. 90
Ерицян Л. В. 94
Ермишкин В. А. 99, 105
Ефимов А. В. 54
Житная С. В. 88
Жукова В. С. 64
Жумагалиева Г. Б. 111
Заплетников И. Н. 284
Звездин В. В. 220
Звездина Н. М. 220
Звягинцева А. В. 369, 377, 384
Иванов И. Ю. 114
Ивченко Т. Г. 289
Игнаткина Е. Л. 118
Ильина А. А. 36
Исрафилов И. Х. 220
Ищенко А. Л. 311
Каверина О. Г. 316, 319, 321
Калинин А. В. 121
Калянов А. Е. 146
Кардаполова М. А. 76, 80, 126
Керимжанова М. Ф. 198
Кириченко В. А. 284
Ковалева Е. В. 170, 245
Коваленко В. И. 130
Ковеленов Н. Ю. 40
Комиссаров А. П. 114
Костенко А. В. 293, 338
Кругликов П. А. 133
Кузнецова М. Н. 54, 59
Кузнецова О. П. 138
Кулагин С. П. 99, 105
Курбанов Х. К. 142
Лагунова Ю. А. 114, 146
Лапаева И. В. 316, 319
Лапковский А. С. 76
Лахин А. М. 344
Лисковая Е. Н. 321
Лосев А. С. 90
Лукичев А. В. 338
Луцко Н. И. 76
Лыхманюк Е. О. 289
Майоров С. А. 146
Макаров В. Ф. 138, 151
Маркин А. А. 90
Масюков И. И. 154
Маталасова А. Е. 90
Махджубиан Масуд 156
Меликсетян Г. Н. 160
Меликсетян Н. Г. 160
Мельникова Е. П. 121
Минина Н. А. 99, 105
Мирзоалиев А. И. 165
Мирзоалиев И. М. 165
Михайлов А. Н. 194, 293, 333, 338
Михайлов Д. А. 333
Михайлов С. В. 40
Монтаев С. А. 241
Набиев А. М. 24, 32

Навка И. П. 338
Нагоркин М. Н. 170, 245
Надуваев В. В. 6
Настасенко В. А. 174
Николаенко В. Л. 126
Новикова О. В. 207
Овсянников С. И. 181
Оковитый В. В. 185
Пантелеенко Ф. И. 185
Переверзев П. П. 190
Першин В. Ф. 16, 20, 111, 241
Петров М. Г. 194
Петросян Г. Л. 307
Пичко А. П. 333
Поветкин В. В. 198
Поляков Р. Н. 224
Пономарев И. А. 90
Попхадзе Г. З. 324
Прейс В. В. 203
Пынькин А. М. 43
Пыриков И. Л. 170
Радин В. П. 207
Ракунов Ю. П. 212
Рахимов Р. Р. 220
Родичев А. Ю. 224
Розоринов Г. Н. 156
Рыжков А. И. 48
Савин Л. А. 224
Самофалова С. А. 377
Саубанов Русл. Р. 220
Сенють В. Т. 228
Сергеева А. В. 230
Скворцов А. И. 230
Скляров В. Н. 233
Смолкин Ю. В. 133
Соловьева Ю. Б. 99, 105
Солодовник М. Д. 59
Степанова Е. А. 237
Сычев Р. В. 151
Таскалиев А. Т. 241
Татыбаев М. К. 198
Телиман И. В. 114
Тищенко Н. И. 138
Томенко А. К. 99, 105
Топорков М. П. 245
Турманидзе Р. С. 324
Убайдуллоев А. Н. 165
Усенко К. С. 203
Усенко Н. А. 203
Фёдоров В. П. 170, 245, 249
Фёдоров В. П. 245, 249
Филиппов М. Ю. 90
Фролов Е. Н. 6
Хандожко А. В. 333
Хейфец И. М. 249
Хейфец М. Л. 43, 228
Ходжаев Дж. Н. 142
Хусанов К. 24
Цыркин А. Т. 254, 263
Чернов Е. В. 151
Черных А. В. 272
Чернышёв Е. А. 341
Чибухчян О. С 360
Чугункин А. В. 333
Чупраков М. В. 64
Чурсинов В. И. 84
Шабайкович В. А. 276
Шабалина Л. В. 280
Шахова И. А. 130
Шестаков В. С. 9
Щугорев А. В. 207
Щугорев В. Н. 207
Эрнандес А. Д. 64
Юмаев Е. А. 138
Якимишина В. В. 84
Яцкевич О. К. 80

XXIV международная
научно-техническая конференция

«МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА»

Сборник трудов

ISSN 2079-2670

Компьютерная верстка сборника – Лыхманюк Е. О.

Подписано к печати 01.09.2017.	Формат 60x84 $^{1}/_{16}$	Бумага XEROX
Ризографическая печать	Усл. печ. л. 343,17	
Уч.-из. л. 342,15	Тираж 100 экз.	Заказ № 1

Издательство ЧП «Технополис»
Свидетельство о внесении в государственный реестр субъекта
издательского дела ДК № 1221 от 05.02.2003.
283001, г. Донецк, пр. Дзержинского 1
Тел. +38 062 305-01-04
E-mail: *mntk21@mail.ru*