Министерство образования и науки Украины
Донецкая областная и городская администрации
Международный союз машиностроителей
Фонд поддержки прогрессивных реформ
Национальная металлургическая академия Украины (НИИСТ)
Донецкий и Севастопольский национальные технические университеты
Брянский государственный технический университет
Московский государственный университет инженерной экологии
Таганрогский государственный радиотехнический университет
Азербайджанский, Жешувский, Остравский, Силезский, Ясский
технические университеты, Политехника Любельская
Технический университет Молдовы, Политехника Ченстохова
Магдебургский, Портсмутский, Тульский университеты
Бухарестская военно-техническая академия
Институт международного сотрудничества, Российско-Украинский университет
Институт механики и сейсмологической стабильности АН РУ
Донецкий институт холодильной техники
Ассоциация металловедов и термистов Украины
Научно-технический союз машиностроения Болгарии
Научный центр проблем механики машин НАН Беларуси
Издательство «Машиностроение»
Брянский АО НИИ «Изотерм», ОАО «ДЗГА», АО «НОРД», ЗАО «НКМЗ»
ОАО «Точмаш», НПП «Эталон», ЧП «Технополис», Снежнянский машзавод

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Сборник трудов

XIII
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 2

11-16 сентября 2006 г. в городе Севастополе

Донецк-2006

ББК К5я54
УДК 621.01(06)

Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-16 сентября 2006 г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2006. Т. 2. – 324 с.

ISBN 966-7907-20-1

В сборник включены материалы XIII 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.

Издается при содействии Международного союза машиностроителей

Адрес международного организационного комитета:

Украина, 83000, г. Донецк, ул. Артема, 58, ДонНТУ, кафедра ТМ.
Тел.: +38 (062) 305-01-04, факс: +38 (062) 305-01-04
E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua
http://www.dgtu.donetsk.ua

ISBN 966-7907-20-1

© Донецкий национальный технический университет, 2006 г.

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Данилова В.А., Мороз О.К. *(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

The authors tried to observe the influence of the relations between the teacher and a student on the success in mastering of foreign languages. And they also tried to pay attention to the necessity of intensification one of the most important functions of the university - educational that is the necessary condition for the transition of Ukrainian education to the motivational selfteaching as a part of European educational integration. The authors especially pay attention to the problem of humanisation of higher education.

Новые жизненные условия диктуют новые требования к человеку - будущему гражданину мира. Процессы, происходящие в мире требуют от личности высокого уровня социологизации (процесс освоения человеком социального выработанного опыта, прежде всего системы социальных ролей. Этот процесс осуществляется в семье, дошкольных учреждениях, школе, трудовых и других коллективах. В процессе социализации происходит формирование таких индивидуальных образований как личность и самосознание. В рамках этого процесса осуществляется усвоение социальных норм, умений, стереотипов, социальных установок, принятых в обществе форм поведения и общения, вариантов жизненного стиля. (8).

Личность будущего - это не только человек, уверенный в себе, независимый ,обладающий высоким профессионализмом, говорящий на нескольких иностранных языках, но и носитель как общечеловеческих, так и конкретно исторических структур и программ. Интеграция в мировое сообщество требует "воспитания поколения, обладающего общепланетарным мышлением, граждан мира, осознающих свою роль и ответственность в глобальных общечеловеческих процессах" (5).

Перед образовательным учреждением стоит сложная задача - воспитания человека будущего

К сожалению процесс образования часто понимается именно как процесс загрузки памяти обучаемого информацией. А для этого не нужны выпускники пединститутов (3) Физфак готовит прекрасных специалистов, лучших, чем пединститут. Просто выпускник пединститута готов не только к предметному обучению, но и к другим видам деятельности. Он обладает знаниями для воспитательной работы, но, оставаясь невостребованными, эти знания, как и знания и умения вообще, со временем затухают.

По мнению доктора психологических наук, профессора ,члена-корреспондента Российской Академии образования Артура Александровича Реана: «Школа должна учитывать, как минимум семь аспектов:

Развитие интеллекта;

Развитие эмоциональной сферы;

Развитие устойчивости к стрессорам (то есть к факторам, вызывающим стрессы);

Развитие уверенности в себе и самопринятия;

Развитие положительного отношения к миру и принятие других;

Развитие автономности личности;

Развитие мотивации к самосовершенствованию и мотивации к учению как важнейшему элементу саморазвития и самореализации личности.

ЗАГРУЖАЯ ПАМЯТЬ, ИНТЕЛЛЕКТ НЕ РАЗОВЬЕШЬ" (3).

И в вузе эти аспекты не упраздняются, а углубляются.

Интеллект подразумевает "возможность генерировать новое знание и вести себя в нестандартных ситуациях, опираясь на полученные ранее знания" (1).

Мы хотим остановиться на важности такого аспекта, как уверенность и самопринятие для обучения иностранному языку.

Как утверждает известная всем Г. Китайгородская, автор "Интенсивного курса французского языка", при обучении иностранному языку преподаватель должен только поощрять обучаемого, ибо язык - средство общения. Неприятное общение ,- а критика, особенно в присутствии аудитории , не может быть приятна,- способно навсегда отбить у студента желание изучать иностранный язык. Почему уверенность в себе и самопринятие — важнейший фактор адаптации личности? Десятки исследований в разных странах показывают, что чем выше самопринятие, уверенность в себе (но не самоуверенность), тем выше социальная адаптация личности, социальный успех. Последнее подразумевает не только рост карьеры, но и принятие человека другими. А ведь выпускнику вуза при общении с носителем языка, тем более в стране-носителе языка, это просто необходимо.

Мы ежегодно проводим исследование внеаудиторной работы студентов у нас и за рубежом, и при анализе полученный ответов даже за рубежом, где почти 90% студентов технических вузов(!) занимается ежедневно аудированием иностранных дикторов по радио, - мы обнаружили, что даже достаточно мотивиронные, но не уверенные в себе студенты, мало работают самостоятельно. Особенно плохо в этом случае то, что они не пытаются читать на иностранных языках вне вуза, -"не с моим запасом лексики", "не с моими знаниями"… А ведь чтение - это прекрасное средство для овладения новой лексикой.. И пополнения словарного запаса.

«Уверенность в себе и самопринятие выполняют компенсаторную функцию - позволяют добиться успеха при определенных недостатках. В психологии известен эффект Розенталя., или эффект самореализующегося предсказания. 30 лет назад этот ученый протестировал на развитие интеллекта учеников средней школы. Результаты он не обрабатывал, а взял произвольно несколько выбранных фамилий и объявил учителям, что по его данным, скорее всего эти дети в ближайшее время покажут особые успехи. Через год он опять провел те же исследования, но данные уже обработал. И обнаружил, что именно это дети показали наивысшие успехи. Механизм розенталевского эффекта до конце неизвестен. Возможно, учителя, узнав, про «одаренность» этих детей, стали к ним по особому относиться: хвалить, давать сложные и интересные задачи, полагая ,что дети способны их решить. А отношение взрослого авторитета меняет самооценку ребенка, появляется уверенность в себе и как результат, - успехи » (3)

Большое значение на уроке иностранного языка имеет создание атмосферы психологической совместимости., доброжелательности (7). Известно, что психологический климат в аудитории - очень важный фактор для развития процессуальной мотивации и формирования позитивного отношения к овладению иностранным языком. Боязнь сделать ошибку при выполнении аудиторных заданий, чтении, говорении делают атмосферу напряженной, мешают овладением навыками чтения и говорения. Иными словами, затруднительная рефлексия может стать серьезным препятствием на пути изучения иностранного языка.

У изучающего иностранный язык, должна вырабатываться способность к самостоятельному осуществлению коммуникативной раскрепощенной деятельности. И даже потребность в ней. В идеале - формирование вообще у каждого человека потребности в знании иностранного языка. Студент должен изучать иностранный язык просто потому, что он так хочет. Это не исключает наличие внешних мотивов, но внутренняя

мотивация –интерес к предмету, а в многих случаях просто любовь к нему, необходима, для овладения иностранным языком.

И если средняя школа подспудно решает противоположную задачу, то вуз продолжает эту традицию. Есть конечно исключения- вузы, где «частью гуманистической парадигмы воспитания является развитие самоприятия» (3). Но опять таки, это происходит если вуз вообще ставит задачу воспитания, а не просто предметного обучения.

Есть такое понятие, как адаптационный потенциал, который напрямую зависит от мотивации самосовершенствования. Дело в том, что жизнь меняется, научно-технический прогресс шагает семимильными шагами. В языки постоянно вливается колоссальный приток новой лексики. Поэтому без мотивации самосовершенствования адаптационный потенциал снижается. Человеку, изучающему иностранные язык, надо настроить себя на то, это не конечный процесс , а пожизненное самообучение.

Вузом это невостребовано. Это востребовано жизнью, но ведь задача вуза – подготовить студента к пожизненной деятельности (1).

И еще. «Научиться плавать можно только в воде». Создание искусственной иноязычной среды необходимо студенту. Необходимо нацелить студентов на ежедневное слушание иностранной речи, для того, выработать устойчивую привычку ее слушать. Не все студенты могут позволить себе провести годы в иноязычной стране, но слушать радио и аудиозаписи, а также смотреть фильмы на иностранных языках может почти каждый. Студент, изучающий язык только по учебникам, попав в языковую среду испытает шок. Постоянное написание сочинений, изложений диктантов не способствует развитию самообучения. Напротив, все это воспитывает исполнительство. Потребительское отношение к языку (7).

Неуверенность в себе чревата появлением аутоагрессии, а «Аутоагрессия – неприятие себя – коррелирует с негативным отношением к окружающей среде» (3). Не отсюда ли негативное отношение к лингво-страноведческому аспекту изучения, нежелание ничего знать о стране-носителе языка? Из 40 опрошенных нами студентов только один оказался внутренне мотивированным то, чтобы лучше узнать другую страну, ее обычаи, культуру, и т.д.

По данным исследования, ежегодно проводимого кафедрой культурологии ДонНТУ среди студентов на всех факультетах университета, на вопрос «готовите вы себя к руководящей должности, или к исполнительской», подавляющее большинство студентов ответило, что не считает себя способными руководить, что у них для этого отсутствуют данные. И что они представляют свою дальнейшую деятельность только исполнительской. И дело не в том, что не все будут потом руководить, просто такой ответ на этот вопрос говорит об отсутствии у студента должной уверенности и самопринятия. К тому же нацеленность на исполнительство свидетельствует о нежелании самому принимать решения, нести какую-то ответственность. Это еще указывает на то, что в большинстве своем наши студенты относятся к разряду зависимых личностей. Т.е. не свободных. Перефразируя А.А Реана можно сказать, что лишая студента свободы и автономности мы воспитываем безответственную личность.. В результате обучение иностранному языку сводится к простому выполнению аудиторных заданий. А это уводит студентов и педагогов от современной цели украинского образования - переведения его на рельсы мотивированного самообучения.

Прекрасным средством по развитию самостоятельности и самопринятия при изучении иностранного языка может послужить использование европейских документов «Европейский языковой портфолио» (9) и «Европейская шкала уровней», благодаря котором студент может сам проверять свой уровень знаний и планировать дальней-

шую самостоятельную работу: языковой паспорт, языковая биография – что я могу делать на иностранном языке?,-досье (документальное подтверждение достижений обучаемого),- могут оказать неоценимую услугу в развитии умения самостоятельно работать не только при изучении иностранного язка, но и любого другого предмета. (2)

Если основной целью школьной педагогики является повышение адаптационного потенциала ребенка (1), то задачей вуза является развитие этого потенциала.

Вслед за школой студента надо продолжать возвышать в развитии, духовности, мотивации. Авторитарное предметное обучение этой цели не служит. Для авторитарного преподавателя важна только память (1).

Выступая в ноябре 2004 года на Всероссийской научно- практической конференции «Гуманизация образовательной деятельности в вузе , техникуме и школе», посвященной 95-летию Башкирского государственного университета, академик. Ш.Амонашвили провел семинар , где он изложил принципы гуманитарной педагогики, из которых некоторые можно и должно применять к вузовскому образованию:

1) очеловечивать среду вокруг обучаемого.,

2) проявлять творящее терпение,

3) принимать любого учащегося таким, каков он есть (не ломать его волю),

4) строить отношения сотрудничества с обучаемым (я, – тоже ученик, а студент – учитель)

5) преисполниться оптимизмом по отношению к обучаемому (1).

Итак, подводя итоги, можно сказать, что успех овладения иностранными языками у студентов напрямую зависит от решения вузом проблем гуманизации образования. Для этого надо уяснить, что процесс обучения иностранному языку – это не только процесс овладения информацией, но глубокий воспитательный процесс формирования новой личности, уверенной в своих силах, независимой, способной быть достойным представителем высоких нравственных ценностей и высокой культуры.

Поэтому во время аудиторной работы при изучении иностранного языка студентом надо

1) создавать атмостферу, побуждающую его к коммуникативной деятельности.

2) воспитывать у студента оптимум внутренней мотивации т.е. обучаемый должен изучать иностанный язык потому, что он этого сам очень хочет, потому, что ему это нравится.

3) сделать самостоятельные, внеаудиторные виды деятельности основными при изучении инстранного языука. Или по крайней мере способствовать заинтересованности студента в них.

4) широко использовать Европейский языковой портфолио и Европейскую шкалу уровней не только как средство для скорейшего достижения студентами разнообразных языковых компетенций, но и как средство для самоконтроля студента и развития его уверенности и самостоятельности.

Список литературы: 1. Амонашвили Ш.А. Аксиомы гуманной педагогики. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. .Ноябрь 2004.г. «http://www.sibparus.ru/hwl/pedagogy/pedagog.htm **2.** Иванова Н.И. Языковой портфель как инструмент формирования социо-кросс-культурной компетенции учащегося. http://portal.krsnet.ru/razdels/uchitelja/chat/inostr/yaz_portf.htm **3.** Реан А.А. Как нам обустроить российскую школу. http//www.narcom.ru/parents/parents/12.html/ **4.** Сабанчиева Р.З. Акмеологические факторы продуктивной деятельности преподавателей в развитии творческой готовности студентов к профессиональной деятельности. Акмеология. Нау-

чно-практический журнал, №1, Москва, 2004. **5.** Сысоев П.В. Культурное самоопределение обучающего в условиях языкового поликультурного образования. Иностранные языки в школе, №4, 2004 , с.14. **6.** Фельдштейн Д.И. Проблемы психологии взросления в системе наук о человеке и обществе. Акмеология. Научно-практический журнал, №1, Москва, 2004. **7.** Чичерина Н.В. Методика преподавания иностранных языков в школе и в вузе. Самостоятельная работа: личностные стратегии изучения иностранного языка в школе и в вузе. http://www.pomorsu.ru/body.php?page=sin503 **8.** Электронный психологический словарь. http://www.psi.webzone.ru/st/109100.htm **9.** Portfolio Europeen des Langues (PEL), Principes et lignes directrices avec notes explicatives..(Version 1). Division des politiques linguistiques. Strasbourg. Octobre 2000. Revisee en 2004.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАУКИ И ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Дарковский Ю.В., Буряк В.Ю., Добровольский Г.И., Маслюков В.А.
(ОАО НИИ «Изотерм», г. Брянск, Россия)

The problems of scientific and production spheres relationship are revealed in the article.

Современные изделия машиностроительных предприятий содержат кроме «железа» большое количество систем и устройств, согласованная работа которых напрямую влияет на работоспособность изделий в целом. Кроме того, Заказчик чаще всего ставит задачу обеспечения или получения каких-либо параметров деталей, процессов, движений и т.п., при этом его, как правило, не интересует, какие именно технические решения будут применяться. Заказчику необходима четкая работа системы или процесса, при определённом соотношении цена-качество. Достигать поставленной задачи производство может, применяя самые разные технические решения.

При выборе конкретного технического решения конструктор, как правило, основывается на известных решениях, дорабатывая их, или комбинируя ими. За последние 20 лет появилось огромное количество новых, высокоэффективных технологий, продуктов, применяя которые, производство может существенно снизить стоимость своих изделий. обеспечивая качество выпускаемой продукции.

При выборе того или иного решения конструктор зачастую основывается на собственном опыте, идет по «проверенному» пути. К сожалению иногда эти решения не являются оптимальными ни с конструкторской, ни с технологической, ни с эксплуатационной точек зрения. Все это приводит не только к удорожанию изготовления изделия и его эксплуатации, но возникает возможность конструкторских недоработок, ошибок. Исправление этих ошибок приводит иногда к полной переработке узла или всего изделия. В условиях серийного производства такие конструкторские недоработки исправляются на опытном образце, себестоимость изготовления которого переносится на всю партию изделий и цена серийно выпускаемой продукции возрастает незначительно.

Иначе обстоит дело в опытном производстве. Все конструкторские недоработки и ошибки вызывают увеличение цены изделия, а могут и привести к снижению качества изделия. Конструкторские недоработки и ошибки вызваны в основном не косностью мышления конструктора (хотя это также имеет место), а недостатком времени на проработку различных конструктивных вариантов решения задачи и отсутствием достаточно полной информации по иным вариантам. Проверка различных конструктивных

вариантов, их моделирование может привести к увеличению сроков проектирования и срыву плана выпуска изделия. Существенно снизить риски от неоптимальных конструкторских решений позволила бы база знаний. Создание, постоянное пополнение и обновление ее на основе последних научных достижений невозможно силами специалистов одного или группы предприятий, без привлечения широкого круга специалистов в различных областях науки.

Первым шагом к созданию такой базы может явиться оценка конструкторских решений независимыми экспертами и проверка работоспособности этих решений на моделях. В этом огромную помощь производству могут оказать практические ученые, имеющие огромный опыт исследовательских работ и владеющие информацией о современных способах решения конструкторской задачи. Дополнением к этой базе знаний явилось бы применение разработанных и создание новых расчетных модулей по прочностным, усталостным расчетам, расчетам на точность, жесткость и др.

Все это позволило бы наряду с обеспечением качества снизить металлоемкость изделий и трудозатраты.

Следующим направлением сотрудничества производства и научной школы можно предложить технологическую подготовку производства. В виду того, что в опытном производстве не производится детальная проработка технологического процесса изготовления деталей и всего изделия, а составляется маршрутное описание, возникают технологические вопросы, связанные с нормированием, назначением припусков на обработку, выбора технологических баз, расчета технологических размерных цепей, проектированием и изготовлением технологической оснастки. Неверные или неоптимальные решения технологических задач приводят к перерасходу материала или появлению неисправимого брака. Снизить долю затрат на этой стадии производства позволило бы создание базы знаний по технологии изготовления изделий, «привязанная» к конкретному производству с разработкой расчетных модулей, решающих конкретные технологические задачи как то:

- расчет и назначение припусков,
- расчет технологических размерных цепей,
- расчет точности обработки,
- расчет, назначение режимов резания и т.п.

Тем более, что создание таких модулей достаточно хорошо изучено, довольно строго алглритмиризировано и не требует значительных затрат на исследовательские работы. Естественно, что некоторые исследования потребуются для определения технологических параметров оснастки и оборудования таких как жесткость, точность и др. Использование табличных значений существенно снизило бы эффективность применения этих модулей к условиям реального производства.

При изготовлении опытных образцов изделий очень остро встает вопрос о разработке технологической оснастки. Зачастую разработанная технологическая оснастка не рассчитывается на точность, жесткость и т.п. Стремясь эмпирическим путем обеспечить эти характеристики производственные технологи закладывают значительные коэффициенты запаса. Это приводит к увеличению трудоемкости изготовления и металлоемкости оснастки. Создание базы знаний и расчетных модулей по проектированию оснастки позволило бы в значительной мере снизить эти недостатки.

Следует также отметить недостаточную отработку изделия на технологичность. Часто конструкторские требования к отдельным деталям, узлам завышаются необоснованно. Отмеченные недостатки технологической подготовки производства приводят к тому, что трудоемкость изготовления изделий оценивается приблизительно, с большой

вероятностью ошибки, как правило в сторону уменьшения фактической трудоемкости,что приводит к занижению цены изделия и его сроков изготовления на стадии заключения договора. Фактическая себестоимость изделия оказывается выше запланированной и снижается доля прибыли в отпускной цене.

Сотрудничество с научной школой в этом направлении возможно и желательно не только с ведущими учеными, но и с активным привлечением студентов старших курсов, магистров, аспирантов, соискателей и молодых преподавателей. Этот производственный опыт позволит им активно включиться в решение конкретных производственных задач, основываясь на хороших теоретических знаниях. Выявить свой творческий потенциал и, возможно, определиться с тематикой дипломных работ, кандидатских, докторских диссертаций.

Еще одним направлением сотрудничества можно обозначить непосредственно изготовление изделий. В виду маршрутного описания технологических процессов, обусловленного спецификой опытного производства при обработке деталей из специальных материалов как то молибден, кантал, коррозионностойкие и жаропрочные стали на уровне рабочих и мастеров накапливается производственный опыт по работе с этими материалами. Систематизация и обобщение опыта передовых рабочих позволила бы более корректно подходить к нормированию технологических операций так как имеющиеся справочные литературные данные явно недостаточны.

Нельзя не отметить, что эта работа проводится, но носит явно недостаточный характер, ввиду загруженности производственных технологов. Существенную помощь в этом могли бы оказать студенты первых курсов технических ВУЗов. С этой точки зрения производственные практики на реальном производстве значительно помогли в решении данной проблемы и дали бы студентам необходимые практические навыки. Не секрет, что для некоторых выпускников технических ВУЗов понятия «станок», «инструмент» являются отвлеченными и достаточно туманными. В тоже время накопленный рабочими практический опыт уходит вместе с ними, не находя преемственности. Кадровая проблема встает очень остро перед современными машиностроительными предприятиями.

Вполне естественно, что человек получивший инженерный диплом вряд ли встанет к универсальному токарному , фрезерному станку. Одним из решений кадровой проблемы является техническое перевооружение предприятия оборудованием современного уровня. Работа на таком оборудовании потребует не только хороших практических навыков, но и глубоких теоретических инженерных знаний, а возможно и опыта исследовательской работы не только в области технологии машиностроения, но и компьютерных технологий. Эффективность применения такого пока еще дорогостоящего оборудования и внедрение его в производство требует проведения расчетов и экономического обоснования, в чем могут оказать помощь специалисты технических ВУЗов.

Следует отметить, что приобретение такого оборудования для развивающегося производства, каким является ОАО НИИ «Изотерм», является среднесрочной перспективой, то модернизация имеющихся станков с ЧПУ с заменой систем управления на современные является вполне назревшей необходимостью. В этом также желательна поддержка и помощь со стороны научно-технических ВУЗов.

Рассматривая вопросы сотрудничества науки и производства в сфере производственных процессов нельзя не коснуться темы организации и управления производством. Существующая система управления предприятием нуждается в корректировке. Задачи управления, планирования в производстве, распределения людских и материальных ресурсов в условиях опытного производства представляет собой достаточно

сложную, многовариантную задачу. В условиях частой смены номенклатуры, планов выпуска продукции решение этой задачи невозможно без применения автоматизированной системы управления предприятием. Существенную помощь в создании такой системы или адаптации существующих автоматизированных систем могли бы оказать научные работники технических ВУЗов.

Учитывая выше изложенное можно сказать, что взаимовыгодное сотрудничество производства и науки не только на пользу предприятию, но и ВУЗам, ибо решая конкретные производственные задачи возникает возможность обобщения, анализа проблемы, формирования целей и задач исследований, вариантов и методик проведения исследований, выполнения работ и полученные результаты, реализуемые практически существенно повысят ценность научных работ, выполняемых учеными ВУЗов. Вовлечение студентов в производственную работу в период обучения позволит существенно повысить их практические навыки и знания и обеспечит более качественную подготовку специалистов.

В то же время во многих случаях, применение новых научных решений сдерживается из-за отсутствия информации, опытных образцов на которых производственники смогли бы увидеть все их преимущества.

Современному машиностроительному предприятию требуется серьезная поддержка со стороны научных работников ВУЗов, научных школ для проектирования и производства сложных изделий. Отсутствие информации о практических результатах научных работ вызвана ещё и тем, что прикладная наука (например «Технология машиностроения») как бы варится в «собственном соку». Конечно, надо признать, что ведущие инженеры и специалисты предприятий всегда приглашаются на научные конференции, выступают в роли ведущих предприятий, но при этом очень многое просто непонятно, когда отсутствуют результаты и технологии, которые можно «потрогать руками». Решения так и остаются на бумаге или, что еще хуже, в виртуальных моделях. Многое сводится к огромным формулам и графикам, малопонятным даже подготовленному специалисту. Производство никогда не станет вкладывать силы и средства в подобные проекты, при отсутствии конкретных результатов в металле. Такие проекты больше похожи на благотворительность, которой не должны ждать наши ученые. Производство остро нуждается в научных разработках, которые должны подкрепляться конкретными воплощениями на производстве и постоянным их использованием в дальнейшем. Хотелось бы пожелать начинающим научным работникам и их руководителям искать темы для диссертационных работ именно в реально работающем производстве, там где в этом остро нуждаются, но зачастую не имеют ни возможности, ни времени на апробацию новых научных идей.

ОАО «НИИ «Изотерм» давно и очень тесно сотрудничает с Брянским государственным техническим университетом (БГТУ), в частности с кафедрой «Автоматизированные технологические системы» (АТС). Работники ОАО «НИИ «Изотерм» постоянно участвуют в научных и практических мероприятиях, проводимых кафедрой «АТС». Одним из последних результатов сотрудничества явилось создание опытного образца установки для электромеханической обработки и восстановления деталей машин. Также ОАО «НИИ «Изотерм» занимается производством вакуумного оборудования и, по нашей просьбе, на кафедре «АТС» были проведены исследования влияния методов обработки материалов на степень газовыделения в вакууме. Определение оптимального сочетания материалов, свойств поверхностного слоя деталей и узлов вакуумных установок и методов их получения, до сих пор остается нерешенной задачей.

В ОАО «НИИ «Изотерм» работает много выпускников разных кафедр БГТУ, что только подтверждает возможность и необходимость такой формы сотрудничества. Решая конкретные проблемы производства с научной точки зрения, возможно достижение баланса интересов науки и производства, при котором обе стороны будут тесно и неразрывно связаны друг с другом, взаимно дополняя и преумножая свои возможности.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАЗДАЧИ ТРУБЫ

Девятов В. В., Михалчык Я., Лабуда Э.
(Чеснтоховская Политехника, Полша)

В стате представлны результаты анализа процесса раздачи труб с помощю дорна. Дла анализа использована методика решения связонной задачи термоупругпластичности, в результате усползования которой поучены оптималные параметры инструмента для раздачи позволяющся роздавать трувы при минималном усилии и сохранени ресурса пластичности.

Устойчивосьт процесса раэдачи трубы дорном зависит от сочетания нескольких параметров. В качестве основных параметров процесса дорнования обычно выбирвют внутренний d и внешний D диаметры исходной трубы, диаметр дорна $d_д$ и угол конусности дорна α. Для каждой марки материала трубы сочетание данных параметров, приводящих к устойчивому процессу, является инливидуальным. Поэтому очевидно, что зкспериментальныи подбор таких сочетанй очень трудоёмок.

В настрояще время имеются достаточно хорошо раэработанные математыческие модели процессов обработки металлов давлением [1], которые позволляют определять самые разлличные характеристики напряжённо-деформированного состояния металла. Использование таких моделей для процесса роэдачи труб поэволяет осуществлять подбор необходимых геометрических параметров процесса моделированием на компютере, что существенно снижает эатраты на разработку технологии.

Указанные модели позволяют оцениить влияние параметров на процесс таких как максималное усилие дорнования, максимальное давление на инструмент и устойчивость металла к разрушению.

Устойчивость металла к разрушению можно оценить по математической модели, используя понятие степини использования ресурса пластичности Ψ[2]. Считается, что при деформировании в матиериале накапливаются повреждиения. Мерой этих повреждиений и служит величина ресурса пластичности Ψ. При отсутстви повреждени принимается, что $\Psi=0$ При разрушении матиериала $\Psi\geq1$. Поэтому процесс раздачи является устойчивым, если для любой точки трубы ресурс пластичности меньше 1.

Математическая постановка задачи.

Процесс раэдачи трубы дорном может.рассматриваться как осесимметричная задача. термоупругпластичности [1].В данной работне указанная задача рассматривалась в стационарной постановкие. Расчетная схема раздачи трубы представлена на рис. 1.

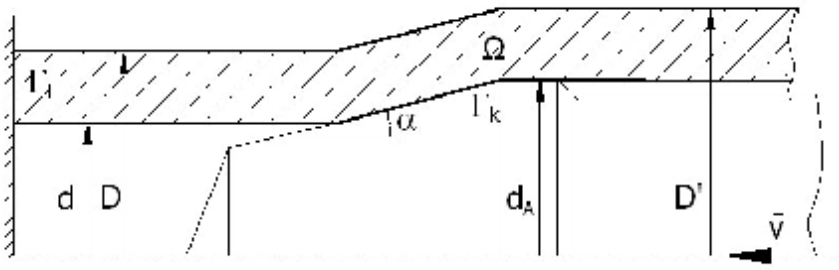


Рис. 1. Расчётная схема процесса радачи трубы

Пусть исследуемое тело занимает область Ω с границей $\Gamma\left(\bar{\Omega} = \Omega + \Gamma\right)$. Предполагалось, что углы поворота частицы материала в зонах упругого деформирования и деформации в иследуемой облясти малы. Выбирая, в качестве определяющих, соотношения теори течения, можно записать систиему дифференциальных уравниений, описываюшую поведиение частицы материала включающю:

- уравниения равновесия,
- определяющие уравниения,
- геометрические уравниения,
- уравнения теплопроводности,
- граничные условия.

Алгорит м решения задачи териоупругопластичности описан подробно в работе Числення реализация задачи проводилась с помощью мтода конечных элемен.тов.

В начальном приближнии принималось, что исследуемая область ограниченна поверхностью инструмента в зоне геометрического очага деформации и приближённо заданными поверхностямии заготовки и готового изделия (Рис.1). При этом внешнй диаметр готового изделия определялся из равенства площадей трубы до и после деформации:

$$D' = \sqrt{D + d^2 + d_\Lambda^2}$$

В процессе решения указанной задачи определялись поля скоростей частц $\vec{u}$ средние давления s , температура q , распределнные по области Ω . По распределению скоростей и давлений вычислялись все остальные параметры напряженно-деформированного состояния: деформации, напряжения, усилие и давление на инструмент, степень использования ресурса пластичности, а также распределение упругих и пластических зон.

Анализ резултатов и выводы.

Используя описанную выше методику, была решена задача раздачи трубы при следующих исходных даных:

- Материал трубы: Стал 45;
- Исходные размеры трубы:D=95 мм, d=75 мм;
- Размеры дорна выбирались из следующих интервалов:
- $d_д \in$ [85 мм, 91 мм] ; $\alpha \in [10^0, 30^0]$:
- Калибрирующий поясок дорна равен 5 мм;
- Коэфициент трения f=0,02.

Приведём некоторые результаты решения задачи раздачи трубы для среднией точки интервалов варьирования $d_д$ и α, т.е. для $d_д$ и $\alpha=20^0$. На Рис. 2 и 3 представлено разпределение зон упругости и пластичности и ресурса пластичности Ψ .Как можно видеть из рисунков, распределения всех перечисленных выше величин существенно неоднородны как по длине так и по толщине заготовки.

Для разработки технологи особенно важнщно энание трёх характеристик:

- усилия раздачи;
- максимального давления на инструмент;
- максималного использования ресурса пластичности

На Рис 4,5,6 приведена зависимость этих параметров от dд и α

Полученные результаты показывают, что определяющее влияние на перечисленные выше три характеристики оказывает угол конусности дорна. Изменение диаметра дорна на выбраном интервале значенй не приводит к существенному изменению перечисленных характеристик.

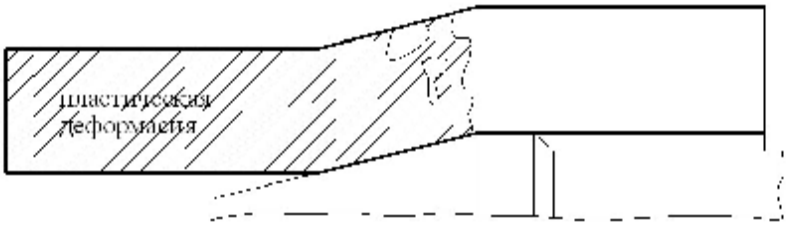


Рис. 2. Распределение упруго-пластических зон

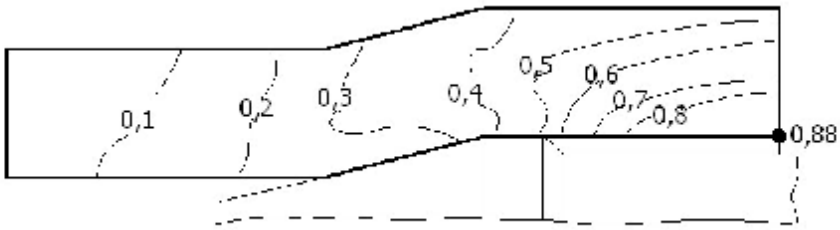


Рис. 3. Распределение ресурса пластичности

Анализ изменения Ψ от $d_д$ и α показывает, что при углах конусности дорна более 20^0 возможно разрушение внутренней поверхности трубы. Уменьшение угла конусности приводит к значительному снижению ресурса пластичности.

Итак, делая окончательные выводы по приведённым результатам математического моделирования процесса раздачи трубы, можно рекомендовать следующее:

1. При диаметре дорна, выбранном из интервала от 85 до 91 мм, и угле конусности менее 200 усилие раздачи не будет превышать 600 КИ, давление на инструмент не превышает 750 МПа, а ресурс пластичности менее 1.

2. Уменьшение угла конусности дорна приводит к снижению перечисленных выше параметров процесса раздачи. Поэтому величину угла конусности необходимо выбирать какаможно меньше.

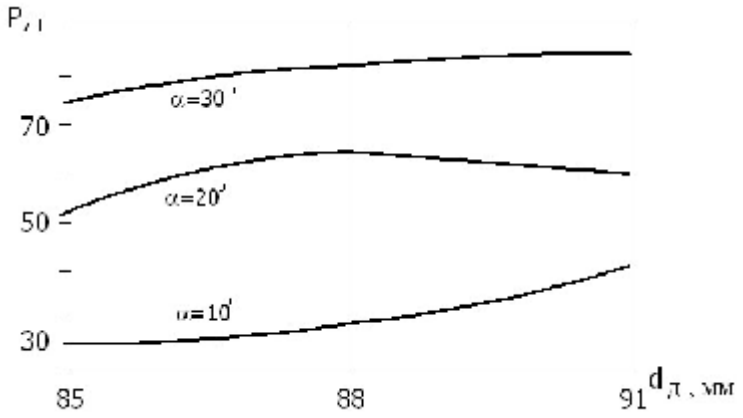


Рис. 4. Зависимость P от $d_д$ и α

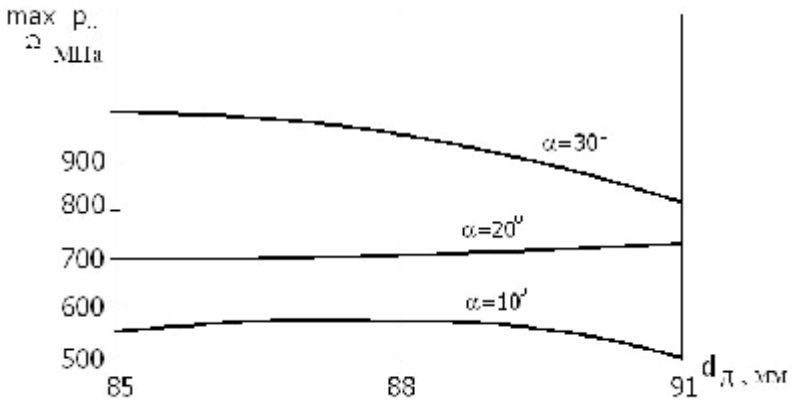


Рис. 5. Зависимость $\overset{max}{\Omega}|p_n|$ от $d_д$ и α

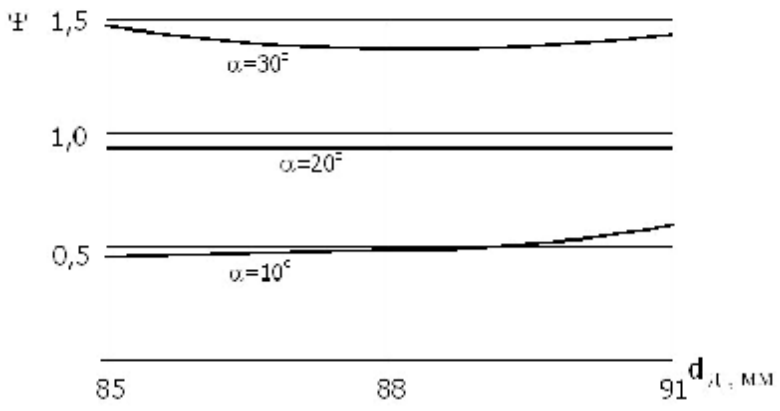


Рис. 6. Зависимость $\overset{max}{\Omega}\Psi$ от $d_д$ и α

Список литературы: 1. Поздев А. А., Няшин Ю. И., Трусов П. В.: Остаточные напряжения: Теория и приложения. М.: Наука,1982. 112 с. **2.** Коломогоров В. Л.:Напряжения, деформация, разрушение. М. Метаппургия, 1970. 230 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО ВНЕДРЕНИЮ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ УРОВНЯ I АККРЕДИТАЦИИ

Демьянцева Л.А., Ларина Н.Е.
(ЦК механических дисциплин, ММТ, г. Макеевка, Украина)

Up-to-date educational technologies directed to the improvement of breeding potential during educational process are presented in this article.

Основной целью профессионального образования является подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентноспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту социальной и профессиональной мобильности.

Чрезвычайно важно способствовать развитию у студентов высокого уровня мотивации достижения и укреплению мотива стремления к успеху.

Мотивация – это процесс побуждения себя и других к потребности в достижении успеха в любой деятельности.

Условия реализации ситуации успеха является следующее:

- трудности должны нарастать постоянно;
- затраченные студентом усилия должны быть оценены преподавателем;
- предлагаемая деятельность должна приносить удовлетворение, а для этого необходимо, чтобы она скрывала в себе элементы творчества.

Несомненно, один из ключевых моментов мотивирования студентов на достижения успеха является взаимодействие преподаватель – студент.

В настоящее время наблюдается стабилизация и постепенный рост масштабов подготовки специалистов по техническим специальностям, поэтому можно предполагать усилие акцентов на решение следующих задач:

- увеличение численности студентов технических специальностей;
- развитие подготовки специалистов среднего звена технического профиля для наукоемких и высокотехнологических отраслей промышленности;
- проведения эксперимента по подготовке кадров со средним техническим образованием на уровне технологического бакалавриата, ведущих специалистов для высокотехнологичных и наукоемких производств;
- расширению интеграции с наукой и производством.

Современные технические системы, технологии и производство столь сложны и с такими ограничениями вписываются в природную среду и социум, что требуют специального выделения еще одной группы видов деятельности:

- экологическая экспертиза;
- экологическое обеспечение производства;
- защита окружающей среды;
- системотехника;
- безопасность жизнедеятельности.

В системе среднего технического образования существует следующее представление о видах деятельности техника это:

- прикладная научно-исследовательская;
- проектно-конструкторская;

- проектно-технологическая и материаловедческая;
- сервисная (эксплуатация и ремонт);
- производство-организаторская.

Подготовка высококвалифицированных специалистов технического профиля осуществляется на основе наиболее трудных для освоения и дорогостоящих образовательно-профессиональных программ, что постоянно актуализируют проблему эффективности образовательного процесса. Согласно концепции развития среднего технического образования оно является составной частью среднего профессионального образования как, качественно определенный уровень системы профессионального образования, реализующих соответствующие образовательные программы. Среднее техническое образование отличается от других направлений подготовки тем, что оно ориентировано на подготовку техников – специалистов, обеспечивающих совместно с инженерным корпусом выполнение инженерно-технического труда и прямо связано с государственной политикой в области развития производства.

Трудовые функции инженеров и техников являются составными частями инженерного труда. Инженерно-техническая деятельность, в каких бы аспектах она бы не рассматривалась, всегда относится к сфере преимущественно умственного труда.

Различие понятий «инженер» и «техник» заключается в следующем: - инженер – это звание, характеризующее квалификацию, т.е. подготовленность, прежде всего, в теоретических вопросах (инженер по образованию); - это профессия, т.е. устойчивый вид трудовой деятельности специалиста в конкретной сфере инженерного труда (должность инженера); - техник – это звание, характеризующее квалификацию, т.е. подготовленность к труду, полученную в результате образования («техники на рабочих профессиях»); - это профессия, т.е. устойчивый вид трудовой деятельности в конкретной сфере инженерно-технического труда (должность техника).

В результате изучения и анализа по состоянию и ретроспективе перечней специальностей, квалификационных характеристик специальностей среднего профессионального образования можно утверждать – техник как специалист со средним профессиональным образованием – это работник, занятый преимущественно умственным трудом, связанным с решением диагностических задач, предполагающих выбор решения из набора готовых.

Поэтому из эффективных направлений повышения воспитательного потенциала образовательного процесса является научно-практическая работа студентов.

Целесообразно три основных направления научно-исследовательской деятельности.

Первое направление – учебно-практическая работа, входящая в образовательный процесс. Содержание данного вида работы заключается в изучении литературы, подготовке рефератов, докладов, курсовых и дипломных проектов.

Второе направление – творческая деятельность, дополняющая образовательный процесс. Здесь основной задачей является индивидуализация процесса обучения. Содержание работы – проведение олимпиад, конкурсов, научно-практических конференций, семинаров.

Третье направление – научно-практическое исследование, сопутствующее образовательному процессу. Основная задача – специализация, то есть подготовка к конкретной практической деятельности студентов под руководством высококвалифицированных преподавателей и мастеров. Содержание этого вида работы заключается в участии студентов в научно-технических работах прикладного характера (договоры с организациями, внутренние заказы и инициативная тематика сотрудников и студентов).

Диапазон научно-исследовательской работы студентов (НИРС) достаточно широк. Это макетирование компьютерных программ, постановка новых лабораторных и практических работ. Следует отметить, что разработки студентов внедряются в образовательный процесс в качестве новых лабораторных работ. Кроме того, разработанные студентами различные по назначению и принципу действия макеты могут быть использованы в демонстрационных целях при проведении теоретических занятий и практических работ по ряду дисциплин.

Принимая участие в НИРС, студенты, помимо морального удовлетворения от внедрения в учебный процесс результатов своего труда, получают возможность выбора тем дипломных работ и их достойного представления на защите в завершенном виде (действующие макеты, модели, рабочие программы).

В дальнейшем деятельность НИРС будет осуществляться в направлении развития взаимодействия звеньев следующей цепи: образовательный процесс – научно-практическая работа – внедрение ее результатов.

Рекомендуется организовать (НИРС) по следующим этапам:

I этап – предусматривается приобретение теоретических знаний, введение в специальность и навыков исследовательской работы;

II этап – проводятся небольшие исследовательские работы, макетирование, действующие модели и т.д.

В конце учебного года рекомендуется провести итоговую научно-технологическую конференцию по НИРС. Должны быть представлены соответствующие доклады, иллюстрированные необходимыми чертежами и схемами. Должна быть представлена информация о новинках науки и техники. По итогам конференции определяется победитель.

Реализация инновационной программы:

- наука – образование – производство.

Таким образом необходимо проводить многоплановую работу по формированию адаптивной модели подготовки конкурентоспособных специалистов свободно владеющих своей профессией, пытаться реализовать инновационную программу:

- наука – образование – производство.

Список литературы: 1. Волчкевич Л.И. Научно-педагогическая школа НМТУ на рубеже XIX – XX веков. // Международный сб. научных трудов, М., Россия, 2005, с. 157 – 168. **2.** Надуваев В.В., Лексиков В.П., Фролов Е.Н. Современные тенденции развития инженерного образования // Международный сб. научных трудов – Брянск, Россия, 2005, 295 – 299 с. **3.** Хайдаров Я.И. Инновационное обучение – путь преодоления формализма в учебном процессе // Специалист № 5, Акалтыск, Узбекистан, 2005, 28 – 29 с. **4.** Семушкина Л.Г. Рекомендации по внедрению современных технологий обучения // Специалист № 9, М., 2005, 27 – 30 с.

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СУШКИ БЕССЕМЯННЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

Дикусар Г.К., Лупашко А.С., Лупу О.Ф., Нетреба Н. Н., Казаку О.
(Технический университет Молдовы, Кишинев)

It is presented the research of the convective and combined (using SHFenergy) drying processes of seedless grapes such as Sultana. Grapes has been dried at the temperatures of 70-100˚C to moisture content of 20 %. Usage of SHF energy has reduced thedrying duration in 1,4-2,1 times (depending on the temperature of a drying agent) and consumption of energy has reduced by 9-37 % per unit of production.

Сушка – один из наиболее эффективных методов сохранения плодоовощного сырья, занимающий значительное место в технологии переработки сельскохозяйственной продукции.

В настоящее время распределение доли производства продукции пищевой промышленности таково, что доля сушеных фруктов и овощей в упаковке занимает второе место в мире после производства молочных продуктов и составляет 16 % [1].

Согласно физиологическим нормам потребления в ежедневный рацион человека кроме свежих плодов, ягод и винограда должно входить не менее 8 г сушеной продукции или около 3 кг в год, содержащей весьма ценные элементы питания, необходимые для нормальной жизнедеятельности организма.

Производство винограда является приоритетной отраслью для Республики Молдова. Планируемый рост производства винограда столовых сортов создает хороший сырьевой потенциал для переработки в случае получения излишков урожая или некондиционной продукции, снижая потери сырья и увеличивая добавочную стоимость конечного продукта.

В ряду столовых сортов винограда особенно ценными являются бессемянные сорта.

Сегодня в Молдове зарегистрированы следующие столовые сорта винограда с различной степенью бессемянности, созданные или интродуцированные в Национальном Институте Виноградарства и Виноделия (НИВВ): Apiren extra timpuriu, Apiren alb, Apiren negru de Grozeşti, I-15-15, Apiren roz Basarabean, Romulus (martor), Kalina

Молдавские бессемянные сорта винограда наряду с высокими органолептическими характеристиками, способны накапливать достаточно высокий уровень растворимых сухих веществ 22-24 %.

В настоящее время в Молдове действуют предприятия по сушке фруктов малой и средней мощности, имеются в эксплуатации туннельные сушилки с параллельным движением воздуха и высушиваемого продукта, в которых свежий продукт подвергается воздействию воздуха с высокой температурой.

Несмотря на огромный мировой объем производства сушеного винограда (более 500 тыс. т. в год), проблема улучшения процесса сушки привлекает к себе внимание многих исследователей.

В связи с расширением производства сушеных фруктов, повышением требований к их качеству и совершенствованием технологий производства, возникает необходимость в разработке новых способов сушки, обеспечивающих повышение качества и пищевой ценности плодов, снижение энергоемкости процесса, интенсификацию процесса сушки.

Вследствие этого большой интерес представляет применение новых способов сушки, в частности с использованием СВЧ энергии [2].

Применение полей СВЧ имеет целый ряд преимуществ: возможность высокой концентрации энергии в единице объема, способность СВЧ энергии проникать на значительную глубину продукта, отсутствие контакта с обрабатываемым продуктом, практически полное преобразование СВЧ энергии в тепло, выделяемое в нагреваемом продукте.

Применение полей сверхвысоких частот предоставляет возможность в несколько раз интенсифицировать процесс сушки сельскохозяйственной продукции [3, 4].

В настоящей работе исследовали сушку винограда конвективным и комбинированным методами. Опыты проводили на модернизированной лабораторной установке [5], созданной на базе микроволновой печи с номинальной мощностью 1,5 кВт.

Сушке подвергали бессемянный виноград сорта Кишмиш белый с содержанием сухих вещества в свежих плодах 20,0 %.

В первой части эксперимента изучали кинетику конвективной сушки винограда при температурах сушильного агента 70, 80, 90, 100 ºС и скорости воздуха 0,17 м/с. Первоначальная навеска винограда во всех опытах составляла 130 г. Процесс обезвоживания плодов проводили до достижения конечной влажности 20 % [6, 7]. В ходе эксперимента измеряли параметры воздуха до калорифера (начальную температуру t0 и относительную влажность воздуха φ0) и после калорифера t1 и убыль массы во времени.

Температура сушильного агента t1 автоматически поддерживалась постоянной.

На основе полученных экспериментальных данных были построены кривые сушки и скорости сушки винограда, представленные на рисунке 1.

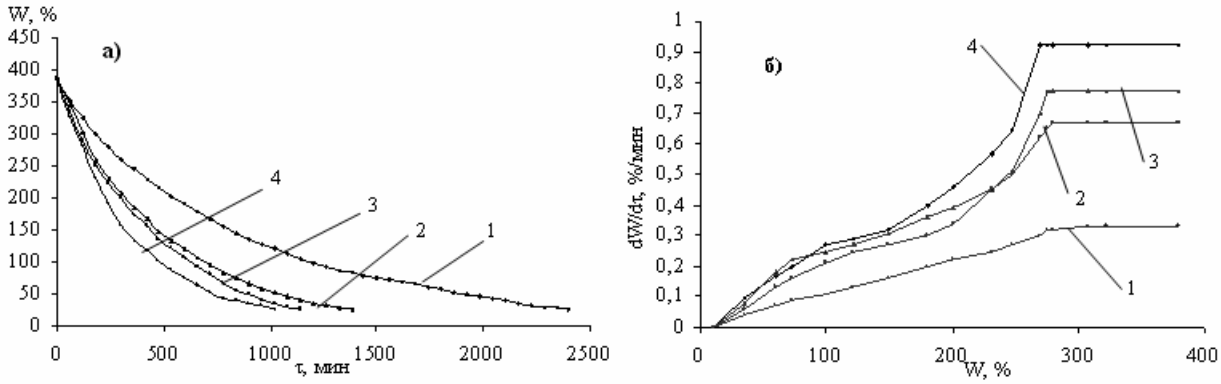


Рис. 1. Кривые сушки (а) и скорости сушки (б) винограда при конвективном энергоподводе для температуры сушильного агента: 1 – 70 ºС; 2 – 80 ºС; 3 – 90 ºС; 4 – 100 ºС

Таблица 1. Экспериментальные данные кинетики конвективной сушки бессемянного винограда типа Кишмиш

t_1, ^{0}C	$(d\omega/d\tau)_1$ %/мин	$\omega_{кр}$, %	K_I, %/с·м^2	$K_{II}\cdot10^4$ с$^{-1}$	τ_1, мин	τ_2, мин	$\tau_{общ.}$, мин	$\Delta\omega_1$, %	$\Delta\omega_2$, %	$\Delta\omega_2/\Delta\omega_1$	τ_2/τ_1	Q, kW
70	0,33	308	12,3	0,20	239	2383	2622	79	281	3,56	9,97	*23,4*
80	0,55	288	14,6	0,32	180	1511	1691	99	261	2,64	8,39	*13,7*
90	0,77	275	18,5	0,42	145	1171	1316	112	248	2,21	8,08	*13,6*
100	0,92	269	19,5	0,50	128	983	1111	118	242	2,05	7,68	*10,3*

Анализ экспериментальных данных показывает, что наиболее продолжительным является II период сушки, причем во II периоде удаляется влаги ≈ в 2-3,5 раза больше, чем в I периоде, а продолжительность II периода ≈ в 7,5-10 раз больше первого. Следовательно, необходимо интенсифицировать процесс сушки во втором периоде, т.е. внутренний тепло- и массоперенос.

Во второй части эксперимента исследовали комбинированную сушку винограда с использованием полей СВЧ. Опыты проводили при тех же параметрах сушильного агента по описанной методике. Наложение полей СВЧ проводили в импульсном режиме. Опытным путем была подобрана оптимальная величина импульсного режима τ' = 0,09.

На основе экспериментальных данных были построены кривые сушки и скорости сушки, которые представлены на рисунке 2.

Таблица 2. Экспериментальные данные комбинированной сушки бессемянного винограда типа Кишмиш

t_1, ^{0}C	$(d\omega/d\tau)_1$ %/мин	$\omega_{кр}$, %	K_I, %/с·м^2	$K_{II}\cdot10^4$ с$^{-1}$	τ_1, мин	τ_2, мин	$\tau_{общ.}$, мин	$\Delta\omega_1$, %	$\Delta\omega_2$, %	$\Delta\omega_2/\Delta\omega_1$	τ_2/τ_1	Q, kW
70	0,37	209	13,6	0,31	481	1355	1836	178	182	1,02	2,82	*21,4*
80	0,61	191	16,5	0,54	321	765	1077	196	164	0,84	2,38	*12,1*
90	1,03	219	24,5	0,75	163	593	756	168	192	1,14	3,64	*9,4*
100	1,57	203	31,6	1,10	117	408	525	184	176	0,96	3,49	*6,5*

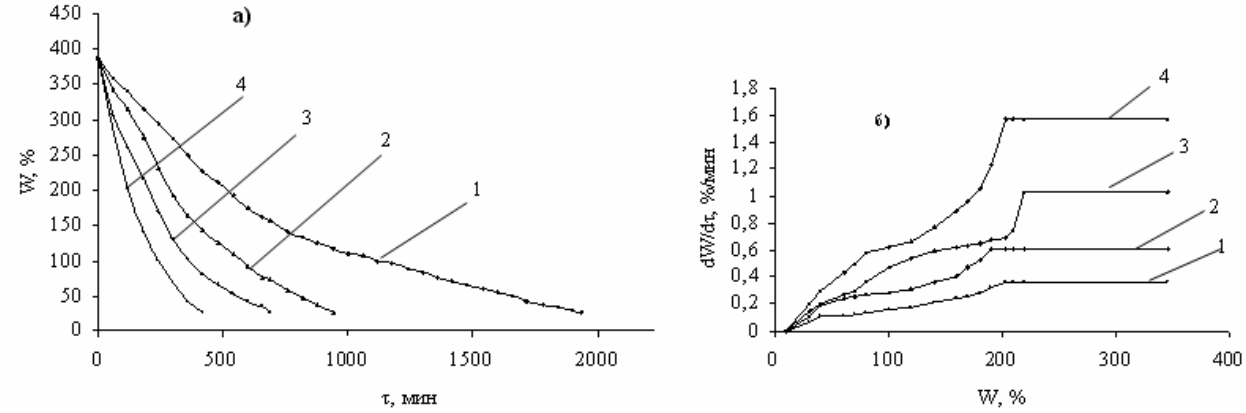


Рис. 2. Кривые сушки (а) и скорости сушки (б) винограда при комбинированном способе сушки для температуры сушильного агента:
1 – 70 ºС; 2 – 80 ºС; 3 – 90 ºС; 4 – 100 ºС

Из таблицы 2 видно, что скорость сушки в первом периоде увеличилась в 4,24 раза., а продолжительность сушки сократилась в 3,5 раза при изменении температуры от 70 ºдо 100 ºС.

Соотношение времени второго и первого периода составило 2,8-3,5, а при конвективной сушке это же соотношение составило 7,7-10.

Это свидетельсьвует о том, что наложение полей СВЧ действительно в большей степени интенсифицирует второй период сушки, т.е. внутренний тепло- и массообмен.

Сравнение характеристик комбинированного и конвективного способов сушки винограда приведено в таблице 3.

Таблица 3. Сравнение характеристик комбинированного и конвективного способов сушки винограда

t, ^{0}C	K_{Icomb}/ K_{Iconv}	K_{IIcomb}/ K_{IIconv}	τ_{Icomb}/ τ_{Iconv}	τ_{IIcomb} τ_{IIconv}/	τ_{comb}/ τ_{conv}	$\Delta\omega_{Icomb}$/ $\Delta\omega_{Iconv}$	$\Delta\omega_{IIcomb}$/ $\Delta\omega_{IIconv}$	Q_{comb}/ Q_{conv}
70	1,11	1,54	2,01	0,57	0,70	2,25	0,65	0,91
80	1,14	1,69	2,00	0,58	0,72	1,82	0,69	0,88
90	1,32	1,79	1,12	0,51	0,57	1,5	0,77	0,69
100	1,62	2,22	0,91	0,42	0,47	1,56	0,73	0,63

На основе проведенных исследований можно сделать некоторые выводы.

Характер кривых сушки и скорости сушки при наложении полей СВЧ не изменяется по сравнению с конвективной сушкой.

Наложение полей СВЧ позволяет интенсифицировать в большей степени второй период сушки, т.е. внутренний тепло- и массоперенос.

В результате применеия СВЧ энергии скорость сушки в первом периоде увеличилась в 4,24 раза., а продолжительность сушки сократилась в 3,5 раза при изменении температуры от 70 ºдо 100 ºС.

Соотношение времени второго и первого периода составило 2,8-3,5, а при конвективной сушке это же соотношение составило 7,7-10.

Общее время сушки сократилось в 1,4-2,1 раза, энергозатраты сократились на 9-37 % (в зависимости от температурного режима).

Список литературы: 1. Капрельянц Л.В. Пищевые продукты будущего.- Труды XI международной научной конференции «Совершенствование процессов и оборудования пищевых и химических производств», Одесса 2006 **2.** Рогов И. А., Некрутман С. В. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов.- М.: Агропромиздат, 1986 **3.** Лыков А. В. Теория сушки.- М., 1968 **4.** Першанов К. Л. Конвективно-высокочастотная сушка древесины.- М., 1963 **5.** A. Lupaşco, G. Dicusar, A. Moşanu, O. Lupu Influence du regime de sechage de la griotte par micro-undes sur la cousommation d´energie.- Actes du seminaire „Genie des procedes applique a l´agro-alimentaire", SAR 2004, Chişinău,2004 **6.** ГОСТ 6882-88 Виноград сушеный. Технические условия **7.** Силич А. А., Зозулевич Б. В., Поповский В. Г. Сушка плодов и винограда в туннельных сушилках.- М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.

РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИИ СПЛАВОВ Co – W:

Дикусар А.И., Петренко В.И., Рушика И.Л., Тиньков О. В., Цынцару Н.И.
(ТУМ, ИПФ АНМ, Кишинев, Молдова)

The influence of electrolyte bulk temperature interval on electrochemical synthesis of Co-W alloys has been studied. It is shown that at higher electrolyte bulk temperatures amorphous deposit develops into nanocristalline structure mainly consisting of a - cobalt.
It is shown that increase of electrolyte bulk temperature allows: to enlarge current efficiency, to ensure decrease of deposit fissuring; to increase the tungsten content in alloy.

Влияние условий электроосаждения на состав и свойства кобальт-вольфрамовых сплавов, полученных из цитратных электролитов были исследовано в[1 – 3].]. Как правило, осаждение в этих условиях приводит к образованию аморфных сплавов [2, 3].

В процессах электроосаждения при высоких плотностях тока и при наличии поверхностной пленки достаточно сложной природы, определяющей скорость осаждения, состав и свойства осажденного слоя роль поверхностной температуры, значительна,. Электроосаждение металлов группы железа с молибденом и вольфрамом представляет собой именно такой случай [4 – 6].

В настоящей работе описаны особенности электроосаждения до плотностей тока ~ 30 А/дм^2, что на порядок величины превосходит скорости осаждения обычно используемые для осаждения сплавов Co – W [1 – 3] и близки к используемым при хромировании из стандартного электролита.

Методика эксперимента

Осаждение Co – W покрытий проводили из цитратного электролита следующего состава, моль/л.: $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ – 0,05; $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,2; $C_6H_8O_7$ (лимонная кислота) – 0,04; $Na_3C_6H_5O_7$ (цитрат натрия) – 0,25, H_3BO_3 (борная кислота) – 0,65. Осаждение проводили в стационарных условиях по известной методике [3]. Объемная температура (T_0) осаждения – 20–56 °С. Поверхностную температуру T_s определяли по методике, описанной ранее [7, 8]. Диапазон изменения плотности тока i = 0,5 – 30 А/дм^2.

Состав и морфологию сплавов исследовали методами сканирующей электронной микроскопии и локального микрорентгеноспектрального анализа с применением сканирующего электронного микроскопа TESCAN и системы определения химического состава INCA Energy EDX.

Выход по току (ВТ) определяли весовым методом. Принятое для расчетов ВТ значение электрохимического эквивалента – 0,311 мг/Кл дает ошибку определения ВТ не более 1% при изменении состава сплава от чистого кобальта до вольфрама [3]. Вместе с Co-W из цитратной ванны, содержащей органические комплексообразователи также соосаждались углерод и кислород. В расчете состава сплава содержание этих элементов не учитывалось. Содержание вольфрама в сплаве определяли относительно общей массы металлической компоненты сплава (C_W / C_{Co+W} ,где C_W – содержание вольфрама в сплаве (вес. %), C_{Co+W} – суммарное содержание кобальта и вольфрама в сплаве (вес. %)).

Влияние условий электроосаждения на выход по току.

Изменение ВТ сплава в зависимости от плотности тока при различной объемной температуры изучали при двух вариантах эксперимента – при постоянной величине пропущенного заряда *(Q = const)* и постоянной длительнлости опыта (τ = *const)*). При относительно низких плотностях тока (i < 7 А/дм^2) в ряде случаев наблюдался значительный разброс получаемых величин ВТ. Так, при i = 3 А/дм^2 и T_0 = 20 °С в 5 параллельных опытах значения η изменялись от ~ 60 до ~ 90 % при среднем значении 78 ± 7% (q = 3,6·10^3 Кл/дм^2, τ = 20 мин). Во всех экспериментах повышение плотности тока приводило к более воспроизводимым результатам, но выход по току снижался (рис. 1).

При T_0 = 56 °С и изменении q от 2,4·10^3 до 1,2·10^4 Кл/дм^2 ВТ при 3 А/дм^2 изменялся произвольным образом в тех же пределах (~ 65% ÷ 80%), а при i = 9 А/дм^2 он сохранялся постоянным~ 66%. независимо от величины q (7 10^3 - 2,7 10^4 Кл/дм^2).

Непостоянство ВТ при определенных условиях отмечалось в [6]. При осаждении Co–W сплавов на медь их состав сильно варьирует в зависимости от толщины осадка. Состав сплава и ВТ взаимосвязаны, что, видимо, отражается на величине η.

При относительно низких плотностях тока (3 А/дм^2) ВТ сохраняется практически постоянным во всем диапазоне объемной температуры, но при более высоких i наблюдается линейная зависимость η от объемной температуры (рис. 2).

Состав, структура и морфология сплавов

Увеличение плотности тока, начиная с плотности тока 3 А/дм^2, приводит к резкому росту содержания вольфрама в сплаве от ~10% до 30%. Полученные результаты подтверждают данные работ [3, 9] о том, что содержание вольфрама увеличивается с ростом плотности пропущенного количества электричества.

При τ = 20 мин увеличение плотности тока приводило соответственно к росту величины пропущенного заряда и увеличению концентрации вольфрама в металлической части сплава. При этом также возрастала концентрация кобальта за счет уменьшения содержания органической фазы в сплаве, которая при i = 20 А/дм^2 полностью «вытеснялась» из осадка. При всех условиях осаждения бор отсутствовал в осажденных слоях, т.е. борная кислота только играет роль буферной добавки.

Увеличение температуры до 56% приводит к еще большему увеличению концентрации вольфрама – до 30% уже при i = 7 А/дм^2. С учетом того, что ВТ в этом диапазоне плотностей тока остается практически постоянным (рис. 1), приходим к выводу, что повышение объемной температуры увеличивает концентрацию вольфрама в сплаве.

При осаждении сплавов Co – W без буферирующей добавки (борной кислоты) при низких объемных температурах отмечалась высокая трещинноватость получаемых осадков[3]. В исследуемом электролите подобная морфология с глобулярными образованиями, как правило, наблюдается при комнатной температуре (рис. 3). Однако при повышении температуры образуются совершенно иные структура и морфология осадка (рис. 3б, рис. 4). В этом случае появляется кристалличность осажденной пленки, а, учитывая размеры кристаллитов (см. рис. 4), можно говорить о получении нанокристаллического осадка. Данные рентгеновского фазового анализа подтверждают это предположение. Образующийся нанокристаллический слой содержит только кобальтовую составляющую из α – кобальта.

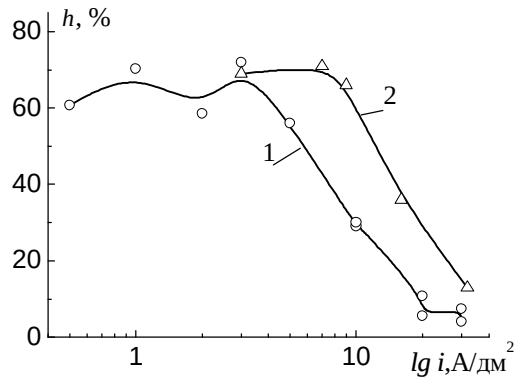


Рис. 1. Зависимость выхода по току от плотности тока при T_0 – 22°С (*1*) и 56°С (*2*).

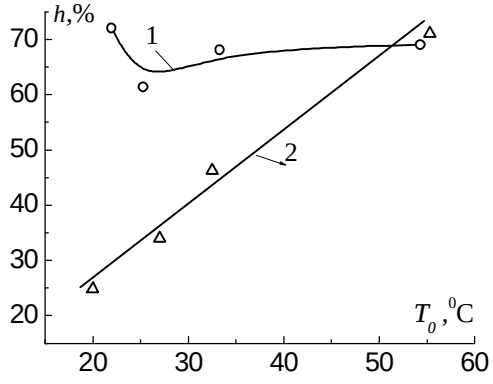
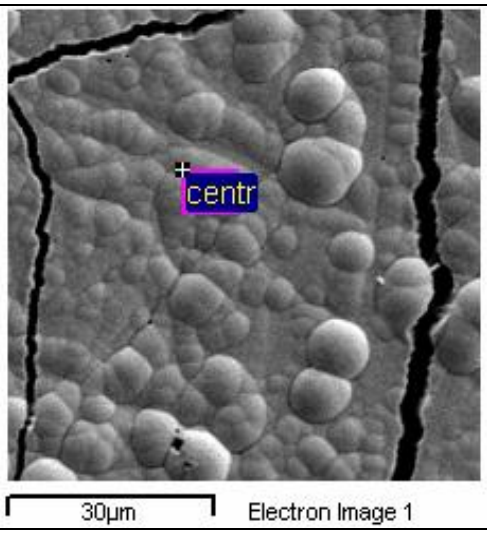


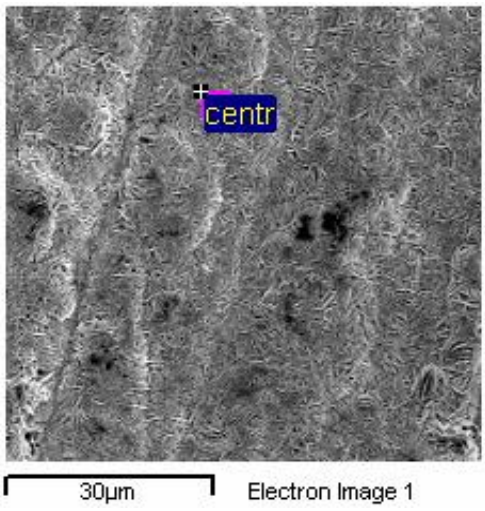
Рис. 2. Зависимость выхода по току от T_0 при i – 3 А/дм^2 (*1*) и 7 А/дм^2 (*2*).

Ранее отмечалось [10], что полученные аморфные сплавы вольфрама с металлами группы железа представляют собой наноструктуры с размером кристаллитов ~ 50Å. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что в определенных условиях могут

образовываться наноструктуры гораздо больших размеров (с длиной веретенообразных кристаллов до 5 мкм) (рис. 4).



а



б

Рис. 3. Поверхность сплавов Co – W после электроосаждения при i= 3 А/дм^2 и температуре 22 *(а)* и 56°С (*б)*

При увеличении плотности тока глобулярная структура сохраняется (рис. 5). Размеры глобул различны в центре и на краях образца, что связано с неравномерностью распределения тока, а, следовательно, скоростей роста глобул. Размеры глобул увеличиваются с ростом плотности тока, но также и при росте толщины осадка. Но во всех случаях при высоких температурах наблюдается отсутствие трещиноватости. Природа наблюдаемых эффектов требует дальнейших исследований. Однако, использование высоких объемных температур расширяет возможности управления не только скоростью электроосаждения, но и составом и структурой получаемых слоев.

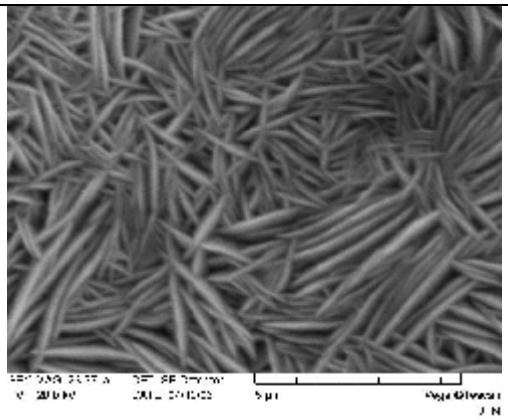


Рис. 4. Поверхность сплава Co – W после электроосаждения при i= 3 А/дм^2 и T_0 = 56°С (большое увеличение).

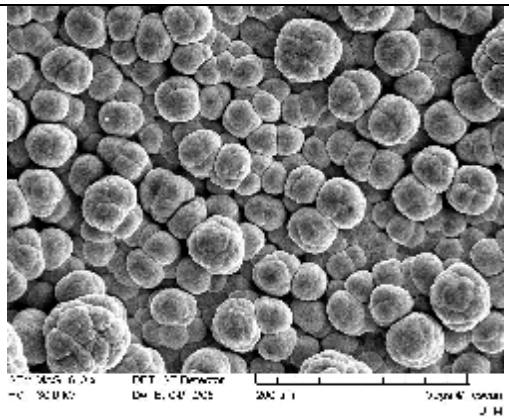


Рис. 5. Поверхность сплава Co – W после электроосаждения при i= 9 А/дм^2 и T_0 = 56°С

Превышение поверхностной температуры по сравнению с объемной (ΔT_s) при электроосаждении сплава растет во времени, то есть при увеличении толщины осадка и

не превышает ~ 1,7°С. Причем она не зависит от плотности тока. В этом принципиальное отличие от особенностей поверхностного тепловыделения при анодном растворении различных металлов и катодном осаждении хрома [7, 8].

Независимость ΔT_s от i связано, очевидно, с изменением состава пленки при росте плотности тока и «вытеснении» органической фазы из пленки. Изменение сопротивления пленки в зависимости от соосаждения компонентов электролита отмечались ранее. При росте i пленка становится более «металлической», что приводит к уменьшению ее сопротивления и снижению поверхностного тепловыделения в ней, а также увеличению выхода по току водорода (рис. 1) [11, 12].

Выводы:

Исследование влияния температуры на скорость осаждения, состав, морфологию и структуру сплавов Co – W, осаждаемых из цитратного электролита с добавкой борной кислоты в широком интервале плотностей тока (0,5 – 30 А/дм^2) показывает, что увеличение объемной температуры позволяет: а) расширить интервал плотностей тока, в которой осаждение сплава осуществляется с наибольшим выходом по току; б) уменьшить трещинноватость осадков; в) повысить содержание вольфрама; г) расширить возможности управления морфологией и структурой сплава.

При увеличении температуры возникает возможность формирования нанокристаллической структуры сплава, состоящей в основном из α – кобальта. Изменение состава сплава и увеличение доли металлической составляющей в образующейся пленке при росте плотности тока приводит к увеличению выхода по току водорода и существенному снижению влияния плотности тока на величину приращения поверхностной температуры при электроосаждении.

Работа частично финансировалась в рамках программы INTAS – Moldova (грант № INTAS 05-104-7540).

Список литературы: **1**. Capel H., Shipway P. H., Harris S. J., Sliding Wear Behavior of Electrodeposited Cobalt-Tungsten and Cobalt- Tungsten-Iron alloys // Wear. 2003. V. 225. P. 917 – 923. **2**. Ibrahim M. A. M., Abel El Kehim S. S. , Moussa S. O. Electrodeposition of Nanocrystalline Cobalt-Tungsten alloys from Citrate Electrolyte // J. Appl. Electrochem. 2003. V. 33. P. 627 – 633. **3**. Бобанова Ж. И., Петренко В. И., Силкин С. А., Ющенко С. П., Яхова Е. И. Электроосаждение аморфных сплавов Co – W: роль гидродинамических условий // Электронная обработка материалов. 2005 №6. с. 86 – 91. **4**. Brenner F. Electrodeposition of Alloys. New York. Academic Press Inc. 1963. **5**. Васько А. Т. Электрохимия молибдена и вольфрама. Киев. 1977. **6**. Podlaha T. J., Landolt D. Induced Codeposition. I. Experimental Investigation of Ni –Mo Alloys // J. Electrochem. Soc. 1996. V. 143. P. 885 – 892. **7**. Цынцару Н. И. Термокинетические явления при электроосаждении хрома из стандартного электролита // Электронная обработка материалов. 2003 №6. с. 15 – 18. **8**. Цынцару Н. И., Бобанова Ж. И., Дикусар А. И. Влияние поверхностного выделения тепла на скорость хромирования при импульсном электроосадении из стандартного электролита // Электронная обработка материалов. 2004 №6. с. 4 – 8.**9**. Donten M., Gromulski T., Stojek Z. The Interface between Metallic Substrates and Layers of Electrodeposited Co – W Amorphous Alloys // J. Alloys and Compoudns 1998. V. 279. P. 272 – 278. **10**. Donten M., Stojek Z., Celius H. Formation of Nanofibers in Thin Layers of Amorphous Alloys with Ni, Co and Fe obtained by Electrodeposition // J. Electrochem. Soc. 2003. V. 150. № 2. p.p. C. 95 – 98. **11**.Гамбург Ю. Д. Электрокристаллизация металлов и сплавов. М. «Янус – К». 1997. **12**. Гамбург Ю. Д. Структура и свойства меди, осажден-

ной из сернокислого электролита в присутствии о-фенантролина // Электрохимия. 1978. № 12. с. 1865 – 1869.

НАУКОВО – МЕТОДИЧНИЙ ДОСВІД ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ “СИСТЕМИ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ”

Дубровська Г.М., Осауленко І.А. *(ЧДТУ, м.Черкаси, Україна)*

In the article ChSTU achievements for the improvement of scientific bases and problems of studying in a technological higher educational institution of the subject “Systems of modern technologies” are submitted. The existing condition of “SMT” curricula and programs in Ukraine require revision and bringing into conformity with scientific and technical achievements.

Починаючи з 1992 року в Черкаському державному технологічному університеті періодично змінюються робочі програми курсу “ССТ” (Системи сучасних технологій) для студентів економічних спеціальностей.

Основна відмінність робочої програми, яка була розроблена в 2005 – 2006 навчальному році полягала в тому, що крім розділів по основним хімічним технологіям і технологіям машинобудування та енергетики, включені розділи по інтенсифікації виробництва, нанотехнології і інформаційні технології, а також розділи по електронній обробці. Крім того в програму включені нові технології власних університетських робіт, які підтверджені заявками на винахід.

Ціль такого підходу до програми “ССТ” – підготовка спеціалістів – економістів, які володіють аналітичним мисленням і технологічним підходом з точки зору техніко – економічних показників (ТЕП) по новим технологічним процесам, які застосовуються на рубежі XX – XXI століття.

Задача курсу “Системи сучасних технологій” полягає у вивченні і вибору оптимальних видів технологічних процесів, сировини, енергії, палива у визначенні ефективних напрямків науково – технічного прогресу в промисловість. Необхідно, щоб студенти вміли аналізувати існуючу технологію і зрозуміти необхідність впровадження нової техніки і технології у виробництво.

Програма складена з урахуванням нових досягнень природничих і технічних наук. “Технологічні” відносини між галузями промисловості включають взаємовідносини в процесі виробництва “людина – наука – техніка – виробництво”.

В програмі передбачено великий об’єм самостійної роботи студента (особливо по сировинній базі галузей промисловості і енергетичних характеристик підприємства). Наприклад, студенту пропонується задача [1] по науковому обґрунтуванню можливості зміни структури використання енергії в хімічному виробництві:

- хімічна промисловість мінеральних добрив:
  - паливо – 31,5%
  - теплова енергія – 30%
  - електрична енергія – 38,5%
- нафтопереробна і нафтохімічна промисловість:
  - паливо – 42,2%
  - теплова енергія – 43,4%
  - електрична енергія – 14,4%

В своїх розрахунках ТЕП по новим технологічним процесам студенти враховують обов'язково такі вимоги:

1.Електроспоживання в хімічній промисловості має свою особливість: споживання великої кількості палива, електричної та теплової енергії, що є передумовою вибору джерела електропостачання (ТЕЦ, ГЕС, конденсаційні теплові електростанції).

2.Основними принципами вибору енергоресурсів для хімічної промисловості є:

- максимальне наближення хімічних виробництв до джерел палива та енергії;
- зменшення норм витрат паливно – енергетичних ресурсів на одиницю продукції та вибір найбільш економічних енергоносіїв;
- вибір виду палива для основного виробництва та для одержання вихідної сировини;
- максимальне використання вторинних паливно – енергетичних ресурсів.

3.Використання вторинних енергоресурсів (ВЕР) є одним з важливих напрямків економії палива та електроенергії в промисловості. Вторинні ресурси – це енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних та проміжних виробів, які утворюються в технологічних агрегатах і не використовуються для енергозабезпечення інших агрегатів. Вони розподіляються на паливні, теплові та механічні.

До паливних ВЕР відносять паливні гази (відходи виробництва технічного вуглецю, абсорбційні гази, метановодневі фракції і інше). До теплових ВЕР відносять фізичне тепло вихідних димових газів технологічних печей, тепло контактних газів, гази регенерації каталітичного крекінгу, тепло охолоджувальної води після скруберів – конденсаторів, теплообмінної апаратури, тепло відпрацьованої пари. До механічних ВЕР відносять енергію стиснутих газів та рідин, яка виникає в технологічних процесах.

4. Параметри вторинних енергоресурсів змінюються в широкому діапазоні – від високо потенціальних (температура більш як 400 ^{o}C до середньопотенціальних температура 250 – 400 ^{o}C) та низькопотенціальних (температура менш як 250 ^{o}C).

5.Особливістю хімічної промисловості є те що більшість ВЕР, які виникають в технологічних процесах, є низько потенціальними (температура 100 – 250 ^{o}C) – це димові гази, вентиляційні викиди, що ускладнює їх застосування, крім цього вони мають шкідливі домішки, які потрібно знешкоджувати. Отримані в хімічних та нафтохімічних виробництвах ВЕР можуть бути використані як паливо або перероблені в інші енергоносії в утилізаційному устаткуванні. Останнє залежить від трьох факторів – кількості ВЕР за одиницю часу, ступеня безпосереднього їх отримання, рівню температури.

6.Досвід окремих підприємств, що використовують ВЕР. Розрахунки показують економічну вигоду, так, термін окупності капіталовкладень в утилізаційне устаткування становить до 1,0 – 1,5 років.

Такі ж принципи вибору енергоресурсів повинні бути і в машинобудуванні. Однак у робочій програмі це не передбачено, так як кількість годин на виконання практичних робіт мінімальна (17 годин).

Проблеми технології і економіки та викладання дисципліні "ССТ"

Забезпечення сталого розвитку економіки потребує впровадження у виробництво нових прогресивних технологічних процесів з одночасним підвищенням якості управління соціально – економічними процесами на всіх рівнях. В той же час основні показники інноваційної діяльності залишаються на досить низькому рівні. Наприклад, за кількістю поданих заявок на винаходи в розрахунку на 100 тисяч населення Україна суттєво поступається провідним країнам ЄС (зокрема Німеччині більш як у 5 разів) [2]. Не кращим чином вирішуються й питання впровадження новітніх розробок. Оскільки

для реалізації інноваційного проекту потрібно в середньому 1 – 2 млн.доларів на термін 3 – 4 роки, вітчизняні наукові центри не мають достатнього фінансування, нерідко вимушені відмовлятись від впровадження власних розробок або продавати їх зарубіжним фірмам на невигідних умовах.

Іншим важливим питанням є підготовка фахівців здатних ефективно працювати в нових умовах. З одного боку, це стосується спеціалістів інженерно – технічного профілю, які повинні мати окрім загальноінженерної достатньо високу підготовку в галузі інформаційних технологій, менеджменту, навички системного мислення, лідерської якості, володіти іноземною мовою на рівні, необхідному для дослідження зарубіжних досягнень в своїй галузі. З іншого боку, від фахівців з економіки та менеджменту вимагається знання прогресивних напрямків науки і техніки, вміння визначати основні техніко – економічні показники обладнання та продукції, розробляти бізнес – плани інноваційних проектів для залучення інвестицій, організовувати матеріально – технічне, фінансове та кадрове забезпечення проектів на всіх стадіях життєвого циклу оцінювати конкурентоспроможність розробок, забезпечувати ефективне використання та захист інтелектуального потенціалу підприємства.

Наступна проблема – використання експертних систем для прикладної інформатики. Головна розбіжність між ними і звичайними банками даних мало зрозуміла студентам.

Експертні системи використовують символічну логіку і евристичні знання для прийняття оптимальних рішень. Вони ефективні для більшості розділів технологічної науки – в областях де достовірність оцінок, прогнозованих на основі теоретичних розробок, недостатньо висока [3].

В наш час дисципліна ССТ не є нормативною і в Міністерстві освіти і науки України відсутня типова навчальна програма по предмету “ССТ”. На наший погляд дисципліна “Системи сучасних технологій” є ключовою у підготовці економістів, особливо в технічних університетах [4].

Більшість завідувачів кафедри економіки ВНЗ вважають, що ця дисципліна повинна бути віднесена до нормативних дисциплін, а не за вибором університету.

Освітянська сфера України поки що має переваги стосовно можливості викладання дисципліни, яка підкреслює переваги України в науково – технічному потенціалі в порівнянні з іншими країнами.

Список літератури: 1. Дубровська Г.М., Ткаченко А.П. Системи сучасних технологій: навчальний посібник / за ред. А.П. Ткаченка – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 352с. 2. Осауленко І.А. Системи технологій конспект лекцій, ЦНТЕІ, Черкаси, 2004, 56с. 3. Кладкий П.В., Демченко В.Ф., Рябцев И.А., Козлитина С.С. Экспертная система по технологиям механизированной электродуговой наплавки, Сварочное производство, 1996, №2, с. 23 – 26. 4. Загорский В.А., Усов М.В., Сумин Д.В. и др. Менеджмент и отраслевая наука – основа процесса подготовки экономистов в высшей школе // Менеджмент: теория, практика и пути развития. – С – Петербург: Изд – во “Нестор”, 1999. – с. 37 – 38.

РЕОЛОГИЯ И ДЛИТЕЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Думанский А.М., Алимов М.А., Лямзин В.А.
(ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, МГТУ им. Баумана, г. Москва, Россия)

An analysis of glass-fiber reinforced plastics long term properties based on hereditary mechanics relationships was suggested.

Механические свойства стеклопластиков существенно зависят от времени, поэтому создание методов оценки их характеристик длительного разрушения, связанных с их реологическими свойствами представляет собой актуальную задачу. В данной работе рассматриваются закономерности длительного деформирования и разрушения равнопрочного стеклопластика АГ-4С с укладкой слоев 1:1.

Процесс разрушения материалов тесно связан с процессом их деформирования и является финальной стадией их деформирования. Механические свойства стеклопластиков существенно зависят от времени, поэтому оценка их предельного состояния может осуществляться с помощью определяющих соотношений наследственного типа. В частности, для описания реологии равнопрочного стеклопластика АГ-4С при плоском напряженном состоянии в [1] предложены следующие соотношения

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{1}{E_1}\left(1+k\mathcal{Э}_a^*\left(-b\right)\right)s_1 - \frac{n_{21}}{E_2}s_2 \\ e_2 &= -\frac{n_{12}}{E_1}s_1 + \frac{1}{E_2}\left(1+k_2\mathcal{Э}_a^*\left(-b\right)\right)s_2 \\ g_{12} &= \frac{1}{G_{12}}\left(1+g\,\mathcal{Э}_a^*\left(-b\right)\right)t_{12}, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $\mathcal{Э}_a^*\left(-b\right)\cdot s = \int_0^t \mathcal{Э}_a^*\left(-b, t-t\right)s\left(t\right)dt$, $\mathcal{Э}_a\left(-b,t\right) = t^{1+a}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\left(-bt^{1+a}\right)^n}{\Gamma\left(\left(1+a\right)\left(1+n\right)\right)}$ - дробно-экспоненциальная функция Работнова. Дробно-экспоненциальный оператор Работнова представляет собой слабосингулярный ограниченный оператор. Параметры определяющих соотношений (1), определенные в [1] получены путем обработки данных при растяжении образцов из стеклопластика АГ-4С под разными углами к направлению ортотропии при относительно невысоких уровнях напряжений. Результаты обработки опытных данных на ползучесть при повышенных напряжениях, приведенные в [2,3] показывают наличие незатухающих деформаций, описываемых степенной функцией, которая приводит к необходимости использования в соотношениях (1) операторов Абеля $I_{\bar{a}}^*\cdot s = \int_0^t \frac{\left(t-t\right)^{\bar{a}}}{\Gamma\left(1+\bar{a}\right)}s\left(t\right)dt$ вместо дробно-экспоненциальных операторов Работнова. Отмечается, что при напряжениях до уровня 0,5-0,6 от предела статической прочности s_b наблюдается затухание ползучести, которое продолжается в течение 120-150 часов.

Проведем обработку опытных данных на ползучесть равнопрочного стеклопластика АГ-4С, приведенных в [3] при растяжении в направлении ортотропии. Поскольку значения упругих свойств и параметры дробно-экспоненциальной функции Работнова в

(1) были определены в [1], для получения параметров ядра Абеля выбирались опытные точки кривых ползучести при значениях напряжений порядка 0,5-0,6 s_b.

Определяющее соотношение ползучести для определения параметров ядра Абеля при односном нагружении имеет вид

$$e(t) = e_0\left(1 + \frac{l}{\Gamma(2+\bar{a})}t^{1+\bar{a}}\right), \qquad (2)$$

где e_0 - значение упругой деформации. Проведя линеаризацию соотношения (2) получаем соотношение удобное для определения параметров ядра Абеля

$$\lg\left(\frac{e(t)}{e_0} - 1\right) = \lg\frac{l}{\Gamma(2+\bar{a})} + (1+\bar{a})\lg t\,. \qquad (3)$$

Полученные значения параметров ядра Абеля оказались равны: $\bar{a} = -0{,}925$, $l = 1{,}068$. Сравнение расчета и опытных данных приведено на рис. 1. Коэффициент корреляции линеаризованных данных составил 0,91.

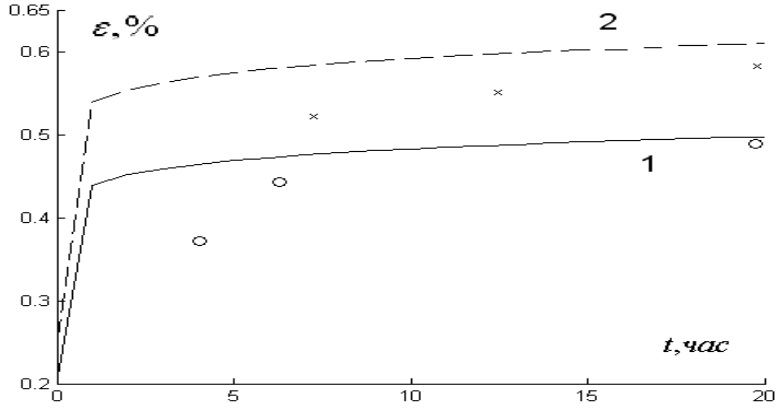


Рис. 1. Экспериментальные точки и расчетные кривые ползучести равнопрочного стеклопластика АГ 4С, **1** – 120 МПа, **2** – 140 МПа.

Можно отметить, что на точность определения параметров определяющего соотношения существенное влияние оказывают значения начальных деформаций.

При напряжениях б**о**льших 0,5-0,6 предела прочности в процесс ползучести стеклопластика включается накопление повреждений, связанное с разрывом волокон, а также деформации обусловленные перераспределением напряжений между поврежденными областями [3]. В этом случае затухания ползучести не наблюдается.

Сравнение статической прочности однонаправленного и равнопрочного стеклопластика показывает, что значения их предельных деформаций примерно равны и составляют 1,56 и 1,60% соответственно [4], поскольку определяются предельной деформацией волокон несущего слоя. Причем если диаграмма деформирования однонаправленного материала линейна вплоть до разрушения, то диаграмма деформирования равнопрочного стеклопластика нелинейная [2,4]. Нелинейность диаграммы равнопрочного материала связана с нелинейностью слоя 90^0, который, в процессе нагружения, долю своей нагрузки передает слою 0. Нагружения с постоянными скоростями нагружения и деформирования не могут считаться эквивалентными. Для того чтобы оценить кривую деформирования при постоянной скорости деформирования проведем обращение нелинейного определяющего соотношения Работнова [1]

$$j\left(e\right)=\left(1+l_0 I_{\bar{a}}^{*}\right)s\ , \tag{4}$$

где $j\left(e\right)$ - кривая мгновенного деформирования, которая может соответствовать реальной кривой деформирования при скорости при которой не проявляется эффект ползучести. Обращенное уравнение (4) будет иметь следующий вид

$$s=\left(1-l\,\Im_{\bar{a}}^{*}\left(-l\right)\right)j\left(e\right)=j\left(e\right)-l\,\Im_{\bar{a}}^{*}\left(-l\right)j\left(e\right). \tag{5}$$

Примем аппроксимацию кривой мгновенного деформирования в виде $j\left(e\right)=Ee^{k}$, характеризуемую двумя параметрами E и k, числовое значение которых можно определить, в частности, по результатам испытаний на скоростное деформирование. При малых значениях времени дробно-экспоненциальная функция близка оператору Абеля, поэтому после вычислений определяющее уравнение при нагружении с постоянной скоростью деформирования $\dot{e}$ примет следующий вид

$$s=E\left(t^{k}-l\,B\left(\bar{a},k\right)t^{1+\bar{a}+k}\right)\dot{e}^{k}, \tag{6}$$

где $B\left(\bar{a},k\right)$ - бета-функция.

К сожалению, авторы не располагали надежными опытными данными необходимыми для определения параметров кривой мгновенного деформирования, однако некоторые качественные оценки могут быть сделаны. С помощью преобразований из соотношения (6) может быть получено выражение для модуля как функции деформации и скорости деформации

$$E\left(\dot{e},e\right)=E\left(1-l\,B\left(\bar{a},k\right)\left(\frac{\dot{e}}{e}\right)^{1+\bar{a}}\right). \tag{7}$$

Из (7) следует, что модуль растет с ростом скорости деформирования и убывает с ростом деформации.

Используя полученное определяющее соотношение (2), проведем анализ опытных значений длительной прочности равнопрочного стеклопластика. Предполагая, что деформирование материала происходило только в результате ползучести, получены примерно одинаковые значения предельных значений деформации, с небольшой тенденцией к уменьшению. Среднее значение предельных деформаций составило 1,68 %, чуть больше предельного значения деформации при квазистатическом нагружении, равного 1,60 %. Такая закономерность находится в пределах статистической погрешности и говорит в пользу принятия критерия разрушения, основанного на предельном значении деформации. Критерий разрушения при длительном статическом нагружении с учетом сделанных предположений будет иметь следующий вид

$$s=\frac{j\left(e_{*}\right)}{1+\dfrac{l}{\Gamma\left(2+\bar{a}\right)}t_{*}^{1+\bar{a}}}, \tag{8}$$

где s, e_{*}, t_{*} - предельные значения напряжений, деформаций и времени до разрушения соответственно. Если нагрузки малы, тогда вместо временной части стоящей в выражение (8) подставляется соответствующее выражение для дробно-экспоненциальной функции. Наличие асимптотики дробно-экспоненциальной функции приводит к появлению предела длительной прочности, т.е. такого значения меньше которого время жизни образца будет неограниченно.

Значения предельных деформаций, полученные с помощью выражения (2), вычислены исходя из линейности вязкоупругих свойств материала, т.е. $j\left(e\right)=Ee$. С уче-

том неупругих свойств кривая длительной прочности будет располагаться ниже. При обработке опытных данных, не включающих деформационные характеристики можно принять $j(e_*) = s_*$, где s_* - константа критерия разрушения (8).

Рассматривая образец из равнопрочного стеклопластика как двухслойную пластину, используя соотношения теории слоистых пластин можно предложить схему расчета нагрузки действующей на каждый слой. В начальный момент времени, если напряжения следуют соотношениям теории слоистых пластин, 71% внешней нагрузки приходится на слой 0 и 21% на слой 90. Предполагая, что внешняя нагрузка постоянна, а деформации слоев одинаковы в соответствии с принятыми гипотезами вследствие различия реологических свойств слоев будет происходить перераспределение напряжений между слоями. Причем в силу условия равновесия сумма нагрузок на слои будет одна и та же.

Для качественной оценки перераспределения напряжений между слоями сведем задачу к одномерному линейному варианту. Условие равновесия приводит к следующему выражению

$$\left[E_0\left(1 - l_0 F_0^*(r_0)\right) + E_{90}\left(1 - l_{90} F_{90}^*(r_{90})\right)\right] e = \bar{s}, \tag{9}$$

где $F_0^*(r_0)$ и $F_{90}^*(r_{90})$ - резольвентные операторы, описывающие релаксацию слоя в направлениях 0 и 90, $\bar{s}$ - напряжения, определяющее внешнее воздействие.
Из (9) получаем выражение для деформации пакета

$$e = \frac{s\bar{s}}{1 - s\,l_0 E_0 F_0^*(r_0) - s\,l_{90} E_{90} F_{90}^*(r_{90})} = s\left(1 + \Lambda R^*(m)\right)\bar{s}, \tag{10}$$

где $s = \left(E_0 + E_{90}\right)^{-1}$, $R^*(m)$ - обобщенная резольвента линейной комбинации операторов $F_0^*(r_0)$, $F_{90}^*(r_{90})$. Тогда напряжения в слое 0 будут следовать соотношению

$$s_0(t) = E_0\left(1 - l_0 F_0^*(r)\right)\left(1 + \Lambda R^*(m)\right)\bar{s}. \tag{11}$$

Предполагаем, что ползучесть в направлении 0 значительно меньше ползучести в направлении 90, что означает $l_0 = l_{90}$. Тогда выражение (11) принимает вид

$$s_0(t) = E_0\left(1 + s\,l_{90} E_{90} R_{90}^*\left(r_{90} + s\,l_{90} E_{90}\right)\right)\bar{s}, \tag{12}$$

где $R_{90}^*(\ )$ - оператор, резольвентный по отношению к оператору $F_{90}^*(r_{90})$.
Из (12) видно, что напряжения в слое 0 возрастают с течением времени, несмотря на то, что внешняя нагрузка на пакет может оставаться постоянной. Рассмотренные соотношения не учитывают накопление повреждений, которые также могут иметь место в слое 90 в процессе нагружения.

Список литературы: 1. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. – М.: Наука, 1977. – 384 с. **2.** Конструкционные свойства пластмасс //Под общей редакцией Р.М. Шнейдеровича и И.В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1968. – 212 с. **3.** Бажанов В.Л., Гольденблатт И.И., Копнов В.А., Поспелов А.Д., Синюков А.М. Пластинки и оболочки из стеклопластиков. – М.: Высшая школа, 1970. – 408 с. **4.** Назаров Г.И., Сушкин В.В., Дмитриевская Л.В. Конструкционные пластмассы. Справочник. – М.: Машиностроение, 1970. – 1973. – 192 с. **5.** Малинин Н.И. Исследование длительной прочности стеклопластиков АГ-4С. – Пластические массы, 1964. - № 9. – С. 44-47.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ СТАНОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Ерохин В.В. (*БГТУ, г. Брянск, Россия*)

The Article is denoted the questions of methodology of determination of optimum design parameters of quality of machine adjustments depending on execution it working characteristics on criterion of minimum of labor expenseses.

Основным требованием, которым должно обладать станочное приспособление, является его точность.

Под точностью станочного приспособления будем понимать обеспечение им заданных параметров точности размеров, отклонений формы и расположения, волнистости и шероховатости обрабатываемой резанием поверхности заготовки.

На параметры точности приспособления влияют его эксплуатационные свойства, такие как прочность, контактная прочность, усталостная прочность, жесткость, контактная жесткость, износостойкость, трение, виброустойчивость, зажимная способность, постоянство размеров. В этом случае проектирование приспособления всегда необходимо проводить с учетом совокупности его эксплуатационных свойств, которые должны обеспечить выполнение необходимых параметров точности приспособления. Для обеспечения эксплуатационных свойств приспособления конструктор технологической оснастки должен назначить проектные параметры на конструирование приспособления или его деталей, т.е. параметры качества поверхностного слоя, физико-химико-механических свойств и зерновой структуры материалов деталей приспособлений.

Если накоплен достаточно большой научный потенциал по математической формализации взаимосвязи параметров точности обрабатываемой заготовки с проектными параметрами конструирования приспособления, которые учитывают совокупность эксплуатационных свойств приспособления, тогда возможно решение обратной задачи по определению проектных параметров приспособления в зависимости от заданных параметров качества обрабатываемых поверхностей заготовки (или сборки деталей и сборочных единиц).

Если проанализировать градиенты влияний проектных параметров качества приспособлений на составляющие показатели точности станочного приспособления на этапе его конструирования, то можно заключить, что выбор или расчет проектных параметров носят многокритериальный характер (относительно эксплуатационных свойств), что обязывает конструктора технологической оснастки решать оптимизационные задачи по определению оптимальных параметров качества приспособления.

Для расчета оптимальных, эффективных и рациональных проектных параметров качества станочного приспособления и его деталей необходимо иметь набор математических зависимостей между параметрами точности приспособления и его проектными параметрами, а также между проектными параметрами качества приспособления и трудовыми затратами.

При этом под оптимальными проектными параметрами будем понимать параметры, значения которых дискретны и определяют заданные параметры точности приспособления (ε_y, $ET_{пр.нт}$ и $ET_{пр.д}$, $A_{пр.w}$, $A_{пр.ш}$) при минимальных значениях трудовых затрат на изготовление приспособления или его деталей.

Здесь ε_y – погрешность установки обрабатываемой заготовки в приспособлении; $ET_{пр.нт}$, $ET_{пр.д}$ – составляющие погрешности формы и расположения обрабатываемой поверхности заготовки, обусловленные соответственно неточностью изготовления приспособления и его деформациями, в направлении измерения параметров макроотклонений; $A_{пр.w}$, $A_{пр.ш}$ – максимальные амплитуды периодических колебаний приспособления в направлении нормальном обрабатываемой поверхности заготовки, соответственно формирующих волнистость и шероховатость обрабатываемой поверхности.

Эффективные параметры – это параметры, которые определяют минимумы значений ε_y, $ET_{пр.нт}$ и $ET_{пр.д}$, $A_{пр.w}$, $A_{пр.ш}$ при непрерывных и дифференцируемых значениях проектных параметров.

Рациональные параметры – это параметры, которые определяют минимумы значений ε_y, $ET_{пр.нт}$ и $ET_{пр.д}$, $A_{пр.w}$, $A_{пр.ш}$ при дискретных и не дифференцируемых значениях проектных параметров. Так при нормировании шероховатости ее параметры ***Ra***, ***Rz*** и ***R***max являются дискретными величинами, согласно соответствующим размерным рядам.

За критерий оптимальности принимаем условие минимальности времени и себестоимости обеспечения проектных параметров приспособления, при одновременном соблюдении условия обеспечения заданной точности и работоспособности приспособления. В этом случае необходимо ввести экспертный параметр оптимальности, определяемый как

$$Kx_{ji} = (Tx_j \cdot Cx_j)_i,$$

где Kx_{ji} – экспертный параметр оптимальности по проектному параметру x_j (например, $x_1 = Ra$, $x_2 = Wz$ и т.д.) руб.·ч; Tx_j – время обеспечения проектного параметра детали приспособления, ч.; Cx_j – себестоимость обеспечения проектного параметра детали приспособления, руб.; i – значение дискретно изменяемого проектного параметра x_j.

Принимая вид зависимости между проектными параметрами качества приспособлений и трудовыми затратами, необходимыми для их обеспечения, экспоненциальный (рис. 1), экспертный параметр оптимальности имеет вид

$$Kx_{ji} = \frac{Kx_{j.эт1} \ln\left(\frac{x_{j.эт1}}{x_{j.эт2}}\right) + \left(Kx_{j.эт1} - Kx_{j.эт2}\right)\ln\left(\frac{x_{ji}}{x_{j.эт2}}\right)}{\ln\left(\frac{x_{j.эт1}}{x_{j.эт2}}\right)},$$

где $Kx_{j.эт.1}$, $Kx_{j.эт.2}$ – экспертные параметры оптимальности по проектному эталонному параметру x_j соответственно при первом и втором эталонных значениях x_j (определяются из условий конкретного производства изготовления приспособлений или по методу экспертных оценок) руб.·ч; $x_{j.эт.1}$, $x_{j.эт.2}$ – эталонные значения проектных параметров по которым определяются соответствующие им значения Tx_j·и Cx_j, тем самым и $Kx_{j.эт.1}$, $Kx_{j.эт.2}$; x_{ji} – проектный параметр качества приспособления при каком-либо значении i.

Эффективные параметры определяются путем решения систем уравнений частных производных, приравненных к нулю, от переменных уравнений, определяющих взаимосвязь характеристик точности приспособления ε_y, $ET_{пр.нт}$ и $ET_{пр.д}$, $A_{пр.w}$, $A_{пр.ш}$ с проектными параметрами. Также эти параметры можно определить с использованием метода наискорейшего спуска.

Рациональные параметры могут быть определены только при использовании генетических алгоритмов.

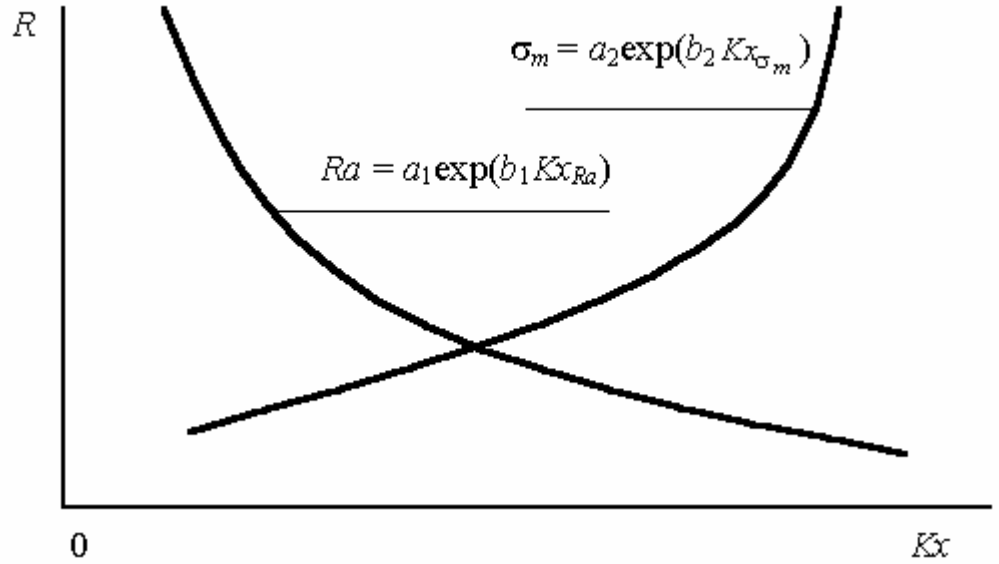


Рис. 1. Взаимосвязь проектных параметров качества приспособления с экспертным параметром оптимальности: R – какой-либо проектный параметр качества приспособления (здесь Ra; σ_m – предел (условный предел) текучести материала детали приспособления); a_1, a_2, b_1, b_2 – коэффициенты

Оптимальные параметры определяются по следующей методике.

1. Формируются ряды проектных параметров (Ra – среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости; Sm – средний шаг неровностей профиля шероховатости; tm – относительная опорная длина профиля шероховатости на уровне средней линии; ν – параметр начального участка опорной кривой; Wz – среднее арифметическое значение из пяти значений высоты волнистости; Smw – средний шаг волнистости; Hmax – максимальное макроотклонение формы и расположения поверхности).

Числовые параметры Ra (мкм) изменяются в соответствии с ГОСТ 2789-2003 по ряду R10 со знаменателем геометрической прогрессии 1,25: 0,008; 0,010; 0,012; 0,016; 0,020; 0,025; 0,032; 0,040; 0,050; 0,063; 0,080; 0,100; 0,125; 0,16; 0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100.

Числовые шаговые параметры Sm (мм) в соответствии с ГОСТ 2789-2003 изменяются по ряду R10: 0,002; 0,003; 0,004; 0,005; 0,006; 0,008; 0,010; 0,012; 0,016; 0,020; 0,025; 0,032; 0,040; 0,050; 0,063; 0,080; 0,100; 0,125; 0,16; 0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5.

При технологическом обеспечении параметров шероховатости Ra и Sm параметр tm находиться в пределах 0,30…0,70 со знаменателем геометрической прогрессии 1,11 (надежность обеспечения параметра для точения, шлифования и фрезерования в пределах 90%). В этом случае числовые значения параметра t_m изменяются по ряду R40 (знаменатель геометрической прогрессии 1,06) в соответствии с ГОСТ 8032-84. Также параметры опорных кривых волнистости и макроотклонений аналогичны по геометрической сущности параметрам шероховатости. Отсюда следует, что параметры tm могут принимать следующие числовые значения: 0,300; 0,315; 0,335; 0,355; 0,375; 0,400; 0,425; 0,450; 0,475; 0,500; 0,530; 0,560; 0,600; 0,630; 0,670; 0,710.

Параметр ν в зависимости от методов обработки резанием заготовок находиться в пределах 1,05…2,4 и изменяется с минимальным знаменателем геометрической про-

грессии 1,027. По ряду R80, имеющий знаменатель геометрической прогрессии 1,03, числовые значения параметра ν изменяются как: 1,000; 1,030; 1,060; 1,09; 1,12; 1,15; 1,18; 1,20; 1,25; 1,30; 1,32; 1,36; 1,40; 1,45; 1,50; 1,55; 1,60; 1,65; 1,70; 1,75; 1,80; 1,85; 1,9; 1,96; 2,00; 2,06; 2,12; 2,18; 2,24; 2,30; 2,36; 2,4.

Числовые параметры волнистости *Wz* (мкм) нормируются согласно РС 3951-73, учитывая ближайший и совпадающий ряд предпочтительных чисел R10, имеем: 0,100; 0,125; 0,16; 0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100.

Между высотными и шаговые параметрами волнистости при некоторых видах механической обработки существует детерминированная зависимость, и тем самым можно утверждать, что числовые значения параметра S_{mw} (мм) изменяются по ряду R10 в пределах 0,2…15 мм: 0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0.

Базовый ряд числовых значений допусков формы и расположения поверхностей и тем самым параметра *H*max (мкм) нормируется ГОСТ 24643-81 в виде ряда: 0,1; 0,12; 0,16; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 12; 16; 20; 25; 40; 50; 60; 80; 100; 120; 160; 200; 250; 400; 500; 600; 800; 1000; 1200; 1600; 2000; 2500; 4000; 5000; 6000; 8000; 10000; 12000; 16000.

Параметры прочности (предел прочности и условный предел текучести материала) изменяются по ряду R80 и т.д.

2. Проводится ранжирование параметров xji относительно возрастающего параметра Kxji в вектор-столбец.

3. Методом рекурсионного перебора, начиная с элемента вектора-столбца, имеющего наименьшее значение параметра Kxji, определяются первые (оптимальные) значения параметров xji, которые удовлетворяют требованиям точности приспособления.

Данная методика по определению оптимальных проектных параметров качества приспособления позволяет снизить временные затраты на расчет этих параметров в 100…862 раза по сравнению с итерационным процессом, построенным без ранжирования проектных параметров по критерию Kxji.

Что же касается нахождения эффективных и рациональных проектных параметров качества приспособления, то при числе проектных переменных более шести и, учитывая нелинейные их взаимосвязи с параметрами точности приспособления, этот процесс является очень затратным по времени. Например, расчет проектных параметров Ra, Sm, tm, Wz, Smw, Hmax, σm, σв (предел прочности на сжатие), μ (коэффициент Пуассона), НВ (твердость материала), Dкр (размер кристаллита (зерна) материала), ρд (плотность дислокационных петель материала), σост (остаточные напряжения поверхностного слоя), $H_{\mu 0}$ (микротвердость поверхностного слоя) занимает порядка 125,2 часа по расчету эффективных и 14,3 часа рациональных проектных параметров качества приспособления. При этом достоверности найденных значений этих параметров находится в пределах от 60 до 88% для различных алгоритмов наискорейшего спуска и 70…94% при использовании генетических алгоритмов. Расчеты проводились в математических программах с математическим ядром Maple и Mathematica.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМИ АЛМАЗОГРАФИТОВЫМИ ДОБАВКАМИ

Жорник В.И., Ивахник А.В., Патеюк А.
(ИМИНМАШ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь;
Белостокский политехнический университет, г. Белосток, Польша)

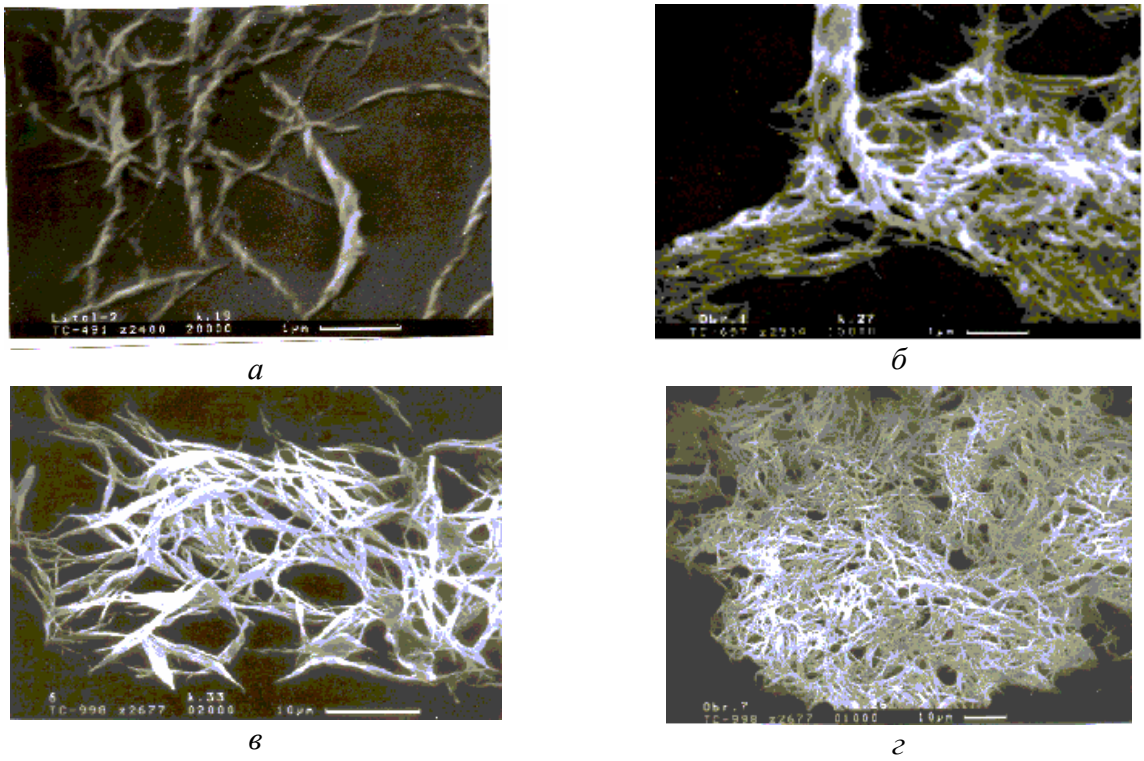
It is shown, that nanosized particles of diamond-graphite additives represent itself as the centers of the formation of grease's disperse phase pattern, it leads to increasing of disperse phase structuredness, ascending of bodying capacity of fatty acids salts and formation of a ramified structural skeleton in plastic lubrication. Such skeleton provides the increase of the oilretentive capacity and also leads to increase of strength of a boundary lubricant layer. It is determined, that the addition of the modifying nanosized diamond-graphite components in plastic lubrications, in general, promotes a reduction of wear of a friction surface. The decrease of wear is conditioned by prevention of a development of fatigue cracks and it promotes the reduction of a pitting. Thus the operational effectiveness of modifying nanosized components in the lubricant substantially depends on initial hardness of a friction surface.

Работоспособность трибосопряжений в значительной степени определяется свойствами применяемых в них смазочных материалов. по своему агрегатному состоянию смазочные материалы подразделяются на жидкие, пластичные, твердые, газообразные. пластичные смазочные материалы (пластичные смазки) широко применятся в узлах трения современных машин и механизмов. пластичная смазка обладает хорошей адгезией к рабочим поверхностям элементов узла трения и прочно удерживается на них при движении. пластичная смазка является многокомпонентной коллоидной системой, содержащей дисперсионную среду – жидкую основу (масло) и дисперсную фазу – твердый загуститель (10…30%). дисперсная фаза образует структурный каркас в виде переплетенных лентовидных частиц (волокон) анизометрической формы с поперечными размерами менее 1 мкм, в значительной степени определяющий свойства пластичной смазки (нагрузочную способность, температурный диапазон применения, коллоидную стабильность и др.). более 80% пластичных смазок выпускаются на мыльных загустителях, в качестве которых выступают соли высших жирных кислот. по типу катиона их делят на натриевые, кальциевые, литиевые, бариевые или их смеси. особенно эффективны комплексные мыльные смазки, приготовленные на мылах высших жирных и солях низкомолекулярных органических кислот [1].

В состав пластичных смазок кроме дисперсионной среды и загустителя вводятся в небольших количествах вещества органического или неорганического происхождения – модификаторов структуры. органические модификаторы – смолы, нефтяные кислоты, присадки – вводятся в смазку до формирования структуры или образуются в смазках при их изготовлении (технологические пав – продукты окисления дисперсионной среды, избыток жирового сырья и продукты его превращений и др.). неорганические модификаторы структуры – вода, избыток щелочи в мыльных смазках и др. также могут быть отнесены к технологическим пав. в пластичных смазках используют в качестве присадок дисульфид молибдена, графит, сульфиды и селениды некоторых металлов, нитрид бора, порошки мягких металлов и их оксиды, а также тальк, слюда, вермикулит. эти вещества образуют дисперсные системы с размером частиц 0,01...100 мкм и при этом обладают слабым загущающим действием [2].

Существенное повышение свойств пластичной смазке придают твердые добавки из кластерного углерода, получаемого в результате детонационного синтеза [3]. Это обуславливается чрезвычайно высокими значениями поверхностной энергии, модуля упругости, твердости, теплопроводности, а также совместимостью с компонентами смазочного материала и другими ценными свойствами ультрадисперсной алмазографитовой шихты УДАГ, представляющей собой смесь алмаза и графитоподобной фазы со средним размером углеродных кластеров 4-6 нм и высокими структурообразующими свойствами.

Следует отметить, что частицы ультрадисперсного алмаза имеют большую удельную поверхность (400…500 $м^2/г$) и обладают значительной поверхностной энергией, вследствие чего в обычных условиях они склонны к агломерированию с образованием агломератов размером до 0,4…0,5 мкм. В связи с этим для восстановления высокой активности частиц УДАГ и их структурообразующей способности агломераты следует дезинтегрировать перед введением загущающих кислот в масло. Введенные подобным образом частицы УДАГ выступают в качестве центров структурообразования дисперсной фазы пластичной смазки, и начало процесса комплексообразования происходит на их поверхности, что приводит к повышению структурированности дисперсной фазы, увеличению загущающей способности солей и образованию разветвленного структурного каркаса (рис. 1).



а *б* *в* *г*

Рис. 1. Микроструктура дисперсной фазы пластичной литиевой смазки Литол-24 (*а*,*б*) и пластичной комплексной литиевой смазки ИТМОЛ-150 (*в*,*г*) без наноразмерного модификатора (*а*,*в*) и с углеродным наноразмерным модификатором УДАГ (*б*.*г*)

Разветвленный каркас обеспечивает повышение маслоудерживающей способности, а также приводит к увеличению прочности граничного слоя смазочного материала в зоне трения. При этом частицы наноалмаза, имплантируются в дисперсную фазу, а не остаются в дисперсионной среде смазочной композиции, что, во-первых, повышает

механическую и термическую стабильность пластичной смазки, а во-вторых, предотвращает агломерацию частиц УДАГ, увеличивая коллоидную стабильность смазочного материала.

Испытаниям были подвергнуты смазка литол-24 стандартного состава и смазка литол-24, модифицированная добавками удаг. испытания образцов проводились на четырёхшариковой машине трения по гост 9490-75, фиксирующей результат скольжения верхнего подвижного шара относительно трёх неподвижных нижних шаров и на машине трения смт-1 по схеме диск-диск, фиксирующей результат трения качения без проскальзывания при постоянной скорости (в данном случае 0,3 м/с) на образцах из различных материалов.

Анализ результатов испытаний показывает, что введение частиц удаг в качестве твердых добавок в пластичные смазочные материалы наряду с повышением критической нагрузки и нагрузки сваривания изменяет интенсивность изнашивания поверхностей трения. При этом интенсивность изнашивания контактирующих поверхностей определяется исходной твердостью материала. В частности, модифицирование смазки добавками УДАГ снижает интенсивность изнашивания образцов из стали 45 твердостью 20-25 HRC (примерно в 30 раз), образцов из стали ШХ-15 твердостью 35-40 HRC –в 5 раз, а для стали ШХ-15 твердостью 62-65 HRC интенсивность изнашивания при использовании модифицированной смазки несколько возрастает с $0{,}07 \cdot 10^{-7}$ до $0{,}10 \cdot 10^{-7}$ г/м (таблица).

Таблица 1. Триботехнические характеристики материалов трибосопряжения, определяемые на четырёхшариковой машине трения и машине трения СМТ-1

№	Наименование характеристики	Материал пары трения	Литол-24	Литол-24 + УДАГ
1	Критическая нагрузка, Н		710	750
2	Нагрузка сваривания, Н		1410	1600
3	Показатель износа, мм		77	61
4	Интенсивность изнашивания поверхности трения, г/м · 10^{-7}	Сталь 45 (HRC 20-25)	4,04	0,12
		Сталь ШХ-15 (HRC 35-40)	0,63	0,12
		Сталь ШХ-15 (HRC 62-64)	0,07	0,10

Исследование распределения работы выхода электрона по поверхности трения, регистрируемого по изменению контактной разности потенциалов между эталонным образцом и исследуемой поверхностью (метод Кельвина) и характеризующего неоднородность деформации в поверхностном слое и, следовательно, неоднородность контактирования поверхностей трения [4], показало, что в случае применения модифицирующей добавки в виде частиц УДАГ поверхность трения формируется более гомогенной (рис. 2). Это свидетельствует о том, что случае модифицирования смазочного материала частицами УДАГ в зоне контакта пар трения формируется более равномерный и стабильный слой смазочного материала по сравнению со смазкой стандартного состава.

С целью выявления влияния модифицирования частицами УДАГ смазочного материала на механизм изнашивания контактирующих поверхностей трибосопряжения проводились исследования состояния поверхности трения после испытаний с помощью оптической и электронной микроскопии, которые показали, что в случае применения модифицированной смазки поверхность трения является более гладкой, с характерными для данных режимов трения регулярно чередующимися впадинами и выступами. На поверхности трения наблюдаются отдельные очаги питтинга величиной порядка 10х40мкм

(рис.3*а*). Области питтинга имеют округлую форму, без трещин, при большом увеличении на вершинах гребешков наблюдаются достаточно равномерно распределенные по поверхности зерна размером порядка 0,5-1 мкм чечевичной формы, затянутые слоем металла. Во впадинах также наблюдаются аналогичные зерна, однако рас пределены они неоднородно и не затянуты металлом. Вероятно, такие зерна являются агломератами УДАГ, образующимися в процессе трения.

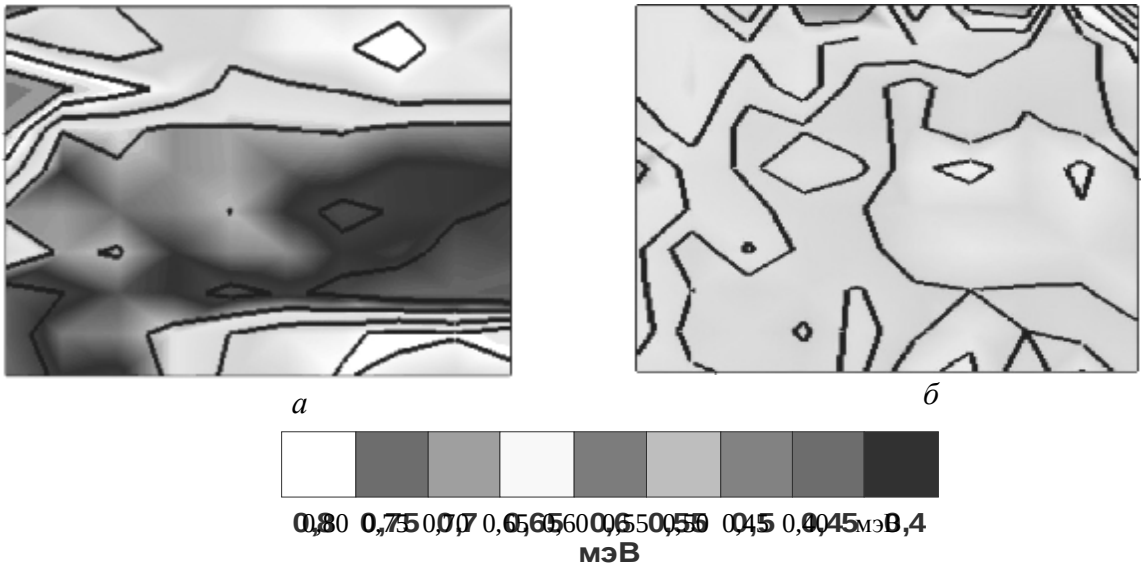
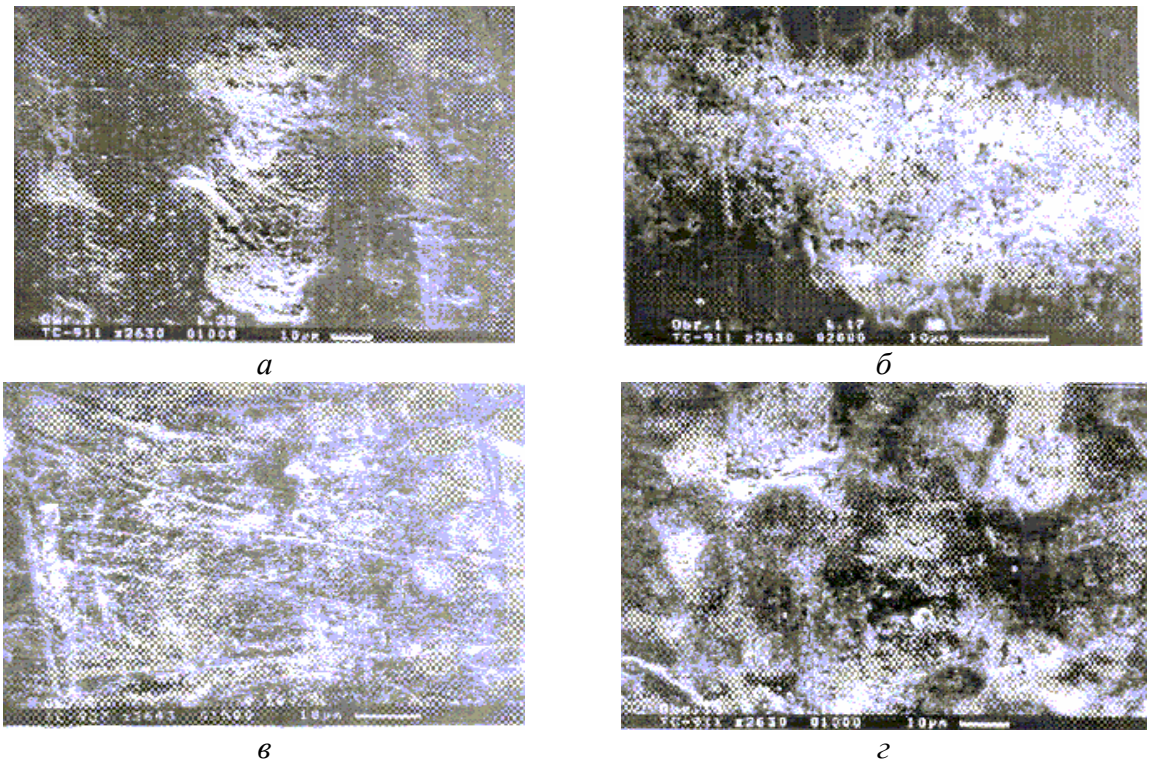


Рис. 2. Топология работы выхода электрона по поверхности трения образца из закаленной сталь 45 при испытании со смазкой Литол-24 стандартного состава (*а*) и со смазкой Литол-24, модифицированной УДАГ (*б*)

В случае применения Литола-24 стандартного состава также наблюдаются чередующаяся структура поверхности трения, однако при этом явление питтинга проявляется на обширных областях, в ямках питтинга видна сетка остроконечных трещин (рис.3*б*), что свидетельствует об интенсивном разрушении поверхности трения. При большом увеличении видно, что выступы являются неоднородными, наблюдается структура с большим содержанием пор и трещин.

Поверхность трения материалов с высокой твердостью (62-64 HRC) отличается от поверхности трения с более низкой твердостью (35-40 HRC), при этом положительная роль добавок УДАГ с увеличением исходной твердости материала трибопары становится менее заметной. Сравнение микроструктуры поверхности трения после испытаний в среде модифицированного и немодифицированного смазочного материала показывает, что в обоих случаях на поверхности трения не наблюдается регулярной структуры, следы питтинга видны практически по всей поверхности трения как в случае использования Литола-24 стандартного состава, так и в случае применения смазки Литол-24, модифицированной УДАГ. При этом для случая модифицированного Литола-24 размер очагов питтинга значительно меньше, чем при использовании Литола-24 стандартного состава, но в тоже время в этом случае на поверхности трения видны следы пропахивания под углом к направлению скольжения, что говорит о присутствии абразивного износа свободными частицами, которые значительно тверже материала образца

Анализируя полученные результаты можно предположить, что в процессе трения, под воздействием нормальных и тангенциальных напряжений, повышенной температуры и смазочного материала происходит формирование поверхностного рабочего слоя. При деструкции смазочного материала на точечном контакте химические связи между частицами УДАГ и молекулами дисперсной фазы смазочного материала ослабевают, и частицы УДАГ внедряются в поверхность трения, что приводит к ее упрочнению. При длительных триботехнических испытаниях формируются условия для питинга, т.е. усталостного разрушения поверхности трения, однако внедренные в поверхностный слой частицы УДАГ не позволяют формироваться большим усталостным трещинам, в результате образуются отдельные локальные области питтинга, вытянутые вдоль направления скольжения. В случае трения относительно твердых материалов, в которых формирование рабочего поверхностного слоя затрудненно, не происходит внедрения частиц УДАГ в поверхность трения, образующиеся в процессе деструкции смазочного материала свободные частицы УДАГ, вероятно, коалесценируют с образованием агломератов с повышенной твердостью, наличие которых агломератов в зоне трения приводит к абразивному износу трущихся поверхностей.



а *б*

в *г*

Рис. 3. Микроструктура поверхности трения образцов из стали ШХ-15 с твердостью HRC 35-40 (*а*, *б*) и из стали ШХ-15 с твердостью HRC 62-64 (*в*, *г*) после испытаний со смазкой Литол-24, модифицированной УДАГ (*а*, *в*), и смазкой Литол-24 стандартного состава (*б*, *г*)

Таким образом, проведенные исследования показали, что добавка наноразмерных алмазографитовых частиц при синтезе пластичных смазок способствуют образованию разветвленного структурного каркаса дисперсной фазы с повышенной маслоудерживающей способностью и снижению износа поверхности трения. при этом эффек-

тивность применения модифицирующих наноразмерных добавок в смазочный материал в значительной степени зависит от исходной твердости поверхности трения.

Список литературы: **1.** Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.: Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 2003. - 576 с. **2.** Ищук Ю.Л. Состав, структура и свойства пластичных смазок. - Киев: Наукова думка, 1996. - 512 с. **3.** Ивахник А.В., Жорник В.И., Шипица
Н.А. Антипиттинговые покрытия поверхностей трения кластерным углеродом // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия: 6-я межд. научн.-техн. конф., Минск, 6-7 апреля 2004 г.: Материалы докл. / Ред.кол.: А.Ф. Ильющенко и др. – Минск: ОДО «Тонпик», 2004. – С.193. **4.** Жарин А.Л., Шипица Н.А., Дмитрович А.А., Сарока Д.И. Сканирующий датчик Кельвина: новый метод исследования поверхности // ПОЛИКОМТРИБ-2005: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Гомель: ИММС НАНБ, 2005. – С.86.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ СВЕТООТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Зверев Э.В., Тукбаев Э.Е., Галимов Э.Р., Багаутдинова А.А., Аблясова А.Г., Зинкевич А.И. *(КГТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия)*

The technologies and the complex of specialized equipment for applying and forming of coatings of special purpose based on polymer powder compositions are developed. The parameters of technological processes are optimized, the laws of the change in properties of powder coatings are revealed.

Необходимость указанной разработки продиктована тем, что в настоящее время практически отсутствуют конкурирующие с зарубежными фирмы, занимающиеся созданием отечественных технологий и оборудования для нанесения светоотражающих покрытий на дорожные информационные знаки на базе отечественных материалов, с достаточным сроком службы и с меньшими стоимостными характеристиками по сравнению с зарубежными.

Достаточно широко используемым способом нанесения светоотражающих покрытий на дорожные информационные знаки, является применение светоотражающих пленок на фольгированной основе, наклеиваемых на знаки. Ведущей фирмой на мировом рынке, производящей и поставляющей в РФ такую пленку (через дилерскую сеть), является американская фирма “3М”. Пленки этой фирмы отличаются высокими светотехническими характеристиками и большим сроком службы, но очень дороги. Один из видов отечественных аналогов таких пленок выпускает фирма “Модем”, г. Ростов. По аналогичной технологии создана светоотражающая пленка в Московском филиале Ленинградского института водного транспорта. Однако знаки, выполняемые на базе этих пленок, не отличаются большим сроком службы.

По результатам изучения состояния вопроса установлено, что в настоящее время нет единой теории и методологии создания светоотражающих покрытий с заданными характеристиками, связывающие комплексно оптику, химию пигментирования и свойства применяемых пленкообразующих материалов.

Разработка технологии нанесения светоотражающих покрытий обусловлена комплексным решением следующих задач:

1. Выбор полимерных порошковых композиций, удовлетворяющих требованиям обеспечения высокой адгезии, коррозионной стойкости, атмосферостойкости, устойчивости пигментов в их составе воздействию ультрафиолетовых лучей;

2. Выбор светоотражающих компонентов - микросфер с учетом оптических характеристик материалов и оптимальной дисперсности;

3. Исследование и установление закономерностей смачивания микросфер в процессе пленкообразования (формирования покрытия);

4. Оценка светоотражающих характеристик полученных покрытий.

В качестве пленкообразующего материала были приняты полимерные порошковые композиции, адгезионные и коррозионностойкие характеристики которых достаточно изучены и известны.

По атмосферостойкости покрытия наиболее подходящей является полиэфирная композиция.

Основными световозвращающими элементами композиции выбраны стеклянные микросферы, которые в процессе полимеризации должны определенным образом размещаться на поверхности пленкообразующего материала.

Получение и оценка характеристик покрытия с указанной структурой не решается чисто аналитическим путем, т. к. в настоящее время отсутствуют данные о реологических свойствах полиэфирных полимерных композиций, которые позволили бы рассчитать краевые углы смачивания полиэфирной пленкообразующей в жидкотекучем состоянии с микросферами с различной дисперсностью.

Величина утопания является критерием прочности светоотражающего слоя и характеризует косвенно коэффициент диффузного отражения этой шероховатой поверхности. Поэтому изучение этих закономерностей проводилось экспериментальным путем, а характеристики поверхности оценивались под микроскопом.

Каждый образец оценивался по коэффициенту отражения на спектрофотометре типа СФ-18.

Проведены также испытания образцов на адгезионную прочность, на гибкость покрытия, ударную прочность и коррозионную стойкость традиционными методами.

По результатам экспериментальных работ определены основные характеристики светоотражающих покрытий на базе полиэфирных полимерных порошковых композиций и разработана технология их получения.

Основные характеристики полученного покрытия:

№	Наименование характеристики	Показатель
1	адгезионная прочность по методу решетчатых надрезов (ГОСТ 15140-791	1 балл
2	гибкость покрытия по ШГ – 1	1 мм
3	прочность покрытия при ударе по VIA ГОСТ 4765-78	50 см
4	коррозионная стойкость (в солевом тумане) по требованиям СТ СЭВ-991-78 и ГОСТ 9.039-74	соответствует
5	коэффициент диффузного отражения (для образца белого цвет	0,71

Технологический процесс включает следующие операции:

- подготовка поверхности подложек;
- нанесение в элекростатическом поле коррозионностойкой полимерной порошковой композиции;
- предварительная полимеризация;

- нанесение закрепляющего слоя;
- нанесение светоотражающего покрытия;
- окончательная полимеризация;
- нанесение информационных знаков.

Для реализации указанной технологии создан участок серийного производства дорожных знаков со светоотражающими покрытиями

Таким образом, авторами разработана технология нанесения светоотражающих покрытий на дорожные информационные знаки на базе отечественных материалов, с достаточным сроком службы и с меньшими стоимостными характеристиками по сравнению с зарубежными, а также предпринята попытка развить теоретическую базу для получения надлежащих характеристик указанных покрытий. Особенности технологического оборудования и оснастки будут опубликованы дополнительно.

ПОЛИМЕРНЫЕ ПОРОШКОВЫЕ ПОКРЫТИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Зверев Э.В., Воронцов С.А., Тукбаев Э.Е., Галимов Э.Р.
(КГТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия)

Problems of development of technologic process of patting and forming of special covering based on polymer powder compositions were considered. Specialized equipment complex was developed and technologic processes were optimized.

Среди большого разнообразия методов нанесения покрытий (Пк) особое место по перспективности занимают технологии нанесения Пк на основе полимерных порошковых композиций (ППК), которые представляют технико-экономическую альтернативу покрытиям на основе жидких лакокрасочных материалов.

Использование ППК позволяет получать высококачественные Пк практически любой толщины, увеличить срок службы изделий, повысить производительность труда, уровень механизации и автоматизации, существенно сократить технологический цикл нанесения и формирования Пк, снизить потери материалов и исключить загрязнение окружающей среды.

В данной работе приведены результаты исследований по использованию традиционного (электростатического) и принципиально нового (электростатико-термогазодинамического) способов нанесения порошковых Пк специального назначения на поверхности любых металлических и неметаллических материалов, а также разработке комплекса специализированного оборудования для реализации технологических процессов.

Разработанный электростатико-термогазодинамический способ по сущности наиболее близок к газопламенному напылению с одновременным наложением электростатического поля высокого напряжения.

Предлагаемый способ отличается от газопламенного «мягкостью» нагрева ППК, исключающий протекание нежелательных физико-химических превращений (термодеструкции, структурирования и т.д.).

Комплекс специализированного оборудования для нанесения ППК электростатико-термогазодинамическим способом состоит из порошкового питателя с пневматической панелью управления, блока подготовки воздуха, компрессора подачи сжатого воздуха, системы подачи газа с контрольно-регулирующей аппаратурой, двух термоге-

нераторов с оптическими измерителями температуры (оптические пирометры), размещенных на передвигаемой технике с автономным приводом.

Термогенераторы размещены на каретке с возможностью регулирования высоты от сопла распылителя до поверхности изделия и межосевого расстояния, при этом параметры настраиваются таким образом, чтобы их оптическая ось проходила через центр предполагаемого отпечатка факела.

В отличие от стационарного оборудования, где процесс формирования покрытий на поверхности изделий происходит в интервале температур 70-200°С в течение 10-15 минут, разработанный комплекс позволяет получать покрытия на поверхностях различных материалов и изделий в течение нескольких секунд, не помещая их в стационарные установки полимеризации (сушильные камеры).

Первый термогенератор создает безокислительный нагрев окрашиваемой поверхности до необходимой температуры, а второй термогенератор, в специальную насадку которого подается заряженная порошково-воздушная смесь (ПВС), обеспечивает непосредственно процесс формирования (пленкообразования) покрытия на предварительно нагретой поверхности. При выбранной температуре в течение короткого времени (за несколько секунд) протекают физико-химические превращения ППК и происходит формирование покрытия.

Все технологические параметры поддерживаются автоматической системой управления.

К термогазогенератору типа ТГГ-20 с тепловой производительностью не менее 20 кВт на номинальном режиме для каждого агрегата подводится газ от индивидуального пропан-бутанового газового баллона. Расход газа регулируется редуктором давления газа. Воздух к ТГГ подводится от индивидуального авиационного вентилятора ДВ–201 с номинальной производительностью ~87 г/с.

Порошково-воздушная смесь готовится в специальном порошковом питателе. В узле псевдожижения происходит подвод воздуха через пористую пластину – ожижающую решётку. Ожиженный порошок подсасывается встроенным эжектором и далее ПВС направляется в технологический отсек ТГГ. Для осыпания порошка ПП имеет два пневмовибратора (ПВ), эшелонированные по высоте бака ПП. Для прекращения подачи ПВС имеется специальный клапан, перемещающий активное сопло эжектора, который перекрывает вход в камеру смешения, не позволяя попадать в неё ПВС; одновременно происходит продувка тракта подвода ПВС сжатым воздухом. Осушка подводимого воздуха проводится в блоке подготовки воздуха, имеющем адсорбер, заполненный силикагелем. Распределение воздуха с необходимым давлением по потребителям ПП выполняется с помощью пневмопанели, а разводка осуществляется гибкими шлангами.

Для розжига ТГГ автомобильной искровой свечой зажигания служит специальный блок искрового розжига, вырабатывающий высоковольтные импульсы.

Для создания электростатического поля имеется типовая система генерации высокого напряжения, включающая блок питания, генератор и умножитель. Электрическая аппаратура запитывается от внешнего источника тока напряжением 24 В, которое подводится через специальную колодку питания.

Все агрегаты, за исключением двух газовых баллонов, имеющих значительную массу (~ 100 кг), размещаются на ручной неповоротной 4-колесной тележке.

Агрегат напыления предназначен для загрузки необходимого количества ППК в приемную ёмкость и дозированной ее подачи к устройству распылительному в автоматическом режиме. Агрегат напыления состоит из каркаса с пневматическим и электрическим пультом, порошкового питателя, пневмо- и электрооборудования, а также блока

подготовки воздуха. Порошковый питатель входит в состав агрегата напыления и предназначен для дозированной подачи ППК к распылительному устройству.

Питатель состоит из цилиндрического корпуса с коническим днищем, заканчивающимся камерой наддува с фильтрующим элементом из специальной пористой стали, эжектора в зоне камеры наддува, крышки, с установленной на ней клапаном сброса электромагнитного вибратора. В зоне камеры наддува смонтирован диафрагменный исполнительный механизм, центральный стержень которого выполнен в виде эжекторного сопла. Коническое днище корпуса внутри закрыто специальным фильтровальным мешком, образующим пространство с целью подачи сжатого воздуха для разрушения объема загруженной в питатель порошковой композиции.

Распылительное устройство предназначено для получения качественных покрытий из труднонапыляемых порошковых композиций типа порошковый полиэтилен, пентопласт, фторопласт, полифениленсульфид и т.д., которые при перемещении легко электризуются и имеют склонность к «комкованию».

С целью оптимизации и интенсификации технологических процессов нанесения ППК проведены комплексные исследования и пилотные испытания опытного устройства на специально собранном стенде в «Отраслевой лаборатории горения в потоке» КГТУ им.А.Н.Туполева.

В данной работе также проведены исследования по разработке технологии нанесения светоотражающих Пк на основе атмосферостойких ППК на различные изделия, в том числе на информационные дорожные знаки.

Необходимость указанной разработки продиктована тем, что в РФ практически отсутствуют конкурирующие с зарубежными фирмы, занимающиеся созданием отечественных технологий и оборудования для нанесения светоотражающих Пк на дорожные информационные знаки на базе отечественных материалов, с достаточным сроком службы и с меньшими стоимостными характеристиками.

Разработка технологии нанесения светоотражающих Пк обусловлена комплексным решением следующих задач: выбор ППК, удовлетворяющих требованиям высокой адгезии, коррозионной стойкости, атмосферостойкости, устойчивости пигментов в их составе воздействию ультрафиолетовых лучей; выбор светоотражающих компонентов микросфер с учетом оптических характеристик материалов и оптимальной дисперсности; исследование и установление закономерностей смачивания микросфер в процессе пленкообразования (формирования покрытия); оценка светоотражающих характеристик полученных покрытий.

В качестве пленкообразующего материала была использована полиэфирная порошковая композиция, обладающая высокими адгезионными и коррозионно-стойкими характеристиками. В качестве светоотражающих элементов композиции использовали стеклянные микросферы, которые в процессе полимеризации определенным образом распределяют на поверхности пленкообразующего материала.

Для получения качественных светоотражающих покрытий проводилась комплексная оценка реологических свойств и расчеты краевого угла смачивания полиэфирного связующего с микросферами различной дисперсности. В связи с тем, что критерием качества светоотражающего покрытия является глубина утопания микросфер по толщине покрытия, то исследование указанных характеристик позволяет оптимизировать технологические процессы нанесения и формирования покрытий.

Основной фотометрической характеристикой отраженного света является коэффициент отражения, определение которого проводили на спектрофотометре СФ-18. Проведены также испытания образцов на адгезионную прочность, гибкость покрытия, ударную прочность и коррозионную стойкость стандартными методами.

По результатам экспериментальных исследований определены основные характеристики светоотражающих покрытий на базе полиэфирных ППК и отработана технология их нанесения.

Технологический процесс включает следующие операции: подготовка поверхности подложек; нанесение в электростатическом поле ППК; предварительная полимеризация; нанесение закрепляющего слоя; нанесение светоотражающего покрытия; окончательная полимеризация.

ХРОМИРОВАНИЕ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ Ni - B

Звягинцева А. В.

(Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)

The alternatives to chromium coatings are the nickel platings with boron doping up to 1,5 %. Ni-B coatings electrodeposition is carried out in the sulphamate nickelling electrolyte. The optimal electrolysis regimes are: $i_к$ =0,5... 4 A/dm^2; t = = 30... 50 °C; pH = 3,5... 5,0; Ni-B alloy power input is 96 - 98 %. For example, the deposition rate at the $i_к$ = 2 A/dm^2 is 0,4 mcm/min. The good adhesion with copper and its alloys, steels and iron-nickel alloys is observed. The maximal thickness dispersion is not higher than 1,5 mcm. Ni-B with boron content 0,5 - 1,0 % microhardness is 6 - 8 HPa and the chromium microhardness - 7 - 9 HPa. The Ni-B hydrogen permeation is 10 times lower than chromium

Решение проблемы снижения экологической опасности гальванического производства и потерь цветных металлов является важнейшей задачей во всех промышленноразвитых странах. Существует два основных пути снижения экологической опасности гальванического производства: разработка и внедрение электролитов, не содержащих веществ, относящихся к промышленным ядам, другой путь - применение малоконцентрированных электролитов с сохранением всех необходимых физико – химических и физико - механических свойств (твердости, коррозионной стойкости и др.)

Из всех применяемых гальванических процессов наиболее распространенным является хромирование. Спектр использования функциональных свойств хрома велик. Хромовые покрытия применяют для повышения износо– и коррозионной стойкости изделий, а также для придания антифрикционных свойств и улучшения отражательной способности. Одно из главных мест в гальваническом производстве традиционно принадлежит защитно-декоративному хромированию.

Соединения шестивалентного хрома (хроматы в виде ионов CrO_4^{2-} $Cr_2O_7^{2-}$ и более сложных) обладают общетоксическим действием, проявляют канцерогенные свойства и представляют большую экологическую опасность для окружающей среды и персонала, обслуживающего гальванические цеха. Хроматы попадают в окружающую среду через вентиляцию и сточные воды.

Для промышленного хромирования наиболее широко применяют электролиты с концентрацией хромового ангидрида (CrO_3) 250 г/л и небольшим количеством H_2SO_4 (в соотношении CrO_3: H_2S0_4 = 100:1). Такие электролиты получили название «стандартные». Однако этот процесс является несовершенным по технологическим параметрам: на выделение металла расходуется всего 12 – 15 % электрической энергии, остальная часть - на побочные процессы (образование Cr (III) и выделение газообразного водорода). Скорость осаждения хрома мала, например, для получения износостойкого покрытия

толщиной 100 мкм в «стандартном» электролите на постоянном токе продолжительность хромирования составляет 4-8 ч. Металл по поверхности изделия распределяется неравномерно. Существенным недостатком является так же увеличение шероховатости по мере увеличения толщины покрытия. Поэтому, многие детали подвергаются шлифованию, при котором снимается от 15 до 30 % толщины слоя хрома.

Результаты проведенных экспериментов, а также опыт применения в промышленности позволяют сделать вывод: при хромировании в «стандартном» электролите при оптимальных режимах получения износостойких покрытий ($i_к$ = 50... 70 А/дм^2, $t_{эл\text{-}та}$= 50... 55 °С) вынос электролита, через вентиляцию составляет 200 – 220 мл с 1 м^2 хромируемой поверхности. В процессе хромирования значительные потери CrO_3 происходят вследствие уноса его с деталями и приспособлениями. Эти потери, в зависимости от толщины покрытия, могут составлять от 20 до 80 %. Пары хроматов попадая в атмосферу, могут разноситься ветром на многие километры, нанося вред окружающей среде.

Сотрудниками кафедры разработан и внедрен в производство малоконцентрированный электролит (CrO_3: 100 – 150 г/л, H_2SO_4: 1,0 – 1,5 г/л), содержащий недорогую и недефицитную органическую добавку – катализатор (1,0 – 1,5 г/л), позволяющую существенно расширить диапазон катодных плотностей тока от 20 до 200 А/дм^2, увеличить скорость электроосаждение в 1,8 – 3 раза за счет повышения выхода по току в среднем до 20 – 27 % относительно «стандартного» электролита. Покрытия, полученные из малоконцентрированного электролита, характеризуются высокой твердостью, повышенной износостойкостью, меньшей шероховатостью и меньшими внутренними напряжениями.

Применение для хромирования малоконцентрированного электролита не требует изменения общей технологии хромирования. В последние десятилетия достигнуты успехи в разработке электролитов на основе соединений трехвалентного хрома. Однако эти электролиты могут быть применены для получения покрытий толщиной до 5 мкм в режиме хромирования при постоянном токе, а также 10 - 20 мкм в режиме импульсного тока. В литературе имеются данные о разработке процесса хромирования с применением электролитов Cr(III), позволяющих получать покрытия толщиной более 100 мкм с выходом по току 25 - 30 %, что увеличивает скорость электроосаждения в 1,2 - 1,5 раза [1]. Осадки хрома имеют аморфную структуру, по внешнему виду не отличаются от полученных в «стандартном» электролите. Соответствие современным международным экологическим стандартам требует отказаться от применения покрытий Cr (VI), особенно в автомобильной промышленности. Необходим поиск альтернативных покрытий.

Альтернативными хромовым покрытиям являются покрытия никелем, легированные бором до 1,5 % [2, 3].

Цель настоящей работы – определение возможностей применения покрытий Ni-B, как альтернативного Cr (VI).

Сравнительные характеристики покрытий приведены в таблице. Анализ данных, приведенных в таблице, позволяет сделать вывод о том, что покрытие Ni-B по технологическим, экологическим, экономическим и физико – механическим параметрам не уступает Cr покрытием, но в ряде случаев и превосходит их.

Экологические характеристики. Электроосаждение покрытий Ni-B проводят в сульфаматном электролите никелирования, компоненты которого не относятся к промышленным ядам, в отличие от основного компонента электролита хромирования CrO_3, не относятся к промышленным ядам. В качестве источника бора берется нетоксичная,

устойчивая безуглеродная борсодержащая добавка класса «полиэдрические бораты», позволяющая наносить гальванические покрытия Ni-B с регулируемым содержанием бора и с различными функциональными свойствами. В отличие от других, традиционно используемых борсоединений, добавки класса «полиэдрические бораты» относятся к 3 классу опасности (умеренно опасные вещества), что соответствует требованиям экологической безопасности технологических процессов.

При одинаковой толщине расход электроэнергии на единицу поверхности Ni-B – покрытия примерно в 100 раз меньше, чем при осаждении Cr, что свидетельствует об экономической целесообразности широкого применения покрытий сплавами Ni-B.

Технологические параметры. Сравнительный анализ режимов электроосаждения Ni-B из сульфаматного электролита и Cr позволяет сделать вывод о том, что электроосаждение Ni-B протекает в более мягких режимах электролиза, чем Cr.

Таблица 1. Сравнительные характеристики хромовых покрытий и альтернативных покрытий никель - бор

№ п/п	Наименование характеристики	Хромовые покрытия	Покрытия никель - бор
	Качественные показатели		
1.	Экологическая безопасность	Опасны для окружающей среды и работников, связанных с гальваническим производством	Удовлетворяет требованиям экологической безопасности технологических процессов
2.	Энергопотребление на единицу поверхности	Повышенное	Экономичное (в 100 раз ниже)
	Количественные показатели		
3.	Технологические параметры:		
	Плотность катодного тока $i_к$, $А/дм^2$	45-47	0,5-4
	Температура электролита, °С	50-55	30-50
	РН	<2	3,5-5
	Выход по току, %	до 20 - 22	~96
4.	Максимальный разброс толщины (шероховатость), $\Delta R_{ср}$, мкм	~0,02	0,011
5.	Допустимая толщина покрытия без шлифования, мкм	—	до 500 без шлифования
6.	Физико-механические свойства:		
	Микротвёрдость покрытия HV, ГПа;	7-9	6-8

№ п/п	Наименование характеристики	Хромовые покрытия	Покрытия никель - бор
	Содержание водорода в покрытии V_{H_2}, см^3/100г	550-650	~60
	Внутренние напряжения σ, МПа;	570 - 590	80- 150
	Коэффициент граничного трения со сталью Ст - 2	0,15-0,18	0,08-0,1

Процесс электроосаждения покрытий Ni-B отличается от процесса нанесения хрома большей стабильностью в работе при pH = 3,5 – 5,0, большей технологичностью процесса и более низкой агрессивностью к гальваническому оборудованию.

В приведенной ниже таблице показаны сравнительные характеристики хромовых и никель – бор покрытий.

Оптимальные режимы электролиза: $i_к$ = 0,5 - 4 А/дм^2; $t_{эл\text{-}та}$ = 30... 50 °С; pH = 3,5... 5,0, выход по току сплава Ni-B составляет 96-98 %. Достаточно высокая скорость осаждения, например при $i_к$ = 2 А/дм^2, равна 0,4 мкм/мин. Зависимости выхода по току хрома и сплава Ni-B представлена на рис. 1 а, б. Анализ кривых (рис.1 а, б) показывает, что зависимость выхода по току (ВТ) Cr имеет монотонно возрастающий характер, зависимость ВТ сплава Ni-B не ярко выраженный оптимум.

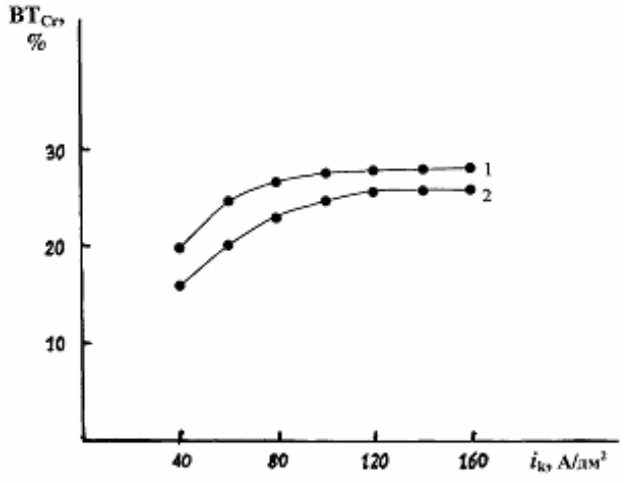


Рис.1а. Зависимость выхода хрома по току от плотности катодного тока при $\tau_{эл\text{-}за}$ = 5 мин, $t_{эл\text{-}та}$ = 57 °С. 1 - импульсный режим с остаточным током 2 А; 2 - стационарный режим. Состав электролит (г/л): CrO_3 - 150; H_2SO_4 - 1,5; КФ - 1,5; ПМНС - 6*10^{-3}

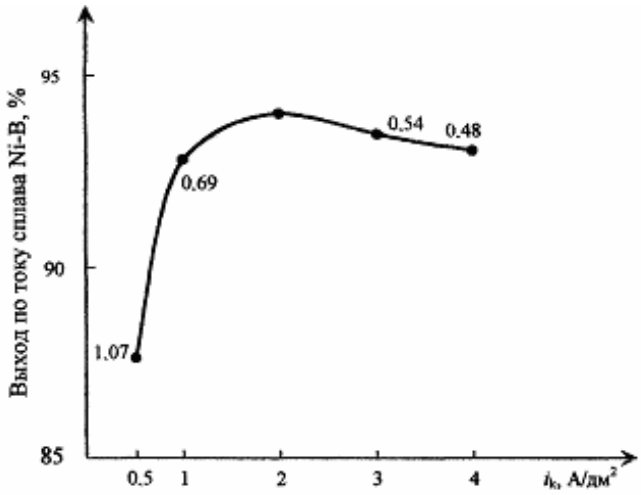


Рис.1б. Зависимость выхода по току сплава Ni-B от $i_к$ при продолжительности электролиза, 20 мин: $C_{добавки}$ = 0,054 г/л, pH = 4,0; $t_{эл\text{-}та}$ = 40 ^{0}С Цифрами указано содержание бора в сплаве Ni-B в %

С увеличением $i_к$ от 0,5 до 4 А/дм^2 при концентрации борсодержащей добавки в электролите 0,054 г/л. Содержание бора в сплаве уменьшается от 1,07 до 0,48 % (это объемное содержание бора в осадке). Содержание бора в сплаве определялось спектрофотометрически. Увеличение ВТ Ni-B при одновременном уменьшении относительно-

го содержания бора и связанное с этим уменьшение $ВТ_{H2}$ с повышением $i_к$ обусловлено облегчением процесса разряда ионов Ni^{2+} в сплав Ni-B и снижением адсорбционной способности анионов борсодержащей добавки на катоде [3,4].

Максимальный разброс толщины покрытия Ni-B составляет не более 1,5 мкм. Полученные результаты позволяют получать покрытия Ni-B большой толщины (~500 мкм), что определяет еще одну область его применения – восстановление изношенных деталей машин и механизмов, а также наносить покрытия Ni-B на сложнопрофильные изделия.

Сплавы Ni-B менее напряженны, по сравнению с Cr – покрытиями. Шероховатость покрытий сплавами Ni-B с увеличением толщины сохраняется постоянной. Поэтому исключается дополнительная технологическая операция шлифования, которая обычно применяется после осаждения толстых хромовых покрытий.

Покрытия Ni-B, по сравнению с Ni и Cr – покрытиями, характеризуется мелкокристаллической структурой и более ровным рельефом поверхности (коэффициент сглаживания – 2,18). В таблице приведена шероховатость Rcp покрытий Ni-B и Cr, измеренная в мкм. Шероховатость измеряли на профилометре.

Физико – механические свойства. По таким свойствам как твердость, износостойкость, коррозионная устойчивость, стойкость к термическому окислению покрытия Ni-B не уступают хромовым.

Исследования сплава Ni-B показали, что существует корреляция между его физико – механическими свойствами и содержанием бора и H_2. Микротвердость определяли с помощью прибора ПМТ – 3 (при нагрузке 100 гр). В рабочем диапазоне плотностей катодного тока i_K = 1-3 А/дм^2 микротвердость свежеосажденных покрытий Ni-B составляет 6 – 8 ГПа, содержание бора – 0,5 – 1,0 %. После термической обработки до 400 °С, микротвердость HV покрытий Ni-B возрастает до 10 – 12 ГПа, а HV хромовых покрытий – 7 – 9 ГПа.

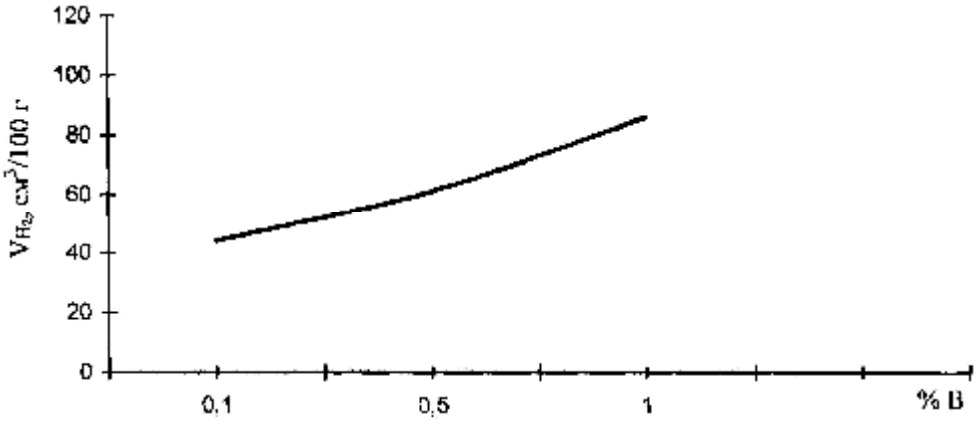


Рис. 2. Зависимость наводороживания от содержания бора в сплаве Ni - B.
Режим электроосаждения: pH = 4,0; $t_{эл-та}$ = 40 °С, $i_к$ = 2 А/дм^2, d = 15 мкм

Особо надо отметить наводороживание хромовых и Ni-B покрытий. Оно определялось методом вакуумной экстракции (содержание H_2 на 100 г покрытия), рис. 2.

Зависимость степени наводороживания от содержания бора в сплаве представлена на рис. 2. Отсутствие углерода в применяемом борсоединении позволяет получать покрытия с меньшим содержанием водорода. Степень наводороживания покрытия Ni-B с ростом содержания бора от 0,1 до 1 % при толщине покрытия d = 15 мкм (рис. 2,

кр. 1) возрастает от 43 до 100 $см^3$/100 г, что обусловлено ростом $ВТ_{H2}$ от 1,96 до 7, 05 %, увеличивающим вероятность включения водорода в покрытие.

Содержание водорода в покрытии Ni-B, например, при i_K = 2 $А/дм^2$; pH = 4,0; $t_{эл-та}$ = 40 °С составляет V_{H_2} = 60 $см^3$/100 г, а блестящего электролитического хрома из стандартного электролита V_{H_2} = 550 - 650 $см^3$/100 г [4]. Наводороживание покрытий Ni-B - в 10 раз меньше, чем хромовых, что обусловливает меньшее водородное охрупчивание Ni-B-покрытий (таблица).

Износостойкость покрытий Ni-B сравнима с хромовым (таблица). Коэффициент граничного трения со сталью Ст.2 составляет 0,08-0,1, а хромового покрытия, полученного из стандартного электролита - 0,15 - 0,18.

Исследования показали, что покрытия Ni-B не окисляются при термообработке 500 °С в течении 30 минут.

Выводы:

1. Существует реальная возможность снижения вредного влияния на окружающую среду одного из самых токсичных и канцерогенных компонентов гальванического производства — соединений хрома (VI).

2. Совокупность физико – механических характеристик показывает возможность использования покрытия Ni – B как альтернативного хромовому на ряде изделий приборостроения и машиностроения.

Список литературы: 1. Фаличева А.И., Бурдыкина Р. И., Горшунова В. П. // Защита металлов. М., 1994 - Т.30.- №3. - С. 322 – 324 **2.** Звягинцева А. В., Фаличева А. И. Физико - механические свойства никелевых покрытий, легированных бором // Гальванотехника и обработка поверхности. М., 1997. - Т.5. - №2. - С. 24 – 31 **3.** Звягинцева А. В., Бурдыкина Р. И. Проблемы хромирования и альтернативные покрытия Ni - B // Гальванотехника и обработка поверхности. М., 2003 – Т.XI.- №2. – С. 24 – 29 **4.** Звягинцева А. В., Кравцова Ю. Г. Гальванические покрытия сплавами Ni - B как возможная альтернатива хромовым покрытиям. Известия ТулГУ. Серия Электрофизикохимические воздействия на материалы. Вып. 6 - Тула, Изд - во ТулГу, 2005 - С. 122 – 128.

НОВОДОРОЖИВАНИЕ СТАЛЬНОЙ ОСНОВЫ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ

Звягинцева А.В.

(Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)

They Are Considered possible ways of the reduction hydrogen embrittlement steel. Possibility is Shown on preparing the optimum structure and reduction of the remaining voltages in steel. This fixing on steel Ni covering, got chemical nickeling, amorphous precipitation Ni - P and Ni - B thickness more 20 мкм, got by electrochemical way, promoting smaller hydrogen embrittlement.

Термической обработкой называется технологический процесс, состоящий из совокупности операций нагрева, выдержки и охлаждения изделий из металлов и сплавов, целью которого является изменение их структуры и свойств в заданном направлении [1].

Термическая обработка является одним из наиболее распространенных в современной технике способов получения заданных свойств металлов и сплавов. Термическая обработка применяется либо в качестве промежуточной операции для улучшения обрабатываемости давлением, резанием и др., либо как окончательная операция для придания металлу или сплаву такого комплекса механических, физических и химических свойств, который смог бы обеспечить заданные эксплуатационные характеристики изделия. Чем ответственнее изделие (конструкция), тем, как правило, в ней больше термически обработанных деталей.

Так как основными факторами любого вида термической обработки является температура и время, то любой процесс термической обработки можно описать графиком, показывающим изменение температуры во времени (рис.1). Постоянная скорость нагрева или охлаждения изображается на графике прямой линией с определенным углом наклона, при этом угол наклона характеризует скорость нагрева или охлаждения (α, β). Общая длительность термической обработки металла складывается из времени τ_1 собственно нагрева до заданной температуры, времени выдержки при этой температуре $\tau_1 - \tau_2$ и времени охлаждения до комнатной температуры $\tau_2 - \tau_3$, $\tau_3 - \tau_4$, $\tau_4 - \tau_5$.

В результате термической обработки в сплавах происходят структурные изменения. После термообработки металлы и сплавы могут находится в равновесном (стабильном) и неравновесном (метастабильном) состоянии. При охлаждении деталей (изделий) вместе с печью в них практически полностью проходят процессы вторичной кристаллизации и связанные с ними диффузионные превращения в металле или сплаве. В результате металл оказывается в состоянии, близком к равновесному (стабильному). При охлаждении на воздухе в металле происходят превращения, близкие к равновесным. При быстром охлаждении (масло, вода и др.) в металле не успевают проходить диффузионные процессы и связанные с ними превращения, поэтому он оказывается в неравновесном (частично неравновесном) состоянии.

Термообработка сталей до высокой температуры на отжиг или закалку влияет на последующие операции гальванической обработки. После термообработки сталей у гальваников возникает ряд проблем. Во-первых, образование окалины на необрабатываемых поверхностях изделий. Удаление окалины химическим или электрохимическим методом полирования создает дополнительные экологические и технологические трудности. Во-вторых, при химической обработке сталей традиционной является закалка в масле: масло пригорает к поверхности, и его приходится удалять промывкой в отдельных растворах или даже электрохимическим травлением. Это отрицательное влияние термической обработки исключается при проведении закалки в растворах солей, в водяном «душе», или, для ряда марок сталей, в потоке инертного газа и даже в вакууме. Проведение высокого отпуска в печах с защитной атмосферой предотвращает образование оксидов на поверхности изделий и облегчает их очистку. Все перечисленные моменты существенны для улучшения экологической обстановки в гальванических цехах.

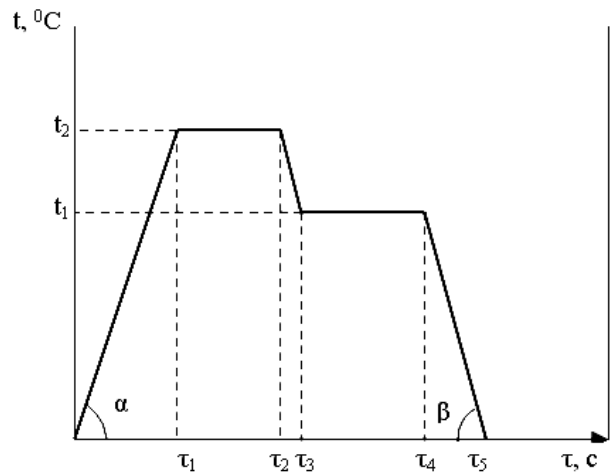


Рис. 1. График термической обработки сплавов

Кроме того, необходимо учитывать влияние технологии термической обработки на последующие электрохимические операции, в частности, нанесение на стали покрытий химическим или электрохимическим методом. Это взаимодейст-

вие металлической основы с компонентами электролитов и веществами, образуемыми в процессе нанесения. Например, при электроосаждении металлов Ni, Cr, Zn, Cd и ряда других на катоде протекает две сопутствующих реакции:

$$Me^{n+} + n\,\bar{e} \rightarrow Me$$

$$2H^{+} + 2\,\bar{e} \rightarrow H_2\uparrow$$

Выделяющийся H_2 на катоде включается в наносимое покрытие и вызывает его наводороживание, а также металлической основы. Наиболее наводороживаемыми у сталей являются те структуры, которые получены при быстрой закалке в воде или масле, которые охрупчиваются после нанесения Zn, Cr и других защитных или функциональных покрытий. Высокая склонность к водородному охрупчиванию сохраняется у таких структур сталей и после достаточно высокотемпературного отпуска, и после обезводороживающего прогрева при низкой температуре, особенно у высокопрочных сталей [2]. Переход на более мягкую изотермическую закалку не только снижает остаточные напряжения, также усиливающие водородное охрупчивание, но и создает структуру сталей менее чувствительную к водородному охрупчиванию.

Содержание водорода в покрытии зависит от природы наносимого металла, состава электролита и условий формирования. Наиболее наводороженными оказались цинковые покрытия из цианидных электролитов и износостойкие Cr покрытия из стандартных электролитов хромирования [3, 4]. Для одного типа наносимого металла в ряду электролитов от цианидных к щелочным и кислым наблюдается снижение наводороживания. Из всех применяемых в промышленности металлов и сплавов с меньшим наводороживанием покрытия и основы оказались Ni осадки, получаемые химическим никелированием, аморфные осадки Ni-P и Ni-B большой толщиной (выше 20 мкм), получаемые электрохимическим способом [5]. Покрытия Ni-P и Ni-B меньше наводороживаются, чем Ni- осадки, полученные из электролита того же состава, и легче отдают водород при их прогреве. Это делает их незаменимыми при нанесении покрытий на высокопрочную сталь и при замене токсичных электролитов хромирования на основе Cr(VI).

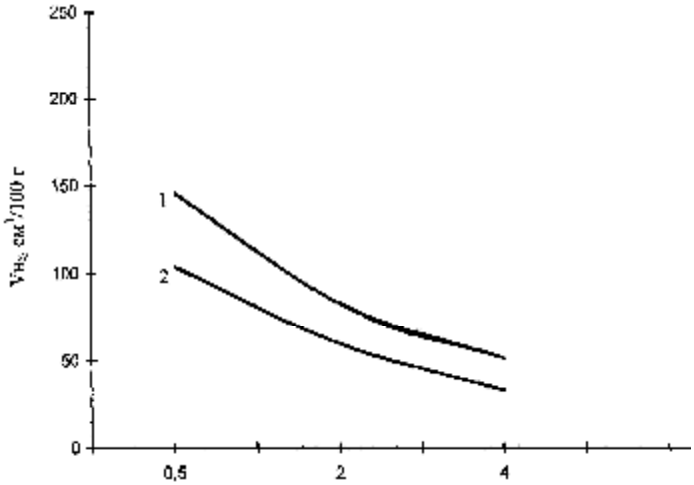


Рис. 2. Зависимость новодороживания от i_k. Режимы электроосаждения: pH = 4,0; $t_{эл\text{-}та}$ = 40 °С, $C_{бордобавки}$ = 0,05 г/л. 1 - Ni; 2 - Ni - B, d = 15 мкм

С увеличением i_k содержание водорода уменьшается (рис. 2, кр. 1, 2). Уменьшение V_{H2} при увеличении i_k объясняется двумя причинами: уменьшением BT_{H2} от 5,39 до 3, 74 %, при изменении i_k от 0,5 до 4 А/дм^2, и уменьшением дефектности покрытия, т.к. при этом снижается пористость от 25 до 5,7 (при содержании бора в сплаве 0,5 %). Для сравнения на рис.2, кр. 1 приведено наводороживание Ni - покрытий в зависимости от i_k.

Анализ данных на рис. 2, показывает, что содержание водорода в сплаве Ni - B меньше, чем в Ni - покрытии. Так, при i_k = 2 А/дм^2 для Ni - покрытия V_{H2} = 80

$см^3$/100 г, а для Ni - B покрытия V_{H2} = 60 $см^3$/100 г, что в 1,3 раза меньше. Это можно объяснить особенностями механизма формирования сплава Ni - B [2].

Наибольшее преимущество Ni-P и Ni-B перед другими покрытиями - это проведение операции обезводороживания при достаточно высокой температуре.

Если защитные хроматированные цинковые покрытия или кадмиевые покрытия не выдерживают прогрева выше 180 – 200 °С и разрушаются, то осадки Ni-P и Ni-B допускают прогрев при 350 – 550 °С, не окисляясь на воздухе. Низкая температура прогрева не обеспечивает обезводороживания в той степени, которая необходима для предотвращения водородного охрупчивания высокопрочной стали. Таким образом, выявляется ещё одно преимущество данных покрытий.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что существует реальная возможность по подготовке оптимальной структуры и снижению остаточных напряжений в сталях, это последующее нанесение покрытий, способствующих меньшему водородному охрупчиванию.

Список литературы: 1. Материаловедение: Учебник для вузов. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2004. – 736 с. **2.** Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с. **3.** Звягинцева А.В. Проблемы хромирования и альтернативные покрытия Ni-B / А.В. Звягинцева, Р.И. Бурдыкина // Гальванотехника и обработка поверхности. М., 2003. – Т. XI. - №2. – С. 24 – 29. **4.** Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник / под ред. М.А. Шлугера. М.: Машиностроение, 1985. – Т.1. – 240 с. **5.** Звягинцева А.В. Физико-механические свойства никелевых покрытий, легированных бором / А.В. Звягинцева, А.И. Фаличева // Гальванотехника и обработка поверхности. М., 1997. – Т.5. - №2. – С. 24 – 31.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООТВОДА ОТ ГАЗА К СТЕНКАМ ЦИЛИНДРА ЧЕРЕЗ ПОРШЕНЬ И ПОРШНЕВЫЕ КОЛЬЦА ДИЗЕЛЯ

Зеббар Джаллел, Зеббар Абделкадэр *(Университет Ибн-Хальдуна, г. Тиарит, Филиал г. Тиссемсильта, П.П.И., Париж, Алжир, Франция)*

In this paper, an attempt is made to work out a mathematical model of heat transfer from gases through cylinder liner and piston taking into account friction work and cooling conditions.

Количество теплоты, выделяющейся от трения поршня о стенки цилиндра, зависит, как известно, от чистоты вращения двигателя, нагрузки, конструкции, состояния трущихся поверхностей и других факторов. Непосредственная оценка теплоты, выделяющейся от трения поршня с кольцами, весьма сложно, ввиду трудности отделения ее от той теплоты, которая передается в поршень от горячих газов и от поршня в стенки цилиндра. Согласно [1] в быстроходных дизелях с укороченным неохлаждаемым поршнем большая доля теплоты трения, вне всякого сомнения, будет отводиться в сторону минимального температурного потенциала, а именно, в охлаждающую воду, однако часть теплоты трения будет все же поступать в поршень, поднимая тем самым его тепловой уровень. Характер распределения теплоты трения между втулкой и поршнем будет, по всей вероятности, зависеть от того обстоятельства, насколько поршневые кольца, являясь не только проводниками, но и источниками тепла, будут препятствовать отводу основного потока теплоты от газа к стенкам цилиндра.

С целью выяснения этих обстоятельств, на основе электротепловой аналогии была составлена модель [рис.1], описывающая передачу теплоты от газов в охлаждающую среду через цилиндровую втулку, элементы поршня (стакан, участки между поршневыми кольцами и юбку) и поршневые кольца (все детали моделирования приведенные в [2]).

Количество теплоты воспринятой головкой поршня и поверхностью цилиндровой втулки задается в виде функции $\chi(\varphi)$ (φ- угол ПКВ) прямо пропорциональной коэффициенту теплоотдачи от газов к стенке камеры сгорания $\alpha_г(\varphi)$ таким образом, чтобы результат ее интегрирования (суммирования) по всему времени цикла (от 0 до 4π) равнялся единице (рис.2).

Применительно к цилиндровой втулке важно отметить, что значения сопротивлений R_8 и R_9 принимаются переменными так как при движение поршня тепловоспринимающая поверхность цилиндра также перемена. Т.е.

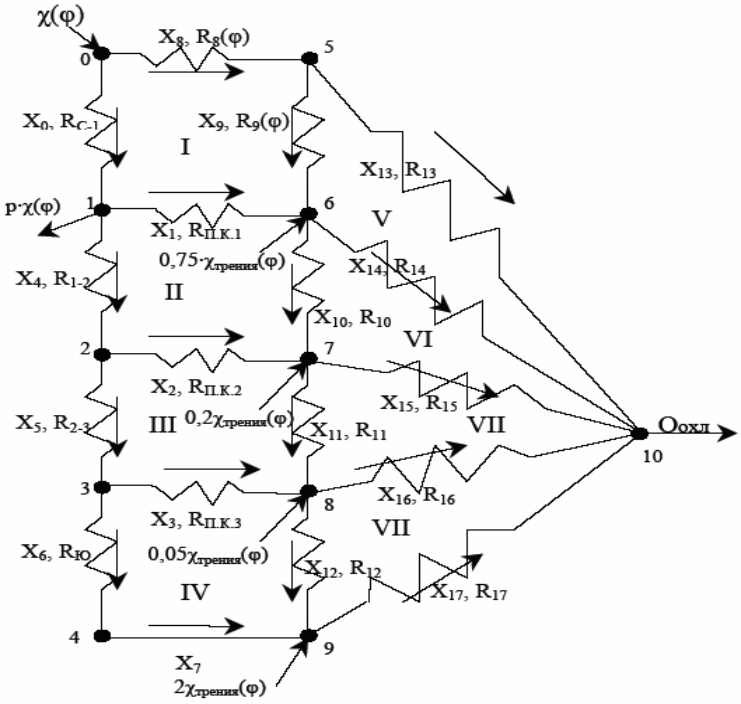


Рис.1. Эквивалентная электрическая схема элементов поршня, поршневых колец и цилиндровой втулки в соответствии с электротепловой аналогии применительно к двигателю 4Ч9,5/11

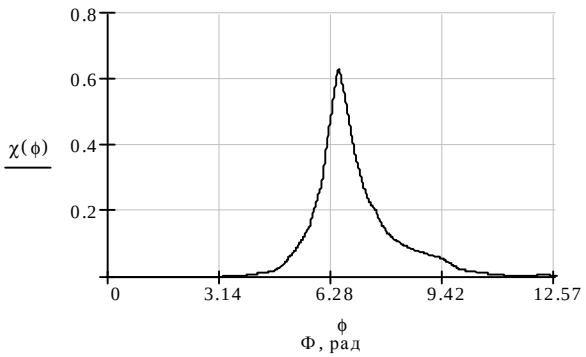


Рис.2. Относительные тепловые потери в стенки камеры сгорания

$$R_8(j)=\frac{\frac{\Delta}{l}+\frac{\Delta_м}{l_м}}{p\cdot D\cdot S(j)} \quad \text{и}$$

$$R_9(j)=\frac{S(j)+h}{l\cdot\frac{p}{4}\cdot\left(D_2^2-D_1^2\right)}$$

где λ и $\lambda_м$ - коэффициенты теплопроводности материала гильзы и масла соответственно, Вт/(м К); Δ и $\Delta_м$ – толщина стенки цилиндра и масляной пленки соответственно, м; $S(\varphi)=r[(1-\cos(\varphi))+0{,}25\lambda_{кшм}(1-\cos(2\varphi)))]$ - ход поршня; r-радиус кривошипа, м; $\lambda_{кшм}$- постоянная КШМ; D_1и D_2- внутренний и наружный диаметры цилиндровой втулки, м.

Так как теплоотдача в зарубашечном пространстве изменяется по высоте цилиндра то можно представить коэффициент теплоотдачи $\alpha_{охл}$ в виде зависимости $\alpha_{охл}(\varphi)$ принимающей максимальное значение в верхней части гильзы и минимальное в нижней ее части [2].

В таком виде $\alpha_{охл}(\varphi)$ входит в выражения для определения термических со-

противлений R_{14}, R_{15}, R_{16} и R_{17} $R_i(\varphi)=[(1/\alpha_{охл}(\varphi)) + (\Delta/\lambda)]/F_i$, где F_i – площадь поясов на цилиндровой втулке находящихся между точками 6-7, 7-8 и 8-9 , а точки 6, 7, 8 и 9 – места контакта 1-ого, 2-ого , 3-ого поршневых колец и юбки поршня с цилиндровой втулкой соответственно. Выражение для расчета R_{13} такое же, но при этом принимается среднее значение $\alpha_{охл}$ в зарубащечном пространстве и всю площадь смоченной поверхности $F_{13}= \pi D_2 S$, где S- максимальный ход поршня.

Термические сопротивления R_{10}, R_{11} и R_{12} определяются по выражение $R_i=\ell_i/[\lambda(D_2^2-D_1^2)]$, где l_i- длина поясов 6-7, 7-8 и 8-9.

Далее составляются соответствующие уравнения токов в узлах 1..10 по первому правилу КИРГХОФА и уравнения замкнутых цепей для контуров I, II, III, IV,V, VI, VII и VIII по второму правилу. При этом сумма токов в точке 10 принимается равной $Q_г + Q_{трения} - Q_м$, где $Q_г= \chi(\varphi)$,– количество теплоты подводимой с газами; $Q_{трения}$ - количество теплоты эквивалентной работы трения поршневых колец и юбки поршня; $Q_м$ - количество теплоты отводимой в масло и в картер принимается равным $p\cdot\chi(\varphi)$ где p=0; 0,01; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3.

Суммарный тепловой поток эквивалентный работе трения колец и юбки поршня задаются в виде зависимости $3\cdot\chi_{трения}(\varphi)$ (рис.3) [1]. При этом доли теплоты эквивалентной работы трения 1-ого, 2-ого, 3-ого поршневых колец и юбки поршня составляют $0{,}75\cdot\chi_{трения}(\varphi)$, $0{,}2\cdot\chi_{трения}(\varphi)$, $0{,}05\cdot\chi_{трения}(\varphi)$ и $2\cdot\chi_{трения}(\varphi)$ соответственно, а суммарное значение подведенного тепла в результате работы сил трения равняется при этом ψ=0,08. Иными словами, количество теплоты эквивалентной работы трения поршневых колец и юбки поршня прошедшей в систему охлаждения составляет 8% от общего тепла прошедшего в систему охлаждения. На математическом языке это означает

$$\int_0^{4p} 3c_{трения}(j)\cdot dj = y \int_0^{4p} c(j)\cdot dj = y$$

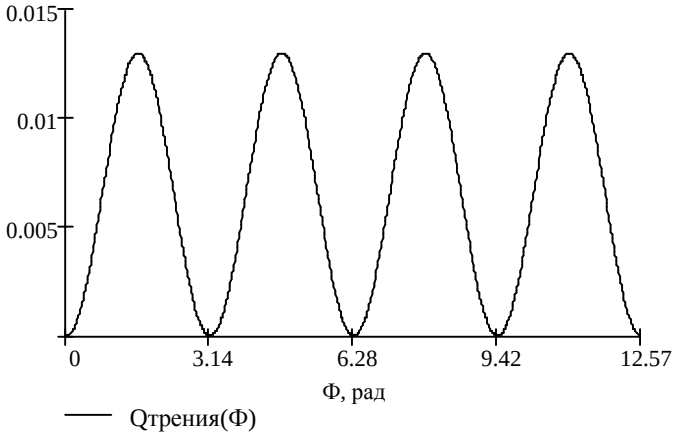


Рис.3. Относительные тепловые потери эквивалентные работе трения юбки поршня и поршневых колец

Полученная система линейных алгебраических уравнений состоит из 18 уравнений с 18 неизвестных, при этом каждый неизвестный зависит от φ.

Из анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы: с увеличением теплоотвода в масло отмечается : -уменьшение количества теплоты отводимой в систему водяного охлаждения; -уменьшение количеств теплоты отводимой через первое, второе и третье поршневых колец. - уменьшение теплоотвода, как через юбку

поршня, так и непосредственно от газов в цилиндровую втулку; - там, где значения сил трения максимальные, а именно при прохождении поршня по середине цилиндровой втулки и, при отсутствии сгорания в камере сгорания отмечается обратный приток теплоты от поршневых колец к донышку поршня (Рис.4 а), 5 а)); -в случае отсутствия работы трения отмечается отсутствие обратного притока теплоты от поршневых колец к донышку поршня (Рис.5 б), 6 б)).

Таким образом, полученные результаты подтверждают предположения автора работы [3] о том, что часть теплоты трения колец воспринимается поршнем и по этой причине должна быть учтена в тепловом балансе поршня. Таким образом высказывания о том, что тепло трения колец уходит непосредственно в охлаждающую жидкость отвергаются. Также можно утверждать, что наличие трения поршневых колец и юбки поршня препятствует теплоотводу от днища поршня через кольца и юбку в цилиндровую втулку. Эта разница (подводимой к поршню теплоты в %) составляет примерно 30% и 18% для неохлаждаемого и охлаждаемого поршней соответственно.

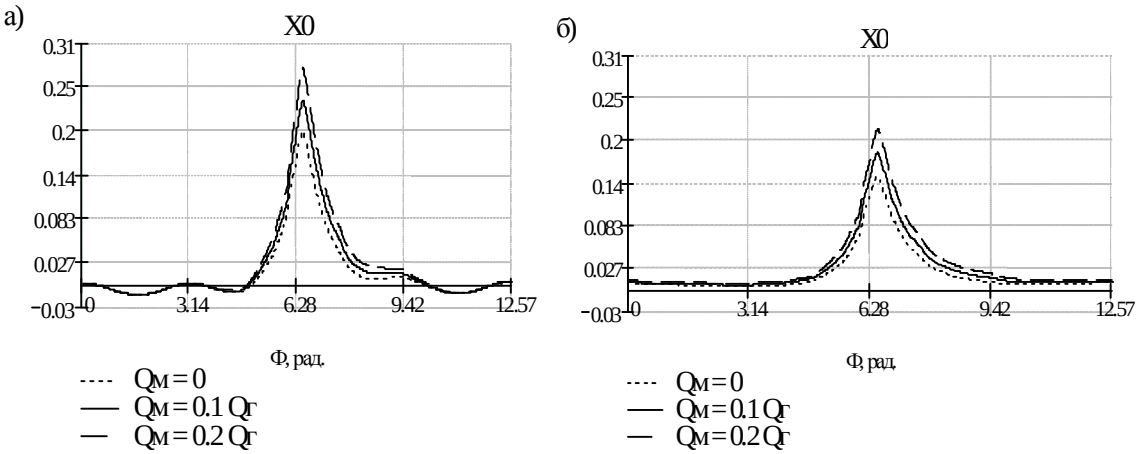
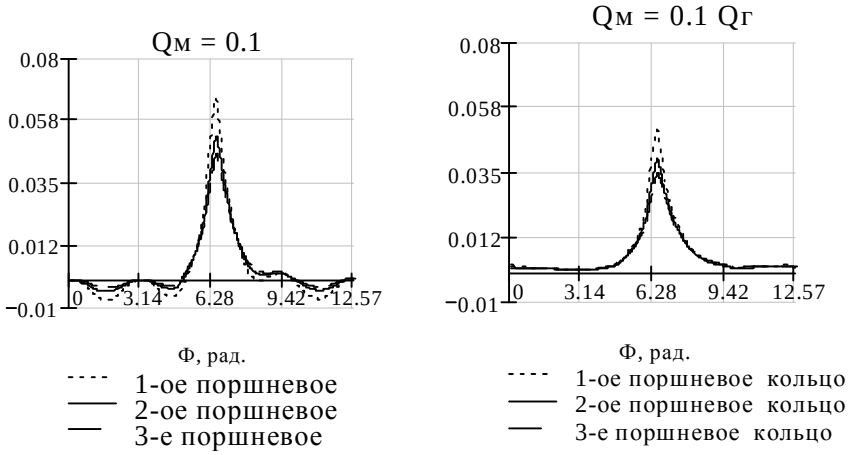


Рис.4. Относительные тепловые потери в результате теплопередачи от газов через днище поршня при наличии а) и отсуствии б) работы трения юбки поршня и поршневых колец



а) б)

Рис.5. Относительные тепловые потери в результате теплопередачи от газов через поршневые кольца при наличии а) и отсутствии б) работы трения юбки поршня и поршневых колец

Полученные расчетным путем результаты совпадают с теми результатами полученными экспериментальным путем в работе [4], где сравнивались количества теплоты подведенной к поршню в безмоторном стенде и в реальном двигателе. Разница в подведенной теплоте к поршню составила 30% и 18,5 % для неохлаждаемого и охлаждаемого поршней соответственно.

Список литературы: 1. Дьяченко Н.Х., Дашков С.Н. и др. Теплообмен в двигателях и теплонапряжённость их деталей. - Л.: Машиностроение, 1969. - 248 с; **2.** Зеббар Джаллел. Исследование и разработка методологии определения теплового состояния деталей цилиндропоршневой группы судовых дизелей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Астрахань, АГТУ, 2005. - 133 с; **3.**Дьяченко Н.Х., Дашков С.Н. и др. Теплообмен в двигателях и теплонапряжённость их деталей. - Л.: Машиностроение, 1969. - 248 с; **4**.Устинов А.Н. Исследование поршневых колец дизелей. - Саратов, 1974. - 126 с.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Иванов И.А., Султан С.А.И., Кармажи Х.Т.Е. *(БНТУ, г. Минск, Беларусь)*

In this paper the main parameters of vacuum arc plasma flows such as ion density and charge of ions, stable arc current, erosion mechanism of cathode material are discussed.

Повышение качества защитных вакуумных покрытий (уменьшение пористости, шероховатости, увеличение адгезии с основой) требует знания основных свойств осаждаемых плазменных потоков. В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал по исследованию закономерностей формирования плазменных потоков электроразрядных испарительных устройств [1-3]. Однако все они относятся к исследованию фундаментальных вопросов и не имеют технологических рекомендаций.

Цель данной работы – систематизировать уже имеющиеся экспериментальные результаты, сконцентрировав основное внимание на параметры плазменных потоков, которые наиболее важны с точки зрения практического использования электроразрядных испарительных устройств в технологии нанесения защитных покрытий в вакууме.

Формирование плазменных потоков, содержащих в ионизированном виде материал осаждаемых покрытий, происходит при дуговом разряде в вакууме выше 10-2 Па. Эрозия катода в вакуумной дуге в основном связана с генерацией катодным пятном капель расплавленного материала катода и ионов. Доля нейтрального пара в массопереносе незначительная и не превышает 1%. Доля ионного тока, которая может быть использована в технологических целях, составляет не более 10% от тока дугового разряда. Количество микро капельной фазы зависит от тока дуги, расстояния от плоскости катода до поверхности конденсации, давления газа в вакуумной камере и материала катода. Фазовый состав продуктов генерации определяется в основном материалом катода.

Генерируемый плазменный поток является изотропным. Количество капель, летящих по нормали к поверхности катода в пределах 90...70°, значительно меньше количества капель, летящих под меньшими углами. Максимум капель наблюдается при углах 25...30° [2]. Распределение капельной фазы по пространству связано с формирова-

нием кратеров катодного пятна, которое происходит за счет выдавливания плазменным столбом жидкого металла на их края. Ионная составляющая плазменного потока имеет ярко выраженную осевую направленность и является многозарядной (табл.1). Распределение ее по пространству подчиняется закону косинуса или квадрата косинуса. Степень ионизации потока колеблется от 20 до 100% и зависит от материала катода. Исследования состава потока показывают, что распределение ионов по заряду и энергиям сильно зависит от материала и расстояния от поверхности эрозии и слабо от тока дуги (при увеличении тока дуги происходит некоторое уменьшение в потоке доли многозарядных ионов), что позволяет проводить сравнение экспериментальных данных.

Величина минимального тока устойчивого горения дуги на однокомпонентных катодах приведена в таблице 2. Добавление в состав материала катода второго элемента существенно изменяет его эрозионные характеристики. Например, величина минимального тока устойчивого «горения» дуги на катодах из сплавов систем титан—кремний, цирконий—кремний, гафний—кремний, молибден—кремний с содержанием кремния более 66 ат. % меньше его величины при дуговом разряде на однокомпонентных металлических катодах. Так, для титана минимально устойчивый ток дугового разряда равен 80А, для циркония — 90А. На сплавах титан-кремний и цирконий—кремний устойчивый разряд наблюдается при токах дугового разряда 45А. Стабильность дугового разряда в общем случае зависит от формы электродов, материала катода, расположения электродов друг относительно друга.

Таблица 1. Состав ионного потока вакуумной электродуговой плазмы

Материал катода	Доля ионов различного заряда, %				
	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Средний заряд
Cr	16	66	14	2	2.7
Ti	27	67	6	-	1.8
Ti + 80 ат %Si	Ti 18.6; Si 62.3	Ti 11.7; Si 7.4	-	-	1.2
Zr + 84 ат %Si	Zr- нет; Si 30.0	Zr 55.0; Si 8.0	Zr4.0; Si-нет	Zr3.0; Si-нет	1.8
Zr	3	33	42	-	1.94
Si	37.3	57.6	5.1	-	1.68

Стабильное и устойчивое горение дуги при низких токах (50 А) наблюдается на металлах с низкой температурой плавления (770...1750°К) – это Zn, Cd, Mg, Bi, Pb. На сплавах с высокой температурой кипения (2200...3000°К) в тех же условиях дуга неустойчива. Ввод примесей в сплав (от 5 до 20%) стабилизирует горение дуги. Технологически стабильность горения дуги достигается увеличением тока дугового разряда или увеличением давления технологического газа (аргона или азота) в объеме вакуумной камеры.

Таблица 2. Величина минимальных токов устойчивого горения дуги

Материал катода	Критический ток, А
Al	60
Ti	80
Cu	80
Ni	90
Zr	90

Существенно меняется величина коэффициента электропереноса с изменением состава катода (табл. 3). В некоторых случая возможно изменение механизма эрозии. Так, процесс эрозии исследуемых сплавов кремния с переходными металлами происходит как в катодных пятнах первого рода, так и в тепловых катодных пятнах в зависимости от содержания кремния в сплаве [3]. При содержании кремния выше 86...88 ат. %. эрозия протекает в тепловых катодных пятнах. Соответственно имеет место увеличение скорости эрозии сплавов и уменьшение количества энергии, затрачиваемой на испарение единицы объема материала катода (рис. 1). Скорость эрозии сплавов кремния с переходными металлами по порядку величины соответствует скорости эрозии в вакуумной дуге металлов и выше её (рис. 2).

Таблица 3. Эрозионные характеристики металлов.

Материал катода	k x10^{-4} Гр/кулон	Материал катода	k x10^{-4} Гр/кулон
Su	5.43	Ni	1.08
Bi	13.0	Fe	0.982
Cd	4.37	Ti	0.523
Zn	2.0	Zr	0.58
Mg	0.475	Cr	0.232
Al	0.683	V	0.320
Cu	0.90	Nb	0.430
Mo	0.392	W	0.70
Ta	0.714	C	0.21

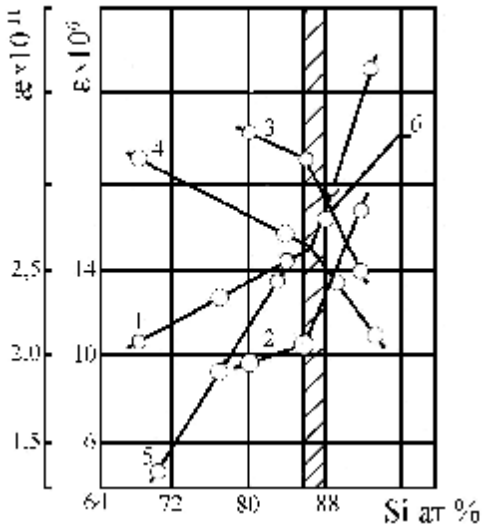


Рис. 1. Зависимость коэффициента электропереноса к- 1, 2, 5, 6 и энергетической цены генерации ε – 4, 3.
1, 4 –цирконий-кремний; 2, 3- титан-кремний; 5-молибден-кремний; 6 - гафний-кремний

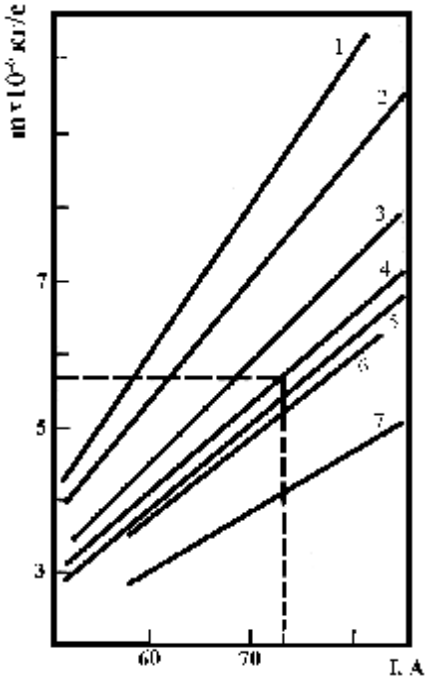


Рис. 2. Скорость эрозии от тока дугового разряда. 1- гафний +88 am. % кремния;
2 - цирконий + 84 am. % кремния;
3 - титан +92 am. % кремния; 4 - титан +80 am. % кремния; 5 - титан + 86 am. % кремния; 6 - титан ВТ1-0; 7- цирконий

Скорость эрозии пропорциональна току дугового разряда [1]*:*

$$m = k \times I_д$$

где k — коэффициент электропереноса, г/Кл, не зависит от величины тока дуги, $1_д$ -ток дугового разряда. Механизм эрозии полностью определяется типом катодного пятна. Поскольку коэффициент электропереноса не зависит от тока дугового разряда то можно определить время полного срабатывания катода. Например, скорость эрозии сплава титан - 80 ат. % кремния при токе дугового разряда 75А равна $4{,}7.10^{-6}$ кг/с (рис.2). При массе рабочей части катода 0,3 кг его полное срабатывание при непрерывном режиме работы составит 17,6 часов. При продолжительности рабочей смены в 8 часов и с учетом технического времени на разогрев (1 ч) и остывание (0,9 ч) диффузионного насоса вакуумной установки и средней длительности технологического цикла (1 ч) оператор может обработать одним катодом 18 полных загрузок изделий в течение трех рабочих смен.

Основные выводы работы:

1. Плазменный поток вакуумных электродуговых испарительных устройств является изотропным. Ионная составляющая плазменного потока многозарядна и имеет выраженную осевую направленность. Доля ионного тока, которая может быть использована в технологических целях, составляет 10 %.

2. Стабильное и устойчивое «горение» дуги при токах разряда менее 50 А наблюдается на металлах с низкой температурой плавления. Стабилизация разряда на ка-

тода из тугоплавких металлов достигается введением 5…20 % примесей, что может сопровождаться изменением механизма эрозии получаемых сплавов.

Список литературы: 1. Плазменно-вакуумные покрытия/Под общ. ред Ж.А.Мрочека.- Мн.: УП Технопринт, 2004.- 369 с.; **2.** Аксенов И.И. и др. Исследование эрозии катода стационарной вакуумной дуги: Препринт ХФТИ 84-6.-М.: ЦНИИатоминформ, 1984.- 23 с.; **3.** Емельянов В.А. и др. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий.- Мн.: Бестпринт, 1998.- 284 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Ивченко Т.Г., Голембиевская Т.Н., Рудина И.А. *(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

With the use of method of the warmth sources the technique of analytical calculation of the cutting tool temperature in the non-stationary cutting conditions at milling is developed, which allow forecasting an instantaneous temperature in any point of the milling cutter blade at the irregular cutting.

Тепловые явления при фрезеровании в значительной мере определяют эффективность использования режущего инструмента, производительность и качество механообработки. Актуальность задач по исследованию теплового состояния фрез возрастает в связи существенным увеличением тепловых нагрузок на режущее лезвие вследствие интенсификации режимов обработки в современном производстве.

В настоящее время достаточно хорошо разработаны методы исследований теплового состояния режущего инструмента в условиях установившегося теплообмена [1, 2]. Однако при фрезеровании нестационарностью процесса пренебречь нельзя. Известные общетеоретические закономерности описания теплофизических явлений при установившемся теплообмене в этом случае не учитывают особенностей процесса фрезерования и требуют существенного уточнения [1, 2].

Целью настоящей работы является разработка методики определения температуры фрез и теоретические исследования тепловых явлений при фрезеровании в зависимости от условий обработки в условиях теплообмена.

В работе исследованы следующие теплофизические особенности фрезерования:

- прерывистость процесса резания при фрезеровании, характеризующаяся нагревом лезвия инструмента в период рабочего хода и его остыванием в период холостого;
- одновременное участие в работе нескольких лезвий многолезвийного инструмента и влияния на температуру рассматриваемого лезвия фрезы нагрева детали под воздействием участвующих в работе предшествующих лезвий;
- переменность параметров среза при фрезеровании и как следствие – силовых и тепловых нагрузок на лезвие инструмента.

При схематизации компонентов технологической системы отдельное лезвие фрезы рассматривается в виде неограниченного клина с углом заострения □. Источник теплоты, возникающий на передней поверхности лезвия инструмента, представляется двумерным прямоугольным с размерами bxl (l - длина контактной площадки стружки с передней поверхностью лезвия в направлении схода стружки, b - ширина площадки) и равномерным распределением плотности тепловыделения q.

Прерывистый процесс резания при фрезеровании характеризуется наличием рабочих ходов длительностью tp, которые чередуются с холостыми ходами длительностью tx и в сумме определяют длительность цикла $t_ц = t_p + t_x$:

$$t_ц = \frac{60}{n},\ t_p = \frac{60}{pn} arcsin\frac{B}{D},\ t_x = \frac{30}{pn}\left(2p - arcsin\frac{B}{D}\right),\quad l_z = \frac{pD}{z}, \tag{1}$$

где n – частота вращения; B – ширина фрезерования; D – диаметр фрезы; l_z - расстояние между зубьями фрезы; z – число зубьев.

Циклический процесс изменения во времени температуры любой точки лезвия фрезы $Q_ц$ аналитически может быть описан следующим образом [3]:

$$Q_ц(x,y,z,t) = \begin{cases} Q_{нi}(x,y,z,t),\ если\quad t_ц(i-1) \le t \le (t_p + t_ц i),\quad i = 1,2..n_ц \\ Q_{oi}(x,y,z,t),\ если\quad (t_p + t_ц(i-1)) \le t \le t_ц i \end{cases}, \tag{2}$$

где $\Theta_{нi}(x,y,z,\tau)$ – температура в любой точке лезвия при нагреве в период рабочего хода; $\Theta_{oi}(x,y,z,\tau)$ - температура в любой точке лезвия при охлаждении в период холостого хода; $n_ц$ – число циклов.

Процесс нагрева лезвия фрезы под действием плоского источника при неустановившемся теплообмене описывается следующим образом:

$$Q_н(x,y,z,t) = PT(y,h,z,F_o) = P\int_0^1 dy_u \int_{-a}^{a} \frac{\left(1 - erf\left[\frac{\sqrt{(y-y_u)^2 + h^2 + (z-z_u)^2}}{2\sqrt{F_o}}\right]\right)}{\sqrt{(y-y_u)^2 + h^2 + (z-z_u)^2}} dz, \tag{3}$$

где $P = K_b K_д\, ql/4\, l_u p$ - размерный коэффициент: q - плотность теплового потока; λ_u, w_u - коэффициенты теплопроводности и температуропроводности инструмента; K_b - коэффициент перехода от неограниченного пространства к неограниченному клину (K_b= 4 для b = 90°, K_b= 6 для b = 60°); $K_д$- коэффициент, учитывающий нагрев детали предшествующими зубьями фрезы; $\psi = x/l$, $\psi_u = x_u/l$, $\zeta = z/l$, $\zeta_u = z_u/l$, $h = y/l$ - безразмерные координаты; a = 0,5b/l - безразмерная ширина среза; $F_o = w_u t\ /l^2$ - безразмерный критерий времени, или критерий Фурье; $T(\psi,h,\zeta,F_o)$ - безразмерное распределение температур; $erf[u]$ – известная модифицированная функция интеграла вероятностей: $erf[u] = \left(2/\sqrt{p}\right)\int_0^u e^{-u^2} du$.

Процесс охлаждения, происходящий в отсутствие нагрева за счет отвода тепла из зоны резания вглубь лезвия, описывается зависимостью:

$$Q_o(x,y,z,t) = PT(y,h,z,\infty) exp[-0.04F_o], \tag{4}$$

где $T(\psi,\zeta,h,\infty)$ – безразмерное распределение температур при установившемся теплообмене.

При схематизации компонентов технологической системы деталь рассматривается как полубесконечное тело. Источник теплоты, возникающий на поверхности заготовки в результате взаимодействия с лезвием фрезы, рассматривается как быстродвижущийся полосовой шириной l_∂, определяемой условиями стружкообразования и контакта инструмента с деталью, с равномерным распределением плотности тепловыделения q_∂.

Распределение температур в детали под воздействием полосового быстродвижущегося источника при установившемся теплообмене описывается следующим образом:

$$Q(x_\partial, y_\partial) = \frac{1}{2} P_\partial \int_0^D \frac{dc_u}{\sqrt{c - c_u}} exp\left(-\frac{Pe}{4} \frac{n^2}{c - c_u} \right), \tag{5}$$

где $P_\partial = 2q_\partial \sqrt{w_\partial l_\partial} \,/\, l_\partial \sqrt{pV}$ - размерный коэффициент: l_∂, w_∂ – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности детали; $\chi = x_\partial / l_\partial$, $\chi_u = x_{u\partial} / l_\partial$, $\upsilon = y_\partial / l_\partial$ – безразмерные координаты; D - верхний предел интеграла: $D = \chi$ при $0 \le \chi \le 1$ и $D = 1$ при $\chi > 1$; $Pe = Vl_\partial / w_\partial$ - критерий Пекле.

Коэффициент для расчета температуры вершины лезвия фрезы, учитывающий нагрев детали предшествующими зубьями K_∂, исходя из условия равенства температур на вершине лезвия и контактирующей с ней точкой детали, может быть рассчитан следующим образом:

$$K_\partial = 1 + \left(\sqrt{l_z / l_\partial} - \sqrt{l_z / l_\partial - 1} \right). \tag{6}$$

Переменная во времени толщины среза $a(t)$, обуславливающая переменность длины контакта стружки с передней поверхностью лезвия $l(t)$ и стружки с поверхностью детали в зоне деформации $l_\partial(t)$, а также плотности тепловыделения на передней поверхности лезвия $q(t)$ и на поверхности детали $q_\partial(t)$ в зависимости от подачи на зуб фрезы s_z определяется следующим образом:

$$a(t) = s_z \sin j \; \sin\left(\frac{pnt}{30} + \arccos\frac{B}{D} \right), \; если \; t_ц (i-1) \le t \le \left(t_p + t_ц i \right), \; i = 1,2...n, \tag{7}$$

На основе представленных зависимостей выполнены исследования влияния на температуру лезвия прерывистости процесса фрезерования в условиях нестационарного теплообмена, нагрева детали под воздействием участвующих в работе предшествующих лезвий многолезвийного инструмента, переменности параметров среза. Установлена взаимосвязь между температурами лезвия инструмента, работающего в условиях стационарного и нестационарного теплообмена.

В результате проведенных исследований разработана методика определения температуры лезвия фрезы в любой его точке в любой момент времени, позволяющая теоретически исследовать его тепловое состояние в зависимости от условий обработки. Разработаны рекомендации по выбору рациональных параметров процесса резания, обеспечивающих снижение температуры лезвия инструмента при прерывистом реза-

нии. Методика может быть использована для различных типов инструментов, работающих в условиях нестационарного теплообмена.

Список литературы: 1. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1981. - 279с. **2.** Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. – 288с. **3.** Ивченко Т.Г. Теоретические исследования теплового состояния торцовых фрез // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. Вип.17. – Краматорськ: ДДМА, 2006.- С.33-39.

РЕГЛАМЕНТАЦИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАНОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ И ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

Ивченко Т.Г., Польченко В.В., Кузнецова А.В. ***(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)***

The theoretical and experimental investigation of cutting tools temperature used for increasing of reliability. The improvement of cutting tools effective exploitation is made by substantiation of optimal cutting conditions.

Использование комбинированных методов обработки в современном машиностроительном производстве является одним из наиболее эффективных способов повышения производительности и качества изготовления машин. Одним из вариантов является комбинирование лезвийной и отделочно-упрочняющей обработок, причем в настоящее время наиболее распространено совместное точение и обкатывание наружных и внутренних поверхностей вращения, осуществляемое с применением комбинированных инструментов.

В современных исследованиях достаточно хорошо изучены основные закономерности обработки и формирования поверхностного слоя деталей, как при точении, так и при обкатывании [1], а также имеются сведения об особенностях процесса и выборе рациональных условий обработки при совместном точении и обкатывании [2]. Однако в этих исследованиях не затронуты вопросы возможного использования смазочно-охлаждающих технологических сред при комбинированной обработке, достаточно хорошо обоснованные для лезвийной обработки [3].

Цель представляемой работы - повышение эффективности комбинированной лезвийной и отделочно-упрочняющей обработки с использованием смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и регламентация ее рациональных параметров.

В работе представлены результаты комплексного исследования взаимосвязей между параметрами комбинированной обработки при совместном точении и обкатывании с использованием СОЖ и оптимизации режимов обработки по критерию максимальной производительности. Комбинированная обработка осуществляется специальными инструментами, сочетающими в себе одновременно работающие режущие и деформирующие элементы, которые оказывают взаимное влияние, прежде всего, на температурное состояние деталей и инструментов, а также на формирование поверхностного слоя деталей. Подача СОЖ в зону обработки осуществляется свободным поливом или напорной струей, причем в инструментах для обработки внутренних поверхностей вращения для этих целей предусматриваются специальные каналы в оправке.

Первым этапом комплексного исследования комбинированной обработки является установление закономерностей формирования поверхностного слоя детали. Особенностью комбинированной обработки является необходимость учета одновременного влияния режимов обработки как на исходные параметры поверхностного слоя, образующиеся при лезвийной обработке, так и на окончательные, формируемые при отделочно-упрочняющей. В качестве примера на рис. 1 представлены графики зависимости среднеарифметического отклонения профиля R_a от подачи S при отделочно-упрочняющей R_{aoy} и комбинированной обработке R_{ak}. При комбинированной обработке исходная шероховатость R_{au} переменна и уменьшается с уменьшением подачи, в связи с чем, параметр шероховатости R_{ak}, формируемый в результате обработки меньше, чем при обычной отделочно-упрочняющей обработке с постоянной исходной шероховатостью. Следовательно, при комбинированной обработке для одних и тех же подач может быть достигнута меньшая шероховатость поверхностного слоя, чем при обычной отделочно-упрочняющей.

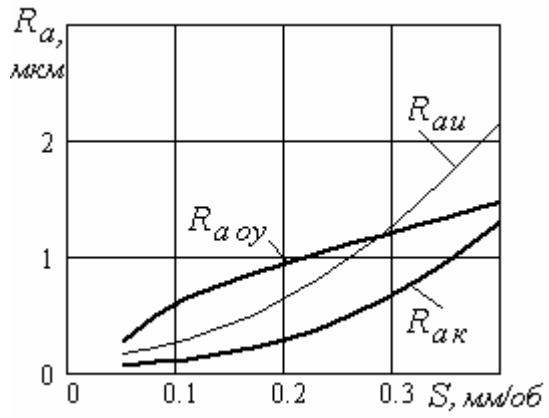


Рис.1. Графики зависимости параметра шероховатости R_a от подачи S

Теоретически и экспериментально обоснована возможность представления полученной кривой R_{ak} в степенном виде: $R_{ak}(S) = AS^a$. Разработана методика определения значений постоянного коэффициента A и показателя степени a для различных условий обработки.

Вторым этапом комплексного исследования комбинированной обработки является установление характера и степени влияния условий обработки на тепловое состояние лезвийного инструмента, характеризуемого температурой резания, так как именно лезвийный инструмент является лимитирующим при комбинированной обработке.

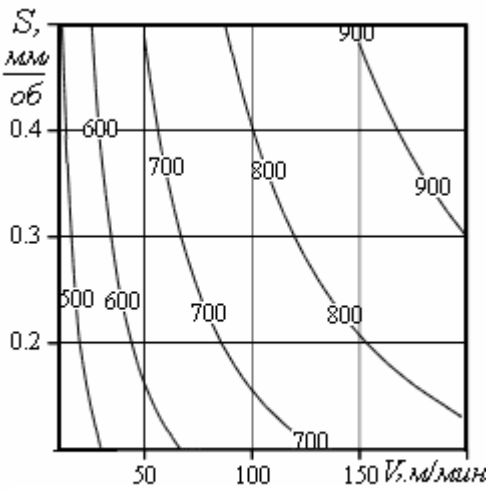


Рис. 2. Графики зависимости температуры резания Θ_P от скорости резания V и подачи S.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований обоснована степенная зависимость температуры резания Θ_P от скорости резания V и подачи S с использованием СОЖ, учитываемой коэффициентом K_T: $Q_P(V,S) = C_T K_T V^{n_T} S^{y_T}$. Разработана методика определения коэффициентов C_T и K_T, а также показателей степени n_T , y_T для различных условий лезвийной обработки. На рис. 2 в виде линий уровня, на которых цифрами указана температура резания Θ_P представлены зависимости температуры резания от скорости V и подачи S (условия обработки: сталь 45; K_T =1; резец Т15К6; передний угол g =0; глубина резания t = 1мм; допустимый износ h =0,4мм). Для этих условий установлена зависимость: $\Theta_P = 315V^{0,23}S^{0,14}$.

Использование СОЖ позволяет существенно снизить температуру в зоне резания лезвийным инструментом. В результате исследований установлены следующие зависимости:

- коэффициента снижения температуры K_T от коэффициента теплоотдачи α при подаче СОЖ свободным поливом и напорной струей:

$$K_{Tполив} = 1 - 7{,}5 \cdot 10^{-6} a_{полив}; \qquad K_{Tнапор} = 5{,}3 \cdot a_{напор}^{-0{,}18}; \tag{1}$$

- коэффициента теплоотдачи от скорости потока жидкости w и характерного омываемого размера l:

$$a_{полив} = 1{,}9 \cdot 10^3 w^{0.6} / l^{0.4}; \qquad a_{напор} = 2{,}6 \cdot 10^3 w^{0.8} / l^{0.2}; \tag{2}$$

- коэффициента теплоотдачи от расхода жидкости R (л/мин) и диаметра отверстия d, из которого она вытекает (с учетом того, что скорость потока $w = 4 \cdot 10^3 R / 60 p d^2$):

$$a_{полив} = 1{,}2 \cdot 10^4 R^{0.6} / l^{0.4} d^{1.2}; \qquad a_{напор} = 3 \cdot 10^4 R^{0.8} / l^{0.2} d^{1.6}; \tag{3}$$

- коэффициента снижения температуры K_T от условий подачи жидкости в зону резания: расхода жидкости R и диаметра отверстия d:

$$K_{Tполив} = 1 - 0{,}09 \cdot R^{0.6} / l^{0.4} d^{1.2}; \quad K_{Tнапор} = 1{,}6 \cdot 10^5 \cdot l^{0.07} \cdot d^{0.29} / R^{0.14}. \tag{4}$$

Третьим этапом комплексного исследования параметров комбинированной лезвийной и отделочно-упрочняющей обработки является их оптимизация по критерию максимальной производительности с использованием метода линейного программирования. В качестве целевой функции рассматривается производительность обработки, определяемая основным временем $to = L/ns$ с учетом длины обработки L, частоты вращения n и подачи s. Максимум производительности достигается при минимуме основного времени, или максимуме произведения $n s \rightarrow max$. Для оптимизации параметров совместного точения и обкатывания используются следующие основные ограничения:

- по режущим возможностям инструмента $V \le C_V K_V / T^m t^{x_v} S^{y_v}$ (C_V, K_V – коэффициенты и x_v, y_v, m – показатели, характеризующие степень влияния глубины t, подачи S и стойкости T на скорость резания V);

- по предельно допустимой шероховатости поверхности $AS^a \le R_{адоп}$.

При использовании СОЖ с регулированием величины коэффициента теплоотдачи α за счет выбора рациональных условий подачи жидкости в зону обработки, достигается возможность снижения температуры до предельно допустимого уровня $Q_{доп}$ = 800°С, принимаемого из условия отсутствия структурно-фазовых превращений в поверхностном слое детали, и снятия температурного ограничения.

С использованием метода линейного программирования с учетом указанных ограничений выполнен поиск оптимальные режимов совместной обработки точением и обкатыванием. Установлены аналитические выражения для определения оптимальных значений подачи $S_{опт}$ и скорости обработки $V_{опт}$:

$$S_{опт} = (R_{адоп} / A)^{1/a}, \; V_{опт} = C_V \cdot K_V / T^m \cdot t^{X_V} S_{опт}^{y_v}. \tag{5}$$

Таким образом, в результате проведенных исследований предложены аналитические зависимости для расчета оптимальных режимов комбинированной лезвийной и отделочно-упрочняющей обработки, обеспечивающие максимально достижимый уровень производительности при заданном качестве поверхностного слоя обрабатываемой детали с учетом использования СОЖ.

Список литературы: 1. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320с. 2. Ивченко Т.Г., Дубоделова О.С. Исследование возможностей комбинированной лезвийной и отделочно-упрочняющей обработки по повышению качества поверхностного слоя и производительности // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Межд. сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2006. Вып. 31. – С.140-146. 3. Івченко Т.Г. Підвищення ефективності функціонування збірного ріжучого інструменту з використанням технологічних охолоджуючих середовищ // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Межд. сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2005. Вып. 29. – С. 87-94.

ЗУБОТОЧЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ЭВОЛЬВЕНТНЫМ ПРОФИЛЕМ

Игнатенко О.Г., Витренко А.В., Мухина О.С., Воронцов С.Б.
(ВНУ им. В.Даля, г.Луганск, Украина)

The article investigates tooth-cutting of cylindrical gear wheels having involute profile by means of rolling cutters produced from quazi-hyperbola workpiece with the help of involute slotters or instrumental gear-wheel having no back clearance.

Нарезание цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем ведут методом обкатки при помощи червячных фрез, режущих реек, долбяков, обкаточных резцов.

Обработка зубьев при помощи обкаточных резцов получила название зуботочение. При рассмотрении зацепления двух цилиндрических зубчатых колес с винтовыми зубьями, работающими с перекрещивающимися осями, наблюдается скольжение боковой поверхности зубьев одного колеса относительно другого. Это условие и было использовано профессором Цвисом Ю.В. для нарезания цилиндрических зубчатых колес, когда одно из двух сцепляющихся винтовых колес заменили инструментом типа зуборезного долбяка, а другое заменили заготовкой [1]. В данном случае инструмент можно представить как многозаходную червячную фрезу. Этим способом можно нарезать как косозубые так и прямозубые цилиндрические зубчатые колеса. Прямозубые зубчатые колеса необходимо нарезать обязательно косозубым инструментом, так как только в этом случае угол скрещивания осей не будет равен нулю.

На рисунке 1 представлены три схемы нарезания цилиндрических зубчатых колес методом зуботочения:

а.) нарезаемое зубчатое колесо прямозубое, инструмент – обкатной косозубый резец;

б.) нарезаемое колесо косозубое, инструмент – обкатной прямозубый резец;

в.) нарезаемое зубчатое колесо косозубое, инструмент – обкатной косозубый резец.

Наивыгоднейший угол скрещивания осей резца и заготовки 90°. Чем меньше угол скрещивания, тем хуже условия резания. Как показали исследования, производительность зуботочения выше производительности зубофрезерования примерно в 3-5 раз.

Тем не менее, зуботочение не находит применения на заводах мира. Такое положение объясняется точечным характером касания между основными сопряженными поверхностями. В результате режущие кромки обкаточного резца должны иметь гео-

метрию, идентичную контактным линиям сопряженных поверхностей. Такую режущую кромку пока осуществить не удается. В результате резание в промышленности на существующем оборудовании в настоящее время не осуществляется.

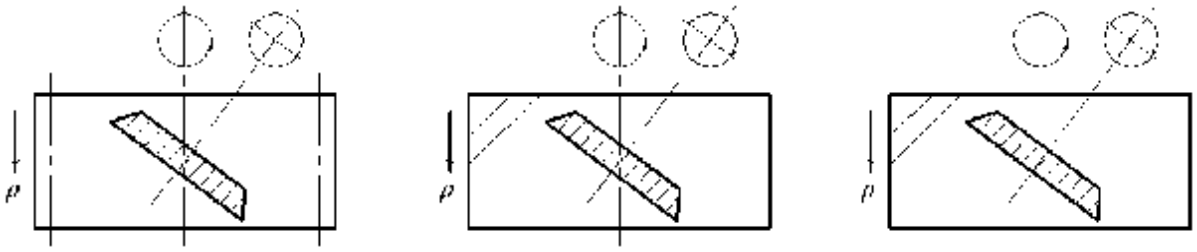


Рис. 1. Схемы нарезания зубчатых колес методом зуботочения

В настоящей работе проведены теоретические и практические исследования зуботочения при помощи инструментов, полученных как огибающие цилиндрических прямозубых и косозубых зубчатых колес при скрещивании осей. В этом случае огибающей обрабатываемого цилиндрического прямозубого или косозубого зубчатого колеса будет квазигиперболоидное колесо [2],[3]. Рассмотрим образование основной поверхности на предлагаемом специальном инструменте, для чего введем подвижные системы координат S1(X1Y1Z1) и S2(X2Y2Z2), связанные, соответственно, с обрабатываемым цилиндрическим колесом и искомым инструментом, и подвижную систему координат S(XYZ), относительно которой задается положение подвижной системы координат. Эти системы приведены на рис.2, где: O1Z1 и O2Z2 –оси вращения, γ – угол перекрещивания осей, Aw – кратчайшее межосевое расстояние.

Заметим, что если смотреть с положительного направления осей Z1 и Z2, нарезаемое колесо (Z1) и квазигиперболоидный инструмент (Z2) вращаются по стрелке часов.

Уравнения цилиндрического прямозубого колеса в подвижной системе координат X1Y1Z1 запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} X1 &= f1(\lambda) - r; \\ Y1 &= f2(\lambda); \\ Z1 &= \mu \end{aligned} \qquad (1)$$

Здесь: $f1(\lambda)$, $f2(\lambda)$ – профиль цилиндрического колеса; λ – переменная величина, r – радиус окружности; μ – текущая координата по оси 01Z1.

Используя известные методы теории зацепления [4], получим уравнения поверхности искомого инструмента в следующем виде:

$$X2 = M21X1;\ \ Y2 = M21Y1;\ \ Z2 = M21Z\ 1;\ \ F(\lambda,\mu,\varphi 1), \qquad (2)$$

где: X2Y2Z2 - координаты поверхности искомого квазигиперболоидного инструмента, принимают следующий вид:

$$X2 = [f1(\lambda) - r](\cos\varphi 1\cos\varphi 2 + \cos\gamma\sin\varphi 1\sin\varphi 2) + f2(\lambda)(\cos\gamma\cos\varphi 1\sin\varphi 2 -$$

$$- \sin\varphi 1\cos\varphi 2) - \mu\sin\gamma\sin\varphi 2 + Aw\cos\varphi 2$$

$$Y2 = [f1(\lambda) - r](\cos\gamma \sin\varphi1\cos\varphi2 - \cos\varphi1\sin\varphi2) + f2(\lambda)(\sin\varphi1\sin\varphi2 + \\ +\cos\gamma \cos\varphi1\cos\varphi2) - \mu \sin\gamma \cos\varphi2 - Aw \sin\varphi2 \quad (3)$$

$$Z2 = f1(\lambda)\sin\gamma \sin\varphi1 + f2(\lambda) \sin\gamma \cos\varphi1 + \mu \cos\gamma$$

$$F(\lambda, \mu, \varphi1) = 0$$

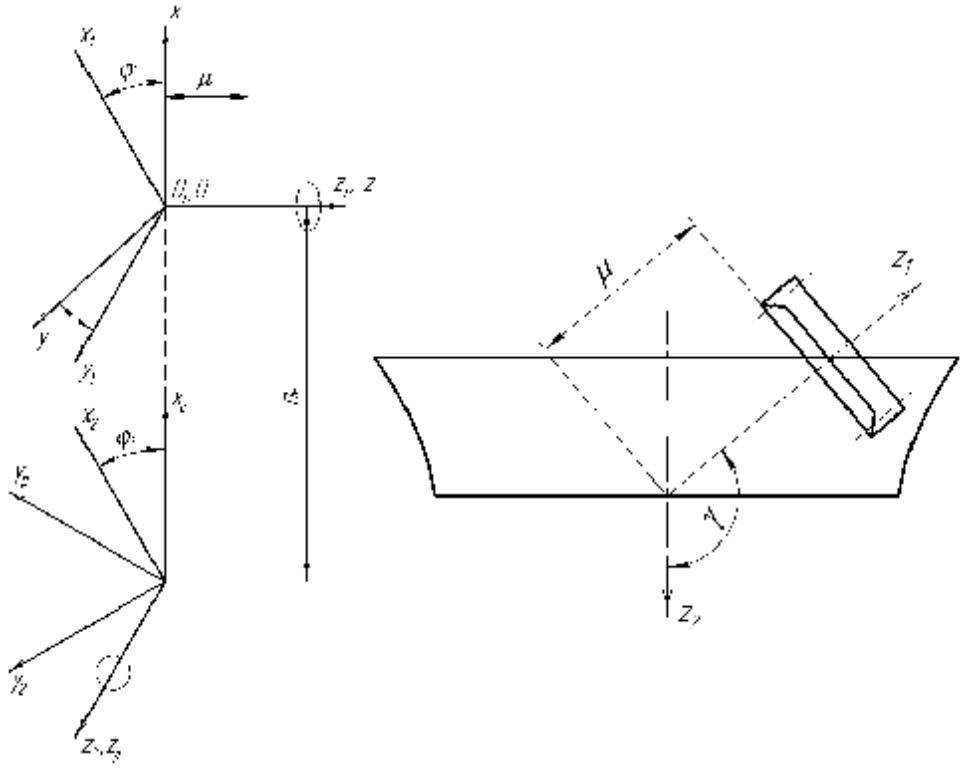


Рис.2. Системы координат

Здесь: $F(\lambda, \mu, \varphi1)$ – уравнение зацепления, известное из теории зацепления [4].

M21 – матрица перехода от системы S1(X1Y1Z1) к системе S2(X2Y2Z 2) имеет следующий вид:

$$\begin{vmatrix} \cos\varphi1\cos\varphi2 + \cos\gamma \sin\varphi1\sin\varphi2 & -\sin\varphi1\cos\varphi2 + \cos\gamma \cos\varphi1\sin\varphi2 & -\sin\gamma \sin\varphi2 & Aw \cos\varphi2 \\ -\cos\varphi1\sin\varphi2 + \cos\gamma \sin\varphi1\cos\varphi2 & \sin\varphi1\sin\varphi2 + \cos\gamma \cos\varphi1\cos\varphi2 & -\sin\gamma \cos\varphi2 & -Aw \sin\varphi2 \\ \sin\gamma \sin\varphi1 & \sin\gamma \cos\varphi1 & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (4)$$

Для получения передних граней на поверхности искомого инструмента (2) необходимо функции (1) подставить в уравнения (2) при этом, увеличив угол скрещивания осей γ на 90°, ось O1Z1 повернуть против часовой стрелки в положение O1Z1' и изменить вращение нарезаемого колеса против стрелки часов (рис. 3).

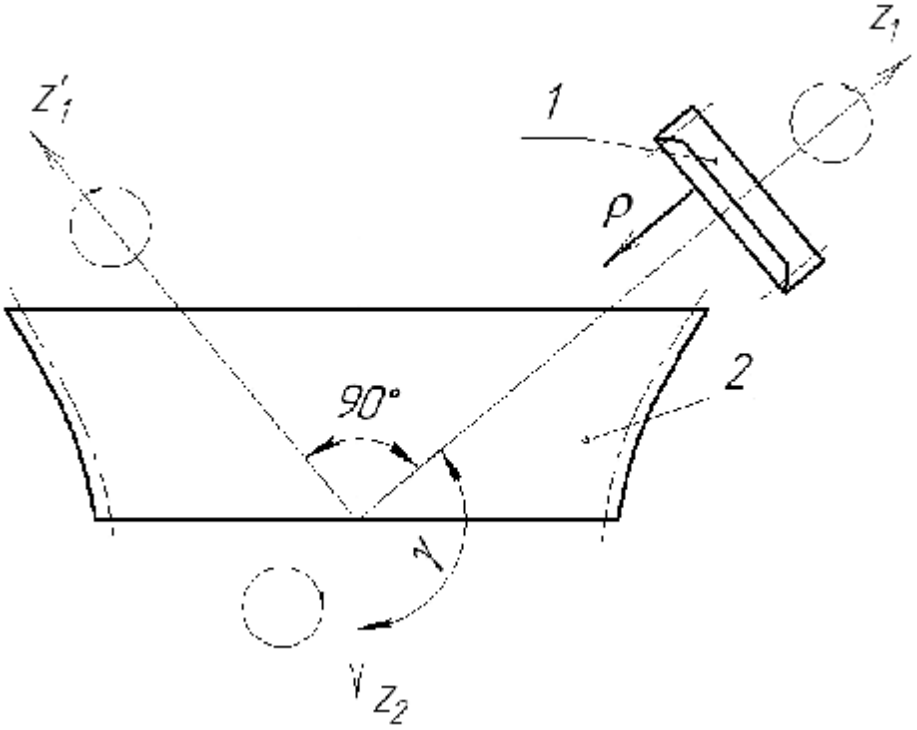


Рис. 3. Схема изготовления передних граней на гиперболоидном инструменте

При помощи полученного инструмента можно осуществлять нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес. Процесс нарезания зубьев зависит от величины относительной скорости скольжения; суммарной скорости движения поверхностей в направлении, перпендикулярном линии контакта; угла между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактной линии. Используя работы, посвященные теории зацепления [2], [4], получим в общем виде: относительные скорости скольжения; суммарные скорости перемещения поверхностей в направлении перпендикулярном линии контакта и углы между скоростями скольжения и направлениями контактных линий, а также другие геометро-кинематические параметры изготовления зубьев.

Численный анализ приведенных выше геометро-кинематических параметров процесса нарезания зубьев, проведенный на ЭВМ, показывает, что на инструменте, выполненном на квазигиперболоиде, относительная и суммарная скорости скольжения, а также угол между контактными линиями и скоростью скольжения колеблются в широких пределах. При этом первостепенное значение для указанных величин имеет выбор участка на заготовке по координате Z2 (рис. 3). Управлять величинами геометро-кинематических параметров изготовления зубьев колес и инструментов в широких пределах можно также при помощи величины передаточного числа U =φ1 /φ2, входящего в матрицу M21.

В настоящее время осуществлено изготовление квазигиперболоидного инструмента при помощи инструментального цилиндрического колеса. На рис. 3 показана ус-

тановка цилиндрического инструментального колеса 1 относительно заготовки 2. Используя относительное скольжение поверхностей изготовляемого инструмента о передние грани зубьев инструментального колеса, появляющегося за счет скрещивания осей на угол γ, осуществляют процесс резания. Для получения инструмента любой ширины инструментальному колесу сообщают поступательное перемещение вдоль оси 01Z1 по стрелке S. Вращение цилиндрического инструментального колеса и заготовки осуществляют по часовым стрелкам при угловых скоростях, обратно пропорциональных количеству их зубьев. Для образования передних граней необходимо ось нарезаемой заготовки 01Z1 повернуть на угол 90° в положение 01Z'1. В результате будет получен квазигиперболоидный инструмент в виде обкаточного резца с большим количеством заходов. Заметим, что полученный квазигиперболоидный обкаточный резец будет нарезать точный профиль только для определенного количества зубьев. Все другие зубья будут нарезаны с искажением.

Выводы.

1.Рассмотрен способ зуботочения цилиндрических зубчатых колес, предложенный Ю.В. Цвисом.

2. Предложен принципиально новый способ получения обкаточного резца на квазигиперболоидной заготовке.

3. Показано, что зуботочение цилиндрических зубчатых колес зависит от угла перекрещивания осей заготовки и инструмента.

4. Полученный квазигиперболоидный обкаточный резец не затылуется, что резко улучшает точность обрабатываемых колес.

5. Квазигиперболоидный обкаточный резец нарезается методом обкатки при помощи цилиндрического инструментального колеса, которое не затылуется и остро не затачивается.

Список литературы: 1. Цвис Ю.В. Исследование процесса зуботочения цилиндрических зубчатых колес: Дисс. докт. техн… наук. - М., 1956.- 262с. **2.** Давыдов Я.С. Неэвольвентное зацепление. - М. Машгиз, 1950. - 186с. **3.** Кириченко И.А. Создание гиперболоидных передач с линейным контактом зубьев на базе специальных режущих инструментов. Дисс. … докт. техн. наук. – Луганск, 2004. – 350 с. **4.** Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. Изд.2-е, пер. и доп. – М.: Наука, 1968. – 584 с. **5.** Воронцов Б.С., Витренко В.А., Бочарова И.А., Кириченко И.А. Моделирование гиперболоидных инструментов с использованием CAD – систем // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем// Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, вип. №17, 2005. – С. 318-323. **6.** Родин П.Р. Проектирование и производство режущего инструмента. [Учеб. пособие для вузов специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»]. Изд.2-е, перераб. и доп. – К.: Техника, 1968. – 358 с. **7.** Родин П.Р., Климов В.И. Технология изготовления зуборезного инструмента. – К.: Техника, 1982. – 207 с. **8.** Витренко В.А. Гиперболоидные инструменты для обработки и отделки цилиндрических прямозубых зубчатых колес. Дисс. … докт. техн. наук. – Луганск, 1995. – 304 с.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК

Ильицкий В.Б., Ерохин В.В. (*БГТУ, г. Брянск, Россия*)

In the article are considered questions of determination of inaccuracy of form of processed surfaces of stocking up, stated in machine adjustment

Для описания реального процесса формирования макроотклонений обрабатываемой поверхности заготовки, как и для анализа размерной точности обрабатываемой заготовки, примем следующие условие обеспечения заданного параметра макроотклонения:

$$ETH > ET_{пр.нт} + ET_{пр.д.} + \omega_{ср.э.ф}, \quad (1)$$

где ETH – допуск на параметр макроотклонения, мм; $ET_{пр.нт}$, $ET_{пр.д}$ – составляющие погрешности формы обрабатываемой поверхности (H) заготовки, обусловленные соответственно неточностью изготовления приспособления и его деформациями, в направлении измерения погрешности формы, мм; $\omega_{ср.э}$ – средняя экономическая точность формирования резанием макроотклонений поверхности заготовки, учитывающая состояния (точность, динамическую жесткость) станка, инструмента и заготовки, мм.

В формуле (1) ITH, $\omega_{ср.э.ф}$ являются заданными параметрами.

Параметрами неточности изготовления приспособления $ET_{пр.нт}$, влияющими на отклонения формы и расположения базированной заготовки, являются приведенная линейная точность расположения шести опорных точек заготовки или установочных опор. Под приведенной линейной точностью здесь понимается точность либо обработки базирующих поверхностей установочных опор за один проход, либо сборки приспособления, относящегося к системам УСП, СРП и УСПО.

Отклонение от расположения (параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности) обрабатываемой поверхности заготовки определяется по формулам

$$ET_{пр.нт.x} = \{u_i\}_{\max}; \quad ET_{пр.нт.y} = \{v_i\}_{\max}; \quad ET_{пр.нт.z} = \{w_i\}_{\max},$$

где $ET_{пр.нт.x}$, $ET_{пр.нт.y}$, $ET_{пр.нт.z}$ – отклонения формы обрабатываемой заготовки, вследствие неточности изготовления приспособления или его деталей, соответственно в направлениях x, y, z, мм; $\{u_i\}_{\max}$, $\{v_i\}_{\max}$, $\{w_i\}_{\max}$, – вектор-столбцы максимальных значений перемещений i-ой точки обрабатываемой поверхности соответственно в направлениях x, y, z, мм.

Методика определения перемещений u_i, v_i, w_i следующая.

1. Выбрать систему координат, определяющую положение установочных опор и устанавливаемой на них заготовки.

2. Определить координаты 6-и опорных точек установочных опор приспособления, по которым устанавливается заготовка, т.е. необходимо знать координаты точек (x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3), (x_4, y_4, z_4), (x_5, y_5, z_5), (x_6, y_6, z_6).

3. Определить уравнения базирующих плоскостей установочных опор, проходящих через соответствующие координаты опорных точек перпендикулярно продольной оси симметрии установочных опор. Если установочная опора сферическая, тогда уравнение плоскости определяется из условий – эта плоскость проходит через вершину

сферы, касательно этой сфере и перпендикулярно продольной оси симметрии установочной опоре. В этом случае должны быть получены шесть плоскостей заданные следующими уравнениями:

$$A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0; \quad A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0; \quad A_3x + B_3y + C_3z + D_3 = 0;$$

$$A_4x + B_4y + C_4z + D_4 = 0; \quad A_5x + B_5y + C_5z + D_5 = 0; \quad A_6x + B_6y + C_6z + D_6 = 0,$$

где нижние индексы 1, 2, 3, 4, 5, 6 – индексы соответствующих опорных (базирующих) точек совокупности установочных опор; A, B, C, D – искомые коэффициенты в уравнениях базирующих плоскостей.

4. Определить косинусы направляющих углов (всего 18 углов) между нормальными векторами базирующих плоскостей и осями координат, т.е.

$$\cos\varphi_{xi} = |A_j(A_j^2 + B_j^2 + C_j^2)^{-0,5}|;$$

$$\cos\varphi_{yi} = |B_j(A_j^2 + B_j^2 + C_j^2)^{-0,5}|;$$

$$\cos\varphi_{zi} = |C_j(A_j^2 + B_j^2 + C_j^2)^{-0,5}|,$$

где φ_{xi}, φ_{yi}, φ_{zi} – направляющие углы соответственно между осями координат x, y, z, рад.; j – номер индекса соответствующей опорной (базирующей) точки установочной опоры, т.е. j = 1, 2, 3, 4, 5, 6.

5. Решить систему из линейных уравнений относительно перемещений ξ, η, ζ, θ, ψ, φ.

$$\begin{cases}
c_{11}\xi + c_{15}\psi + c_{16}\varphi = \cos\varphi_{x1} - \cos\varphi_{x2} + \cos\varphi_{x3} - \cos\varphi_{x4} + \cos\varphi_{x5} - \cos\varphi_{x6}; \\
c_{22}\eta + c_{24}\theta + c_{26}\varphi = \cos\varphi_{y1} - \cos\varphi_{y2} + \cos\varphi_{y3} - \cos\varphi_{y4} + \cos\varphi_{y5} - \cos\varphi_{y6}; \\
c_{33}\zeta + c_{34}\theta + c_{35}\psi = \cos\varphi_{z1} - \cos\varphi_{z2} + \cos\varphi_{z3} - \cos\varphi_{z4} + \cos\varphi_{z5} - \cos\varphi_{z6}; \\
c_{42}\eta + c_{43}\zeta + c_{44}\theta + c_{45}\psi + c_{46}\varphi = y_1\cos\varphi_{z1} - z_1\cos\varphi_{y1} - y_2\cos\varphi_{z2} + \\
\qquad + z_2\cos\varphi_{y2} + y_3\cos\varphi_{z3} - z_3\cos\varphi_{y3} - y_4\cos\varphi_{z4} + z_4\cos\varphi_{y4} + \\
\qquad + y_5\cos\varphi_{z5} - z_5\cos\varphi_{y5} - y_6\cos\varphi_{z6} + z_6\cos\varphi_{y6}; \\
c_{51}\xi + c_{53}\zeta + c_{54}\theta + c_{55}\psi + c_{56}\varphi = - x_1\cos\varphi_{z1} + z_1\cos\varphi_{x1} + x_2\cos\varphi_{z2} - \\
\qquad - z_2\cos\varphi_{x2} - x_3\cos\varphi_{z3} + z_3\cos\varphi_{x3} + x_4\cos\varphi_{z4} - z_4\cos\varphi_{x4} - \\
\qquad - x_5\cos\varphi_{z5} + z_5\cos\varphi_{x5} + x_6\cos\varphi_{z6} - z_6\cos\varphi_{x6}; \\
c_{61}\xi + c_{62}\eta + c_{64}\theta + c_{65}\psi + c_{66}\varphi = - y_1\cos\varphi_{x1} + x_1\cos\varphi_{y1} + y_2\cos\varphi_{x2} - \\
\qquad - x_2\cos\varphi_{y2} - y_3\cos\varphi_{x3} + x_3\cos\varphi_{y3} + y_4\cos\varphi_{x4} - x_4\cos\varphi_{y4} - \\
\qquad - y_5\cos\varphi_{x5} + x_5\cos\varphi_{y5} + y_6\cos\varphi_{x6} - x_6\cos\varphi_{y6}.
\end{cases}$$

где ξ, η, ζ – линейные перемещения неподвижной координатной системы 0xyz соответственно вдоль осей x, y и z, вследствие погрешности изготовления приспособления и его деталей, мм; θ, ψ, φ – угловые перемещения координатной системы 0xyz соответственно вокруг осей x, y и z, вследствие погрешности изготовления приспособления и его деталей, рад; $c_{11} = 2K$; $c_{22} = K$; $c_{33} = 3K$; $c_{15} = c_{51} = K(z_4 + z_5)$; $c_{16} = c_{61} = -K(y_4 + y_5)$; $c_{24} = c_{42} = -Kz_6$; $c_{26} = c_{62} = Kx_6$; $c_{34} = c_{43} = K(y_1 + y_2 + y_3)$; $c_{35} = c_{53} = -K(x_1 + x_2 + x_3)$; $c_{44} = K(z_6^2 + y_1^2 + y_2^2 + y_3^2)$; $c_{45} = c_{54} = -K(x_1y_1 + x_2y_2 + x_3y_3)$; $c_{46} = c_{64} = -Kz_6x_6$; $c_{55} = K(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + z_4^2 + z_5^2)$; $c_{56} = c_{65} = -K(y_4z_4 + y_5z_5)$; $c_{66} = K(y_4^2 + y_5^2 + x_6^2)$;

$K = (0{,}5ITH)^{-1}$, где ITH – допуск на расположение в продольном направлении опорных поверхностей установочных опор, мм.

6. Определить перемещения точки обрабатываемой поверхности.

$$u_i = \xi - \varphi y_i + \psi z_i, \quad v_i = \eta + \varphi x_i - \theta z_i, \quad w_i = \zeta - \psi x_i + \theta y_i,$$

где x_i, y_i, z_i – заданные координаты i-й точки, принадлежащей базированной заготовке; в системе координат $0xyz$, мм;

В связи с тем, что решение вышеприведенной системы линейных уравнений относительно неизвестных ξ, η, ζ, θ, ψ, φ является достаточно громоздким, решать данную систему необходимо в программном обеспечении, имеющем в своем составе математический процессор с функциями решения линейных уравнений. При этом рекомендуется использовать математические процессоры на базе математических ядер Maple или Mathematica.

Проведем расчет отклонений формы обрабатываемой поверхности заготовки, установленной на установочную , направляющую и опорную базы, в трех направлениях (x, y, z) при заданных значениях линейного допуска на изготовление в продольном направлении установочных опор и их координатного расположения. Например, допуск – ITH = 10 мкм; координаты точки обработки – $x_{i.1}$ = 10 мм, $y_{i.1}$ = 10 мм, $z_{i.1}$ = 10 мм; координаты трех точек, образующих установочную базу, – x_1 = 2 мм, x_2 = 16 мм, x_3 = 2 мм, y_1 = 2 мм, y_2 = 8 мм, y_3 = 16 мм, z_1 = 0 мм, z_2 = 0 мм, z_3 = 0 мм; координаты двух точек, образующих направляющую базу, – x_4 = 0 мм, x_5 = 0 мм, y_4 = 6 мм, y_5 = 2 мм, z_4 = 13 мм, z_5 = 3 мм; координаты точки, образующей опорную базу, – x_6 = 5 мм, y_6 = 0 мм, z_6 = 4 мм, определяют следующие погрешности формы (перемещения точек $x_{i.1}$, $y_{i.1}$, $z_{i.1}$ обрабатываемой поверхности заготовки)

$u_{i.1}$ = 28,6 мкм; $v_{i.1}$ = –12,99 мкм; $w_{i.1}$ = 1,76 мкм.

Анализируя результаты формул по определению перемещений u_i, v_i, w_i точек обрабатываемых поверхностей заготовок, устанавливаемых на установочную, направляющую и опорную базы, можно заключить, что

$$u_i = v_i = 1{,}5\ldots24w_i.$$

$$ET_{пр.нт.y} = (1{,}5\ldots24)ET_{пр.нт.z}, \quad ET_{пр.нт.y} \approx |ET_{пр.нт.x}|.$$

Если проанализировать эти результаты при установке заготовки на двойную направляющую, опорную и опорную базы, то получиться результат аналогично схеме базирования по установочной, направляющей и опорной базам.

Вывод: обрабатываемые поверхности заготовки параллельные опорным поверхностям, образующим установочную или двойную направляющую базу, имеют наименьшие значения погрешностей формы и расположения.

Аналитический математический анализ показывает, что любая заготовка, установленная на шесть опорных точек, всегда имеет точку, в которой существуют наименьшее значение погрешностей формы и расположения поверхности. То есть относительно заданной формы расположения поверхностей заготовки возможно при заданном допуске ITH определение местонахождения координат опорных точек установочных

опор приспособления, которое обеспечивало бы минимальные погрешности формы и расположения обрабатываемых поверхностей заготовки.

Погрешность $ET_{пр.д}$ для установочных опор с плоскими установочными поверхностями определяется по формуле:

$$ET_{пр.д} = L\frac{\Delta y}{l_1},$$

где L – длина обрабатываемой поверхности заготовки, мм; Δy – поле рассеивания деформации приспособления в направлении исследуемой величины макроотклонения формы, мм; l_1 – минимальное расстояние между установочными опорами приспособления для установочной или направляющей технологической базы, мм.

$$\Delta y = \left(\Delta_w + \Delta_N - \Delta_N\Delta_w\right)\left[\frac{Nl}{A_н E_{пр}} + \sum_k p\left(\frac{2pNRa_k Wz_k H_{\max.k}}{A_{н.k} HV_k}\right)^{\frac{1}{3}}\left(1 + \frac{2p\left(1-m_k^2\right)HV_k Sm_k}{E_k Ra_k}\right)\right],$$

где Δ_N – колебания силы давления заготовки на установочные опоры, которое зависит от схем базирования и закрепления заготовки, а также от применяемого типа привода зажима приспособления; Δ_ω – колебание податливости приспособления в направлении его установочных элементов; l – приведенная длина приспособления к стержневой конструкции в направлении его установочных элементов, мм; $A_н$ – номинальная площадь контакта заготовки с установочными опорами, мм; $E_{пр}$, $E_{лл}$ – модули упругости первого рода соответственно приспособления, i-о элемента приспособления, Н/мм^2; Ra, Sm, R_{max}, Wz, H_{max} – геометрические параметры поверхности элементов приспособления соответственно среднее арифметическое отклонение профиля, средний шаг неровностей профиля, наибольшая высота неровностей профиля, высота волнистости по пяти точкам, макроотклонения формы, мм; k – число контактов элементов приспособления, включая контакт с заготовкой, в направлении исследуемой величины Δy при незамкнутом силовом поле от действия силы N; N – общая сила реакции опор установочных элементов или сила зажима заготовки в направлении исследуемой величины Δy, Н; HV – микротвердость по шкале Викерса; μ – коэффициент Пуассона.

Модуль упругости приспособления определяется по формуле

$$\frac{1}{E_{пр}} = \frac{1}{l}\sum_k \frac{l_k}{E_k}.$$

Погрешность теоретических результатов, посчитанных по приведенным формулам, относительно экспериментальных значений погрешностей формы и расположения составляет 12…20%.

ШЛИФПОРОШКИ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА РАЗЛИЧНОЙ ПРОЧНОСТИ

Ильницкая Г.Д., Невструев Г.Ф., Соколов А.Н. *(ИСМ им. В.Н. Бакуля АН Украины, Киев, Украина)*

The properties of powders of cubic boron nitride of various trade marks are considered in article. It is shown, that the powders of cubic boron nitride can be divided under the strength into the groups and to appropriate to these groups of powders of marks.

Шлифпорошки кубического нитрида бора (cBN) являются типичными представителями класса сверхтвердых материалов, причем, поскольку в отличие от синтетического алмаза, у cBN отсутствует химическое сродство с железом, то это свойство предопределяет исключительную эффективность инструмента на его основе при обработке закаленных до высокой твердости сталей [1].

Шлифпорошки cBN, синтезируемые разными производителями, имеют определенные различия в эксплуатационных характеристиках и выпускаются под различными торговыми марками.

Как и в случае алмаза, характеристикой, лежащей, как правило, в основе разделения на различные марки и определяющей работоспособность инструмента, является прочность материала, то есть свойство материала сопротивляться разрушению или пластическому деформированию под действием внешних нагрузок. Мерой прочности является предел прочности – максимальное напряжение, при котором материал разрушается под действием статической (медленно нарастающей) сжимающей или растягивающей нагрузки [2]. По величине этого параметра можно оценивать характер напряженного состояния и степень совершенства кристаллической структуры материала.

Разработана специальная методика [3] для определения предела прочности зерен сверхтвердых материалов неправильной формы, которая лежит в основе разделения шлифпорошков синтетического алмаза по маркам.

Шлифпорошки cBN также, как порошки синтетического алмаза, различаются по величине статической прочности. Поэтому является целесообразным оценить возможность разделения шлифпорошков cBN по прочности на группы, соответствующие определенной марке.

В Украине и странах СНГ выпускают шлифпорошки cBN различных торговых марок, имеющих начальную прочность для порошков каждой зернистости. В соответствии техническими условиями ТУ У 88.090.018-98 «Порошки кубического нитрида бора (кубонита)» в Украине производят порошки cBN следующих торговых марок: кубонит КО, кубонит КР и кубонит КВ. В том же нормативном документе приведены значения прочности кубонита разных зернистостей. Интервал различий прочности разных торговых марок по одной зернистости составляет 1,4 – 2,0. Следует отметить, что экспериментально наблюдаемые в процессе производства конкретные значения прочности отдельных зерен в порошке кубонита КВ составляют для порошка зернистости 250/200 – от 10,5 Н до 49,4 Н, а для зернистости 160/125 – от 7,3 до 46,8 Н. Отсюда становится очевидной проблема получения однородных по прочности шлифпорошков cBN и, соответственно, поиск эффективных методов разделения по прочности зерен cBN вообще и кубонита в частности, что позволит, в конечном итоге, ввести разделение по разным маркам.

В ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработан способ синтеза шлифпорошков cBN, получивших торговую марку кибор КТ, которые отличаются более высокими физико-механическими свойствами и высокой термостабильностью [4]. Однако и в этом случае порошки кибора КТ в пределах одной зернистости содержат зерна широкого диапазона прочности [5].

Для разделения порошков cBN по прочности были выбраны следующие методы:

- сортировка по форме зерен на вибростоле;

- сортировка по уровню дефектности поверхности с помощью адгезионно-магнитной сортировки (АМС).

Исследования проведены на шлифпорошках кубонита КВ зернистостью 160/125 и 125/100 и кибора КТ зернистостью от 80/63 до 250/200.

Первоначально шлифпорошки разделяли по форме зерен на вибростоле. После выполнения сортировки определяли статическую прочность и коэффициент формы полученных в результате разделения порошков кубического нитрида бора и их выхода. Результаты сортировки шлифпорошков кубонита приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты сортировки шлифпорошков кубического нитрида бора марки КВ на вибростоле

Зернистость	№ продуктов разделения	Характеристики шлифпорошков кубонита		
		Выход, %	Прочность, Р, Н	Коэффициент формы $К_ф$, усл.ед.
160/125	1	6,1	12,6	1,23
	2	21,7	12,0	1,34
	3	27,2	11,8	1,42
	4	31,8	12,3	1,59
	5	12,4	11,4	1,81
	6	1,8	11,5	2,67
	Исходный	100,0	12,0	
125/100	1	8,8	7,3	1,57
	2	20,6	7,8	1,61
	3	24,8	6,5	1,78
	4	29,5	6,0	1,90
	5	14,1	6,1	2,14
	6	2,2	5,3	2,56
	Исходный	100,0	6,6	

Полученные данные свидетельствуют, что на вибростоле зерна кубонита КВ эффективно разделяются по форме зерен, так как коэффициент формы $К_ф$, возрастает с повышение номера продукта разделения, но при этом четкой закономерности зависимости прочности от $К_ф$, не наблюдается. Из таблицы следует также, что сортировка кубонита КВ по прочности зерен на вибростоле неэффективна.

Шлифпорошки кибора КТ различных зернистостей от 80/63 до 250/200 были разделены по форме зерен на наклонной плоскости вибростола. Результаты этих испытаний представлены графически в виде кривых на рис. 1. На рис. 1 кривая 1 показывает значения прочности наиболее прочных зерен cBN, выделенных в первый продукт, а кривая 2 – менее прочных зерен cBN последнего продукта. Как видно из рис. 1 наибольшее различие в прочности наблюдается в порошках зернистостью 125/100 и 100/80, при этом различие не превышает 36 – 49 %. Расположение кривых 1 и 2 на рис. 1 убедительно подтверждают неэффективность сортировки зерен кубонита марки КТ по форме на вибростоле. Очевидно, это связано с особенностями технологии синтеза cBN, в основе которой лежат приемы спонтанной кристаллизации из многокомпонентного реакционного состава, что, в конечном итоге, приводит к получению зерен cBN с различной степенью развитости поверхности [6].

Химический состав и электронная структура поверхности кристаллов cBN играют важную роль в их практическом применении, в частности, при изготовлении поликристаллических материалов, абразивного инструмента. Свойства поверхности зерен cBN [7] открывают уникальные возможности применения адгезионно-магнитной сортировки (АМС) для их разделения по прочности. В настоящей статье приведены результаты разделения зерен cBN различных торговых марок методом АМС. Результаты сортировки оценивались по статической прочности, коэффициенту поверхностной активности ($К_а$), отражающего уровень дефектности поверхности, и выходов полученных продуктов разделения шлифпорошков cBN.

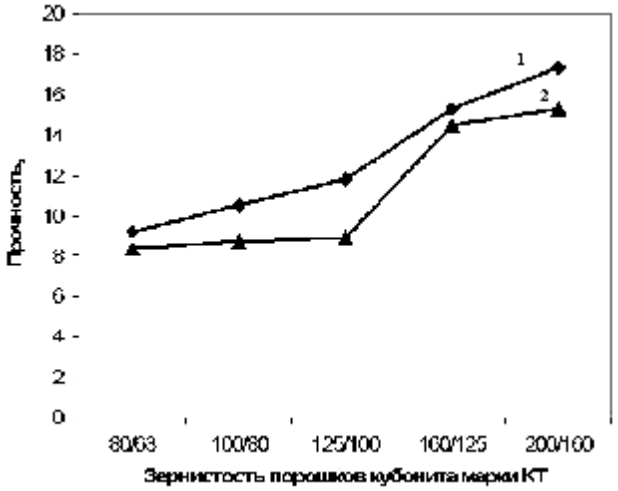


Рис. 1. Результаты сортировки порошков кубонита торговой марки КТ разных зернистостей на вибростоле/

В таблице 2 приведены результаты АМС порошков кубонита КВ зернистостей 160/125 и 125/100.

Таблица 2. Результаты адгезионно-магнитной сортировки шлифпорошков кубического нитрида бора торговой марки КВ

Зернистость	№ продуктов разделения	Характеристики шлифпорошков кубонита		
		Выход, %	Прочность, Р, Н	Коэффициент поверхностной активности $К_а$, %
160/125	1	11,4	14,5	0,06
	2	35,4	12,7	0,12
	3	51,3	11,3	0,28
	4	1,9	9,2	1,02
	Исходный	100,0	12,1	
125/100	1	7,5	8,0	0,08
	2	24,2	7,4	0,14
	3	59,2	6,0	0,48
	4	9,1	5,1	1,00
	Исходный	100,0	6,4	

Как следует из таблицы методом АМС зерна кубонита эффективно разделяются по прочности. Различие в прочности полученных порошков крайних продуктов выше 50 %. В результате этой сортировки получены шлифпорошки кубонита, различающиеся по дефектности поверхности и статической прочности. При этом коэффициент поверхностной активности шлифпорошков cBN зернистости 160/125 изменяется от 0,06 до 1,02 %, а статическая прочность, соответственно от 14,5 Н до 9,2 Н. Для шлифпорошков зернистости 125/100 $К_а$ изменяется от 0,08 до 1,00 %, а статическая прочность от 8,0 Н до 5,1 Н. Наблюдается устойчивое повышение статической прочности шлифпорошков cBN при снижении уровня их дефектности поверхности.

Проведены также испытания по адгезионно-магнитной сортировке шлифпорошков разных зернистостей cBN кубонита КР. В результате АМС получено пять порошков с различной прочностью. Показано, что порошки марки КР разных зернистостей эффективно разделяются по прочности [8].

Результаты адгезионно-магнитной сортировки порошков кибора КТ широкого диапазона зернистостей от 63/50 до 200/160 представлены в виде кривых на рис.2. Кривая 1 показывает прочность наиболее прочных зерен cBN, кривая 2 – прочность исходных зерен, а кривая 3 – прочность наименее прочных зерен cBN.

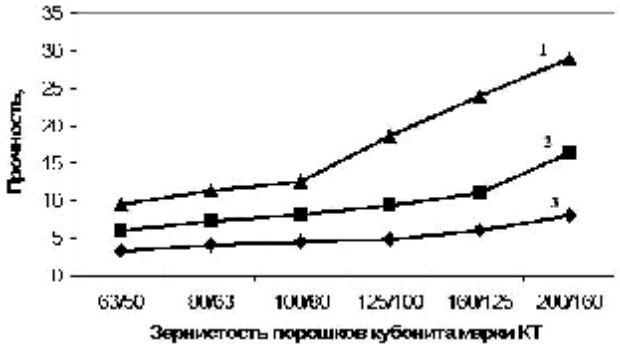


Рис. 2. Результаты адгезионно-магнитной сортировки порошков кубонита марки КТ

Из рис. 2 следует, что отношение прочности наиболее прочных зерен к прочности самых слабых зерен колеблется от 2,5 до 5,7.

Для проверки эффективности метода АМС была проведена сортировка шлифпорошка cBN марки Borazon 500 производства фирмы GE Superabrasives (США). Данная марка широко известна в мире и зарекомендовала себя высокой эффективностью эксплуатации в шлифовальном инструменте.

Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты адгезионно-магнитной сортировки порошков cBN марки Borazon 500 (зернистость соответствует зернистости 80/63 по ДСТУ 3292–95)

№ продуктов разделения	Прочность, Р, Н	Коэффициент поверхностной активности $К_а$, %
1	9,5	0,23
2	7,2	0,65
3	5,5	1,32
Исходный	7,9	0,73

Как следует из табл. 3, и в этом случае метод АМС подтверждает свою эффективность.

Таким образом, выполненные исследования по сортировке шлифпорошков cBN различных торговых марок показывают, что применение адгезионно-магнитной сортировки позволяет разделять шлифпорошки cBN по прочности прямо пропорционально степени дефектности поверхности.

В настоящее время отсутствует нормативная документация по выпуску различных марок порошков cBN разных торговых марок, различающихся по прочности. Поэтому предлагается ввести разделение этих порошков по маркам. Условно новые марки cBN предлагается обозначать порядковым номером, а значения прочности порошка под номером №1 следует брать из ТУ У 88.090.018-98 для торговой марки кубонит КО соответствующей зернистости. На основании проведенных испытаний коэффициент изменения прочности в смежных марках одной зернистости с учетом погрешности измерения прочности и предлагается принять равным 1,3. Исследования показали, что кибор КТ по своим свойствам и эксплуатационным характеристикам существенно отличается от кубонита торговых марок КО, КР и КВ. Поэтому очевидно, разделение по маркам кубонита торговой марки КТ, имеет смысл производить отдельно.

В качестве примера в таблице 4 для кубонита зернистостей 160/125 и 125/100 приведены предлагаемые номера марок порошков cBN и значения интервалов прочности для каждой условной марки.

Таблица 4. Предлагаемые марки кубонита и значения их интервалов прочности

Номера марок порошков cBN	Норма прочности (Н) порошков зернистости	
	160/125	125/100
1	2,8	2,6
2	3,6	3,4
3	4,7	4,4
4	6,1	5,7
5	7,9	7,4
6	10,3	9,6
7	13,4	12,5
8	17,4	16,3
9	22,6	21,2
10	29,4	27,6
11	38,2	35,9
12	49,7	46,7
13	64,6	60,7
14	84,0	78,9
15	109,2	102,6

Применение предложенной условной шкалы марок для порошков кубического нитрида бора зернистости 160/125, разделенных с помощью адгезионно-магнитной сортировки на четыре продукта, позволяет оценить прочность полученных продуктов в виде марок от 7 для продукта №1 до 5 для продукта №4.

Таким образом, разделение порошков кубического нитрида бора с помощью совершенных способов сортировки по прочности и применение предложенной шкалы марок, открывают возможности получения широкого диапазона марок шлифпорошков cBN. Использование новых марок кубонита и кибора будет способствовать увеличения

однородности шлифпорошков cBN и соответственно повышению эффективности работы инструмента с их применением.

Список литературы: 1. Гургаль В.И., Манжар В.А. Инструмент из сверхтвердых материалов и его применение: Справочник. – Львов: Каменяр, 1984. – 234 с. **2**. Энциклопедия неорганических материалов. Том 2. – Киев: Глав. ред. украинской советской энциклопедии, 1977. – С. 262–264. **3**. Шульженко А.А. Определение предела прочности синтетических алмазов при сжатии// Синтетические алмазы. 1969. – Вып. 6.- С. 27 – 30. **4**. Шульженко А.А., Божко С.А., Соколов А.Н. и др. Синтез, спекание и свойства кубического нитрида бора. Киев. Наукова думка. – 1993. – 256 с. **5**. Невструев Г.Ф., Ильницкая Г.Д., Соколов А.Н. Получение порошков КНБ различной прочности адгезионно-магнитной сортировкой. Сборник научных трудов. Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов. Киев, НАНУ им. В.Н. Бакуля, 2000. – С. 172 – 179. **6.** Крочук В.М., Петруша И.А., Соколов А.Н. и др. Морфология кристаллов сфалеритного нитрида бора // Сверхтвердые материалы. – 1990. – № 5. – С. 28 – 33. **7**. Исследование состава поверхности кубического нитрида бора методами рентгеновской фотоэлектронной и Оже-спектроскопии // В.Г. Алешин, А.А. Смехнов, А.Н. Соколов и др.// Влияние высоких давлений на структуру и свойства сверхтвердых материалов. – Киев, ИСМ АН УССР. 1985. – С. 32 – 36. 8. Novikov N.V., Shulzhenko A.A., Bogatyreva G.P. et al. Uniformity of superhard material grinding powders // Innovative Superhard Materials and Sustainable Coatings for Advanced Manufacturing / J. Lee and N. Novikov (eds), Springer, 2005 – P. 391–402.

СВЯЗАННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ МАЧТЫ

Калински В., Пиллих В.
(Силезский Политехнический Институт, г. Гливице, Польша)

In the paper some investigations results of the vibrations are presented. The vertical oscillation returns as the rotational oscillation again weakens. There are outline some characteristics of coupled oscillators.

В колеблющихся механических системах с несколькими степенями свободы часто наблюдается самопройзвольное затухание одного вида колебаний а вместо них возниковнение колебаний другого вида. Выступает „перекачка" энергии. Это периодическое изменение амплитуды колебаний пройсходит в случае, когда частоты ω_{o1} и ω_{o2} главных колебаний системы близки друг другу [2-6].

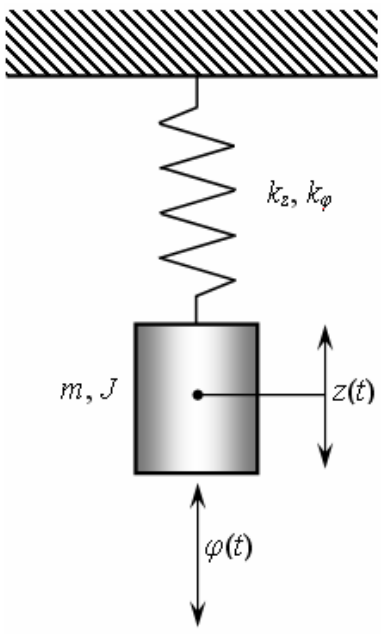


Рис. 1. Модель маятника Вильберфорса

Характерным, простейшим примером перекачки энергии может служить маятник Вильберфорса, рис. 1 [1]. Груз, подвешенный на винтовой пружине имеет две степени свободы: движение груза вверх и вниз и его вращениевокруг вертикальной оси пружины. Оба движения связаны друг с другом – при перемещении груза вниз пру-

жина раскручивается, вверх, она закручивается.

Уравнения свободных колебаний связанной системы получается из уравнений Лагранжа, полагая все связи системы стционарными и голономными, действующие силы имеют потенциал.

Если принять

$$L = \frac{1}{2}[m\dot{z}^2 + Jf^2 - k_z z^2 - k_f f^2 - ezf], \quad (1)$$

где e – коэффициент сопряжения колебаний для координат z и φ, то получаем дифференциальные уравнения свободных колебаний системы в следующем виде

$$\left.\begin{aligned} m\ddot{z} + k_z z + 0{,}5ef = 0 \\ J\ddot{f} + k_f f + 0{,}5ez = 0 \end{aligned}\right\}. \quad (2)$$

Из уравнений (2) получаем

$$\frac{d^4 f}{dt^4} + (w_z^2 + w_f^2)\frac{d^2 f}{dt^2} + \left(w_z^2\ w_f^2 - \frac{e^2}{4mJ}\right)f = 0, \quad (3)$$

где:

$$w_z^2 = \frac{k_z}{m}, \qquad w_f^2 = \frac{k_f}{J}. \quad (4)$$

Подставляя в (3) общее решение в виде

$$\varphi(t) = Ce^{i\omega t}$$

имеем следующее уравнение частот

$$w^4 - (w_z^2 + w_f^2)w^2 + \left(w_z^2\ w_f^2 - \frac{e^2}{4mJ}\right) = 0 \quad (5)$$

Отсюда получаем

$$w_{1,2}^2 = \frac{1}{2}[w_z^2 + w_f^2 \pm \sqrt{(w_f^2 - w_f^2)^2 + \frac{e^2}{4mJ}}], \quad (6)$$

или

$$w_{1,2} = w \pm \sqrt{\frac{e^2}{4mJ}} = w \pm 0{,}5w_б, \quad (7)$$

где $\omega = \omega_z = \omega_\varphi$,

частота биений

$$w_б = \frac{e}{2w\sqrt{mJ}} = w_1 - w_2. \quad (8)$$

Так как

$$\varphi(t) = A_1 \sin\omega_1(t) + A_2 \cos\omega_1(t) + A_3 \sin\omega_2(t) + A_4 \sin\omega_2(t), \quad (9)$$

и

$$\ddot{f}(t) = -w_1^2[A_1 \sin w_1(t) + A_2 \cos w_1(t)] - w_2^2[A_3 \sin w_2(t) + A_4 \sin w_2(t)], \quad (10)$$

то из второго уравнения (2) получаем

$$z(t) = \frac{2J\omega_1^2}{\varepsilon}[A_1 \sin \omega_1(t) + A_2 \cos \omega_1(t)] + \frac{2J\omega_2^2}{\varepsilon}[A_3 \sin \omega_2(t) + A_4 \cos \omega_2(t)] + \\ -\frac{2k_\varphi}{\varepsilon}[A_1 \sin \omega_1(t) + A_2 \cos \omega_1(t) + A_3 \sin \omega_2(t) + A_4 \sin \omega_2(t)], \tag{11}$$

$$\psi(t) = \frac{2Jw_1^3}{e}[A_1 \cos w_1(t) - A_2 \sin w_1(t)] + \frac{2Jw_2^3}{e}[A_3 \cos w_2(t) - A_4 \sin w_2(t)] + \\ -\frac{2k_f}{e}[A_1 w_1 \cos w_1(t) - A_2 w_1 \sin w_1(t) + A_3 w_2 \cos w_2(t) - A_4 w_2 \sin w_2(t)]. \tag{12}$$

Постоянные интегрирования определяется из начальных условий

$z(0) = z_0$, $\psi(0) = 0$, $\varphi(0) = \varphi_0$, $\dot{\varphi}(0) = 0$; $A_1 = A_3 = 0$,

$$A_2 = \frac{\frac{ez_0}{2J} - (w_2^2 - w_f^2)f_0}{w_1^2 - w_2^2}, \tag{13}$$

$$A_4 = \frac{\frac{ez_0}{2J} - (w_1^2 - w_f^2)f_0}{w_1^2 - w_2^2}. \tag{14}$$

Для главных координат получается следующие зависимости:

первая мода – $z_0 = \frac{2J}{e}(w_1^2 - w_f^2)f_0 = \sqrt{\frac{J}{m}} f_0$,

вторая мода – $z_0 = \frac{2J}{e}(w_2^2 - w_f^2)f_0 = -\sqrt{\frac{J}{m}} f_0$.

Коэффициент сопряжения колебаний определяется по следующей формуле

$$e = (w_1^2 - w_2^2)\sqrt{mJ} = 2ww_б\sqrt{mJ}. \tag{15}$$

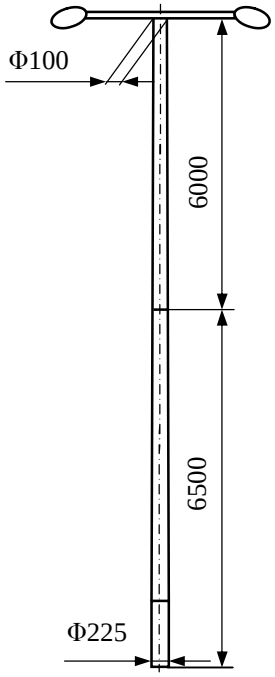


Рис. 2. Мачта 12,5 *м*

Представленное явление одновременного появления поперечного и крутильного колебаний выступает часто например при колебаниях высокой осветительной мачты.

Согласно стандардам [7-9] для каждого типа осветительной мачты надо определить сопротивление колебательному движению. Колебания мачты, особенно связанные колебания могут привести мачту и осветительную систему к разрушению. Причиной возниковнения таких колебаний могут быть порывы ветра.

При исследованиях осветительных, высоких на: 12,5 14,5 16 *м* алюминевых мачт, возбуждение поперечных колебаний, отклонением от вертикали вершины мачты: приводит к возникновении крутильных колебваний, выступает перекачка энергии.

На рис. 2 показано схему испытаемой осветительной мачты высотой 12,5 *м* а на рис. 3 прикладные результаты эксперимента, подтверждающие происхождение характерного явления биений для связанных колебаний [4]. Доминанте спектра поперечных колебаний мачты отвечает частота собственных колебаний 1,53125 *гц*.

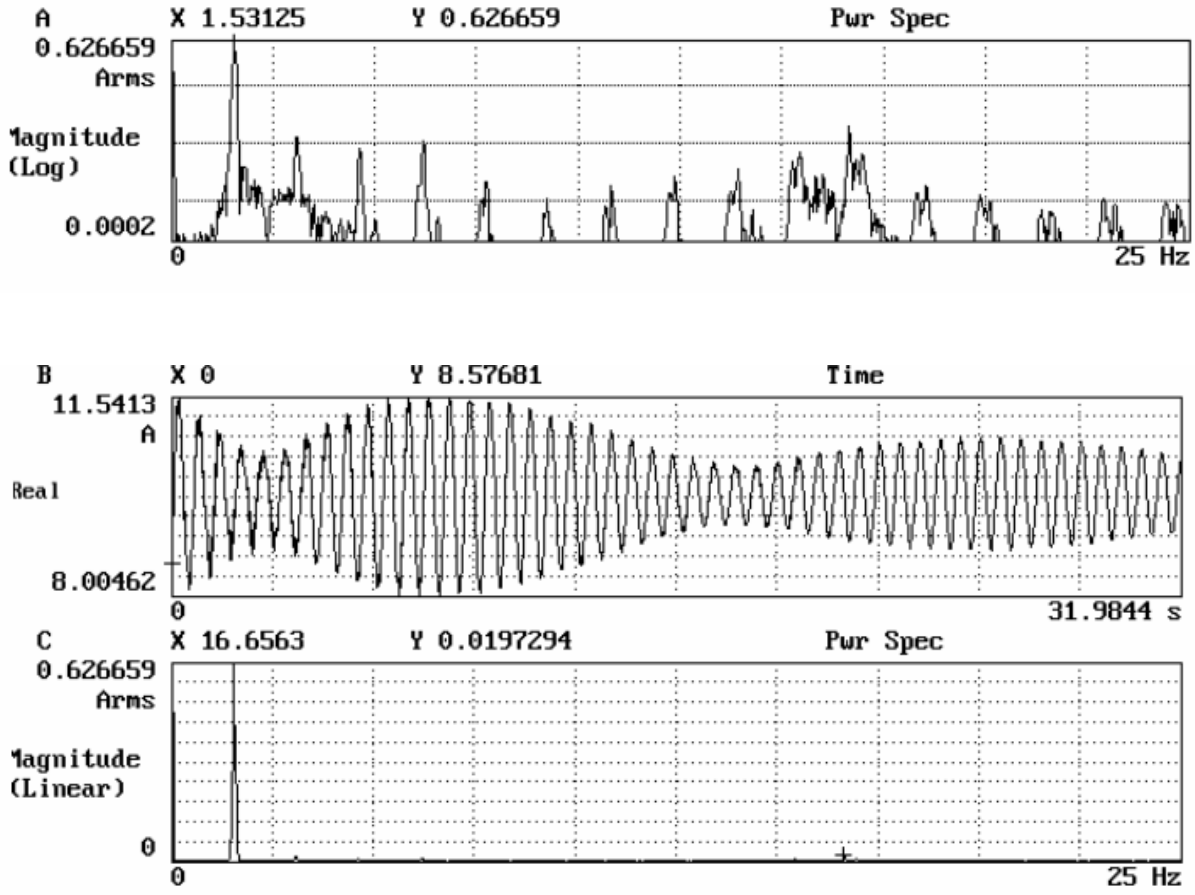
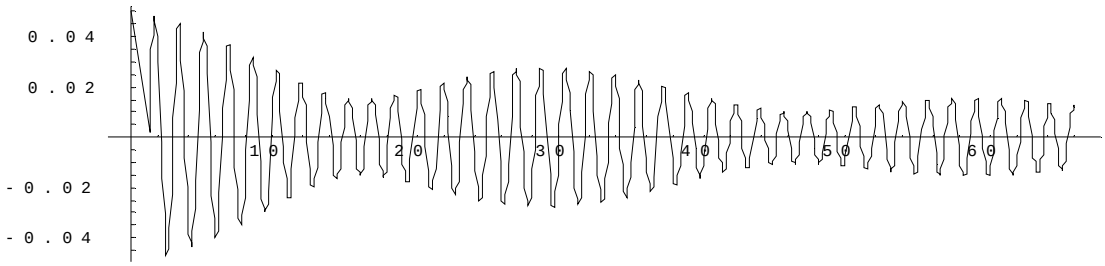


Рис. 3. Результаты эксперииента: a) и c) спектральные характеристики, b) перемещение колебаний вершины мачты высотой 12,5 *м*

```
m = 0.2; k = 2.672; e = 0.00246; J = 0.00006; K = 0.000769; b = 0.004; B = 0.000004
solution =
 NDSolve[{yy''[t] + b/m*yy'[t] + k/m*yy[t] + e/m*ff[t] == 0,
   ff''[t] + B/J*ff'[t] + K/J*ff[t] + e/J*yy[t] == 0, yy[0] == .05, ff[0] == 0,
   yy'[0] == 0, ff'[0] == 0}, {yy, ff}, {t, 0, 70}, MaxSteps → 10000];
Plot[Evaluate[{yy[t]} /. solution], {t, 0, 66}]
```




```
m = 0.2; k = 2.672; e = 0.00246; J = 0.00006; K = 0.000769; b = 0.004; B = 0.000004
solution =
 NDSolve[{yy''[t] + b/m*yy'[t] + k/m*yy[t] + e/m*ff[t] == 0,
   ff''[t] + B/J*ff'[t] + K/J*ff[t] + e/J*yy[t] == 0, yy[0] == .05, ff[0] == 0,
   yy'[0] == 0, ff'[0] == 0}, {yy, ff}, {t, 0, 70}, MaxSteps → 10000];
Plot[Evaluate[{ff[t]} /. solution], {t, 0, 66}]
```

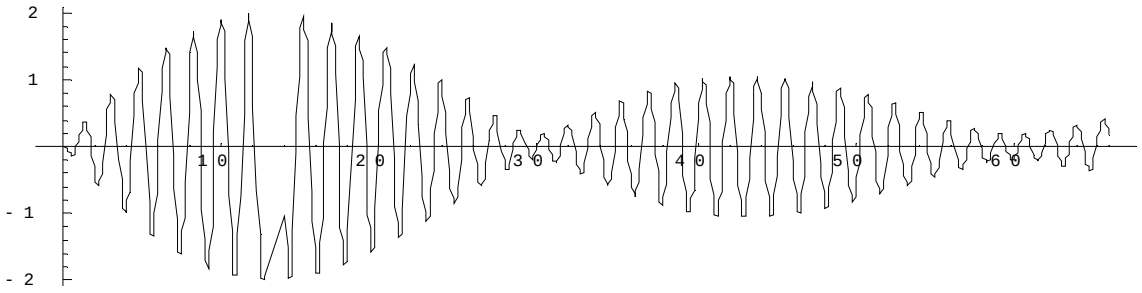


Рис. 4. Решение уравнений (2)

На рис. 4 представлены результаты теоретических исследовании с учетом рассеяния механической энергии**.**

Список литературы: 1. Berg R. E., Marshall T. S. Wilberforce pendulum oscillations and normal modes. American J. Phys. 59 (10, January 1991, pp. 32 – 38. **2.** Вайнберг Д. В., Писаренко Г. С. Механические колебания и их роль в технике. Наука, Москва 1965. **3.** Яблонский А. А., Норейко С. С. Курс теории колебаний. Высшая школа, Москва 1975. **4.** Kaliński W., Pillich W. Projekt celowy POW-566-2004, Uruchomienie produkcji aluminiowych masztów oświetleniowych, flagowych oraz drogowych sygnalizatorów świetlnych. **5.** Malenbaum M., Campbell J. P. Wilberforce pendulum, http://www.phy.davidson.edu/StuHome/pecampbell/Wilberforce/Setup.…
6**.** http://www.phy.davidson.edu/StuHome/pecampbell/Wilberforce/Theory.htm. **7.** PN-97/B-02011. Виды нагрузок в статических расчетах. Ветровые нагрузки. **8.** PN-EN 40-3-3:2004 Słupy oświetleniowe. Cz. 3-2: Projektowanie i weryfikacja. Weryfikacja za pomocą

badań. **9.** ENV 1991-2-4: 1994 Podstawy projektowania i oddziaływanie na konstrukcje. Cz. 2-4 Obciążenie wiatrem.

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С УЧЕТОМ КОПИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ПОЧВЫ

Камко А.И., Гоман А.М., Леванцевич М.А.
(ГЗЛиН, г.Гомель, ИМИНМАШ НАН Беларуси, г.Минск)

Актуальной проблемой современного зерноуборочного комбайностроения является снижение потерь урожая зерна при проведении уборочных работ. Известно, что эти потери, помимо биологических, складываются из нескольких основных источников, при этом почти половину потерь составляют потери за жатвенной частью комбайна, что, во многом, обусловлено несовершенством систем копирования рельефа почвы жаткой комбайна [1-3].

В современных зерноуборочных машинах копирование рельефа почвы жаткой, в продольном и поперечном направлениях, осуществляют с помощью специальных механизмов, основными элементами которых являются копирующие устройства (опорные башмаки или колеса), закрепленные на жатке и находящиеся в силовом взаимодействии с почвой, шарнирно-рычажные звенья и уравновешивающие жатку системы. По принципу действия уравновешивающие системы разделяют на механические, гидравлические и электрогидравлические. Из них наиболее широкое применение получили механические системы, основанные на использовании шарнирно-рычажных звеньев с блоком уравновешивающих пружин. Их важными преимуществами является высокие быстродействие и надежность, в т.ч. и при неблагоприятных погодных условиях, простота обслуживания, технического ухода и ремонта. [4]. Вместе с тем, общим недостатком, присущим всем известным механизмам копирования является то, что в процессе уборки урожая на неровных полях, имеют место случаи возникновения эффекта галопирования, т.е. явления отрыва опорных башмаков жатки от почвы и их периодического ударного взаимодействия с гребнями поля. В результате срез растительной массы происходит только на гребнях поля, в то время как во впадинах, стеблестой, в.т.ч. и полеглый, остается не скошенным. Это приводит к значительному увеличению потерь зерна. Установлено, что эффект галопирования возникает при определенных скоростях движения комбайна.

В известных к настоящему времени публикациях [1-4], синтез и выбор оптимальных параметров звеньев механизмов копирования жаток осуществляют на основе решения статических задач, без учета конструктивных особенностей зерноуборочной машины и сложных динамических процессов, возникающих при ее взаимодействии с почвой во время движения. Это во многом затрудняет проведение анализа конструкций зерноуборочных машин и не позволяет сделать обоснованный выбор параметров входящих в ее состав элементов, а также определить пути совершенствования машины.

Целью настоящей работы является разработка методологии синтеза и выбора рациональных параметров звеньев жатки и зерноуборочного комбайна, учитывающей динамику их взаимодействия с неровностями почвы во время движения при уборке урожая.

Суть методологии состоит в следующем. На начальном этапе геометрические размеры звеньев шарнирно-рычажных механизмов и жесткость уравновешивающих пружин, с учетом массо-инерционных параметров жатки, предлагается находить из уравнений статики по условию не превышения допустимых значений удельного давления опорных башмаков на почву, используя уравнения приведенные в [1,2,5]. Далее, задавая значения скоростных режимов движения исследуемой конструкции комбайна, при которых возможно возникновение эффекта галопирования жатки, с учетом рельефа почвы, производить уточнение этих величин.

Условия возникновения галопирования жатки можно определить из следующих допущений. Полагаем, что галопирование обусловлено кинематическим возбуждением, которое может оказывать рельеф почвы на комбайн, как на динамическую систему, при его движении с постоянной скоростью. Следовательно, необходимо вычислить критические скорости движения комбайна с учетом его массо-иннерционных параметров и рельефа почвы.

Необходимо отметить, что стационарные колебания транспортных систем при кинематическом возбуждении рассмотрены в работах [6,7]. На основе динамической модели с двумя степенями свободы исследовано установившееся движение мобильного средства по дороге с неровностями. Рассматривались только продольные колебания. При наличии у мобильного средства прицепа в силу сложности динамической модели колебания последнего исследовались в предположении, что точка крепления прицепа в машине практически не имеет вертикальных перемещений, т.е. прицеп представлялся в виде динамической системы с одной степенью свободы.

Аналогичный подход предлагается использовать и в данной работе, тем более, что масса жатки более, чем в 5 раз меньше массы самоходной молотилки комбайна КЗС-7.

В первом приближении предположим, что профиль неровностей поля (рисунок 1), можно описать уравнением

$$h = h_0 \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{l_1}\right), \qquad (1)$$

где: h – текущая высота макронеровностей поля, соответствующая координате c ; h_0 – амплитудное значение высоты макронеровностей поля; l_1 - расстояние между вершинами макронеровностей поля.

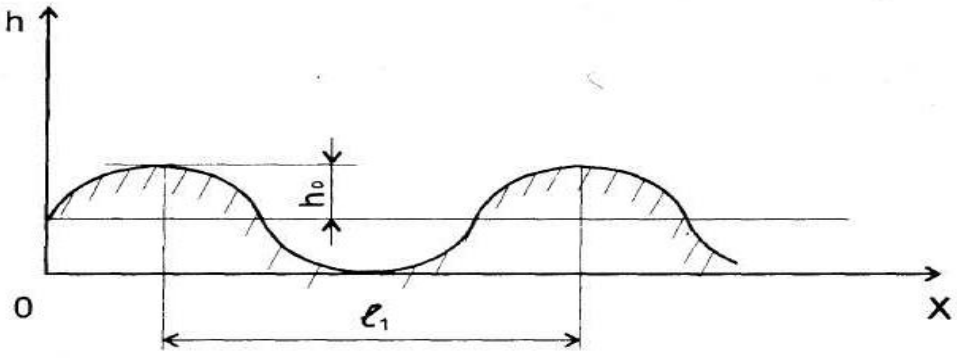


Рис. 1. Расчетная схема профиля рельефа почвы

При движении комбайна со скоростью V координата x точки касания шины комбайна с почвой в зависимости от времени t связаны соотношением

$$x = Vt, \qquad (2)$$

Частота $p_л$ возмущающего воздействия макронеровностей поля на шину определяется после подстановки (2) в (1)

$$p_л = \frac{2pV}{l_1}.$$

Согласно результатам исследований, выполненных в [7], критическую скорость V^* движения транспортного средства, при которой резко возрастает амплитуда вынужденных колебаний, можно найти из условия равенства его собственной частоты колебаний p частоте кинематического возбуждения $p_л$

$$p = p_л \text{ или } p = \frac{2pV^*}{l_1}. \qquad (3)$$

Откуда $$V^* = \frac{pl_1}{2p}, \qquad (4)$$

Для определения критических скоростей движения молотилки комбайна с жаткой рассмотрим, первоначально, задачу нахождения собственных частот продольных колебаний молотилки без жатки, а затем самой жатки, с учетом передвижения комбайна. Корпус молотилки комбайна не имеет рессор, поэтому демпфирование колебаний осуществляется только упругими шинами.

Динамическая схема молотилки комбайна изображена на рисунке 2.

На представленной схеме через c_1 и c_2 обозначены жесткости шин задней и передней осей молотилки комбайна. Центр тяжести c расположен на расстояниях a и b соответственно от задней и передней осей. Масса корпуса молотилки обозначена через m, момент инерции корпуса молотилки относительно оси, перпендикулярной плоскости рисунка, и проходящей через центр тяжести соответствует выражению $J = mr^2$ (где r - радиус инерции).

Поскольку деформации корпуса молотилки комбайна пренебрежимо малы по сравнению с деформациями шин, то тело, моделирующее корпус молотилки, считается абсолютно жестким. Кроме того, горизонтальные колебания системы в рассмотрение не принимаются.

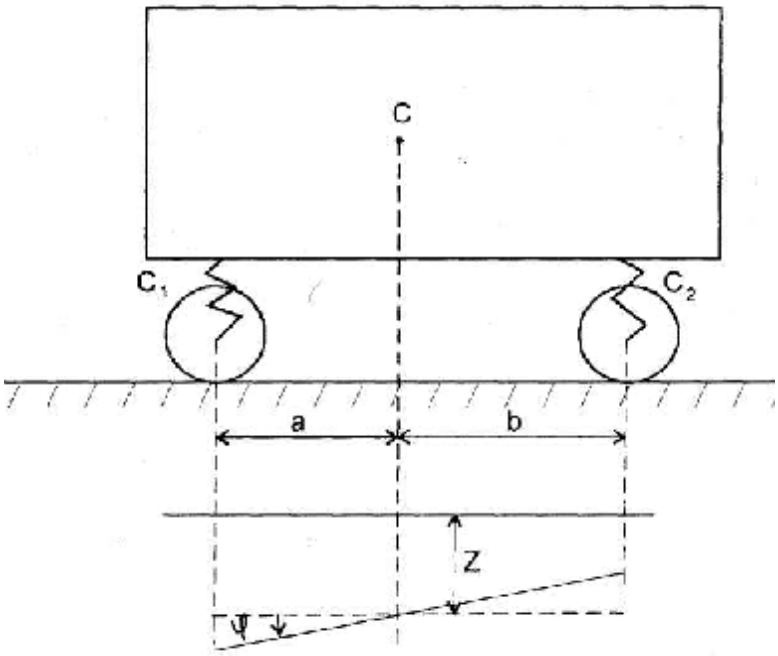


Рис. 2. Динамическая схема корпуса молотилки комбайна в вертикальной плоскости симметрии

Такая система обладает двумя степенями свободы и за обобщенные координаты z и j принимаются соответственно вертикальное перемещение центра тяжести (положительное направление вниз) и угол поворота тела - (положительное направление – против хода часовой стрелки) вокруг центра тяжести. При этом деформации шин соответственно равны $z + aj$ (задняя ось) и $z - aj$ (передняя ось). Запишем кинетическую и потенциальную энергию системы:

$$T = \frac{m\dot{z}^2}{2} + \frac{mr^2\dot{j}^2}{2},$$

$$\Pi = \frac{c_1(z_1 + aj)^2}{2} + \frac{c_2(z_1 - bj)}{2},$$

где $\dot{z}$ - вертикальная скорость корпуса молотилки комбайна, $\dot{j}$ - угловая скорость корпуса.

Соответственно уравнения Лагранжа

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{z}}\right) - \frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{\partial \Pi}{\partial z},$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{j}}\right) - \frac{\partial T}{\partial j} = -\frac{\partial \Pi}{\partial j},$$

принимает вид

$$\left.\begin{aligned} m\ddot{z} + (c_1 c_2)\,z + (c_1 a - c_2 b)\varphi &= 0, \\ mr^2\ddot{\varphi} + (c_1 a - c_2 b)z + (c_1 a^2 + c_2 b^2)\varphi &= 0. \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

После подстановки решения в виде

$$z = A_1 \sin pt, \varphi = A_2 \sin pt, \qquad (6)$$

получаем однородную систему уравнений

$$\left.\begin{aligned} -mp^2 A_1 + (c_1 + c_2)A_1 + (c_1 a - c_2 b)A_2 &= 0, \\ -mr^2 p^2 A_2 + (c_1 a - c_2 b)A_1 + (c_1 a^2 + c_2 b^2)A_2 &= 0. \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

Отсюда имеем определитель частот

$$\begin{vmatrix} c_1 + c_2 - mp^2 & c_1 a - c_2 b \\ c_1 a - c_2 b & c_1 a^2 + c_2 b^2 - mr^2 p^2 \end{vmatrix} = 0$$

раскрывая, который, получаем частотное уравнение

$$p^4 - \left(\frac{c_1 + c_2}{m} + \frac{c_1 a^2 + c_2 b^2}{mr^2}\right)p^2 + \frac{c_1 c_2 (a+b)^2}{m^2 r^2} = 0, \qquad (8)$$

В общем случае полученное уравнение имеет различные корни. Воспользовавшись выражением (8) определим собственные частоты реальной конструкции комбайна КЗС-7. Исходные данные для расчета: жесткости шин задней и передней осей молотилки комбайна составляют $c_1 = c_2 = 21{,}4 \cdot 10^5 \frac{H}{M}$; масса молотилки $m = 10430$ кГ; радиус инерции молотилки $r = 2{,}55$ м; расстояние от центра тяжести до передней и задней осей молотилки составляют соответственно $a = 1{,}55$ м, $b = 1{,}82$ м; расстояние между вершинами макронеровностей поля $l_1 = 1{,}0$ м.

Из решения уравнения (8) получим выражения для определения собственных частот p_1, p_2 колебаний корпуса молотилки комбайна КЗС-7 в виде:

$$p_1 = \sqrt{\frac{d_1}{2} - \sqrt{\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 - d_2}}, \; p_2 = \sqrt{\frac{d_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 - d_2}}, \qquad (9)$$

где: $d_1 = \frac{c_1 + c_2}{m} + \frac{c_1 a^2 + c_2 b^2}{mr^2}, d_2 = \frac{c_1 c_2 (a+b)^2}{m^2 r^2}$ коэффициенты уравнения (9)

Подставляя величины исходных данных, определяем численные значения коэффициентов уравнения (9): d_1=591,3 с$^{-2}$; d_2=7,37 · 10^4 с$^{-2}$

После подстановки в (9) получим значения собственных частот молотилки комбайна: p_1=13,3 с$^{-1}$; p_2=20,3 с$^{-1}$

Критические скорости движения корпуса молотилки комбайна определим воспользовавшись формулами (4): V_1^* =2,1 м/с = 7,63 км/ч; V_2^*=3,2 м/с =11,52 км/ч.

Как видно из результатов вычислений, существующая конструкция комбайна КЗС-7 при движении по неровностям почвы с расстоянием между гребнями в 1 м может иметь две критические скорости.

Частоту собственных колебаний жатки с учетом скорости движения комбайна определим, воспользовавшись схемой, представленной на рисунке 3.

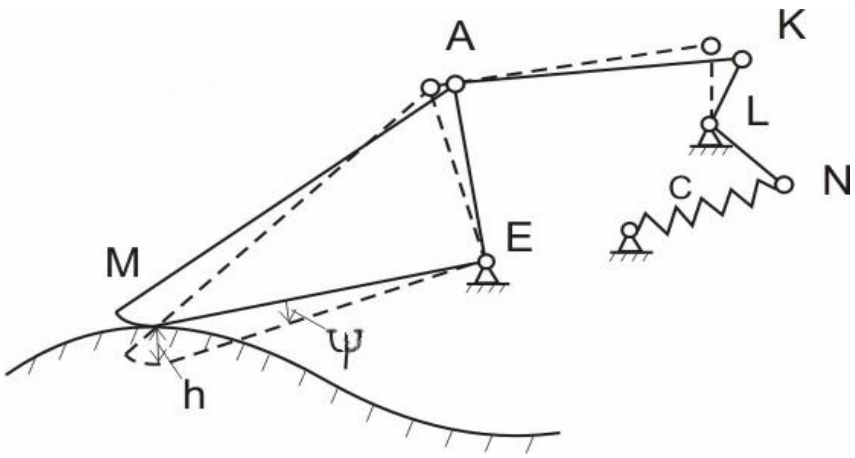


Рис. 3. Динамическая схема жатки комбайна.

Предположим, что вертикальным перемещением точки E крепления жатки к корпусу молотилки комбайна можно пренебречь. В этом случае жатка относительно молотилки комбайна совершает качающиеся движения и имеет одну степень свободы. За обобщенную координату примем угол поворота y . Кинетическая энергия жатки равна:

$$T_{ж} = \frac{m_{ж} V^2}{2} + \frac{J_{ж} \dot{y}^2}{2}, \qquad (10)$$

где $m_{ж}$ - масса жатки; $J_{ж}$ - момент инерции относительно шарнира E; V - скорость движения комбайна; $\dot{y}$ - угловая скорость вращения жатки.

Потенциальная энергия блока уравновешивающих пружин определяется выражением

$$П = \frac{F(l_0 - l(h))^2}{2}, \qquad (11)$$

где l_0 - деформация пружин при $h = 0$, F - суммарная жесткость пружин механизма продольного уравновешивания жатки.

Следует отметить, что значение жесткости F упругой связи в реальных конструкциях механизмов уравновешивания обычно завышают вследствие определенного влияния на ее величину массо-инерционных параметров жатки, трения в шарнирах, а также жесткости пружин механизма поперечного уравновешивания.

Деформация пружин $l(h)$, кроме того, зависят от линейных и угловых размеров звеньев механизма уравновешивания, причем эта зависимость весьма сложная и нелинейная.

Подставляя в уравнение Лагранжа выражения (10) и (11) получим:

$$J_m \ddot{y} + F[l_0 - l(h)]\frac{d[l(h)]}{dy} = 0, \qquad (12)$$

Полученное уравнение (12) является нелинейным и в таком виде его сложно использовать для расчета и выбора рациональных параметров шарнирно-рычажных звеньев и уравновешивающих пружин механизма продольного копирования жатки. Поэтому дальнейшее решение задачи предлагается осуществлять следующим образом. Исходя из условия обеспечения требуемой величины удельного давления опорных башмаков на почву геометрические размеры шарнирно-рычажных звеньев и жесткость блока уравновешивающих пружин механизмов копирования, с учетом массо-инерционных параметров жатки, определяем из решения статической задачи, рассмотренного в [5]. Далее проведя линеаризацию уравнения (12) используем его для проверки полученных результатов, принимая во внимание, что при выбранной скорости движения комбайна галопирование жатки отсутствует. В противном случае, путем изменения геометрических размеров шарнирно-рычажных звеньев и жесткости уравновешивающих пружин методом последовательных приближений находим их рациональные значения.

По результатам расчетов, выполненных в ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике ПО «Гомсельмаш», зависимость $l(h)$ при $l_0 = 0{,}257\,м$ имеет вид:

$$l(h) = -2{,}08h + 0{,}257(м), \qquad (13)$$

Величина h связана с углом y приближенной зависимостью (рисунок 3)

$$h \approx ME \cdot y \cos y \approx ME \cdot y\ , \qquad (14)$$

где: *ME*- расстояние от точки контакта опорных башмаков жатки с почвой до оси крепления шарниров жатки с корпусом

С учетом (13) и (14) уравнение (12) приобретает вид

$$J_m \ddot{y} + c(2{,}08ME)^2 y = 0, \qquad (15)$$

Откуда собственная частота колебаний жатки находится из выражения

$$p_{ж} = \sqrt{\frac{c(2{,}08ME)^2}{J_m}} = 2{,}08 \cdot ME\sqrt{\frac{c}{J_m}}, \qquad (16)$$

По результатам статического расчета, приведенного в работе [5], требуемая жесткость блока пружин для уравновешивания жатки комбайна КЗС-7, определенная из условия обеспечения минимального давления опорных башмаков на почву, составляет $F = 4{,}2 \cdot 10^5 \frac{Н}{м}$; момент инерции жатки относительно оси шарниров $J_{ж} = 1{,}896 \cdot 10^3\ кгм^2$, расстояние от точки контакта опорных башмаков жатки с почвой до оси крепления шарниров жатки с корпусом $ME = 0{,}684$ м.

В этом случае собственная частота колебаний жатки составит: $p_{ж}$=21,2 с$^{-1}$.

Используя выражение (4), критическая скорость движения комбайна, при которой возможно галопирование жатки составит: V_3^*=3,38 м/с = 12,2 км/ч

Таким образом, как видно из результатов вычислений критических скоростей молотилки комбайна и жатки наименьшую критическую скорость 7,63 км/ч имеет молотилка комбайна. Следовательно, для существующей конструкции комбайна КЗС-7 возможности повышения производительности уборочных работ за счет увеличения скорости машины, при работе с копированием рельефа почвы на поле с шагом неровностей l_1 = 1м, исчерпаны, хотя конструкция жатки позволяет увеличить скорость до 12,2 км/ч. Очевидно, что дальнейшее усовершенствование конструкции молотилки комбайна, с целью исключения эффекта галопирования и повышения рабочей скорости, целесообразно направлять по пути изменения массо-инерционных параметров, например, увеличения жесткости шин, рациональной компоновки элементов молотилки, снижения массы и др.

В качестве примера, в таблице приведены расчетные значения критических скоростей молотилки комбайна КЗС-7 при варьировании жесткостных и массо-инерционных параметров в пределах ±20% от существующих.

№ п/п	Жесткость шин, $\times 10^5$ Н/м		Масса молотилки, кГ	Радиус инерции,м	Расстояние от центра тяжести, м		Критическая скорость молотилки, км/ч
	c_1	c_2			a	b	
1	1,712	1,712	10430	2,55	1,55	1,82	6,8
2	2,14	2,14					7,63
3	2,568	2,568					8,37
4	2,14	2,14		2,04			9,52
5				3,06			6,5
6	2,568	2,568		2,04			10,4
7			8344				11,67

Как видно из таблицы, только за счет увеличения жесткости шин, снижения массы и радиуса инерции, критическую скорость существующей конструкции молотилки комбайна, обуславливающую возникновение эффекта галопирования, можно увеличить на 50…55%.

Выводы.

1. Существующие методы расчета геометрических и прочностных параметров шарнирно-рычажных звеньев и уравновешивающих пружин в механизмах копирования рельефа почвы жаткой комбайна, основанные на решении статических задач, не обеспечивают обоснованного выбора оптимальных значений этих величин, поскольку не учитывают особенностей динамического взаимодействия зерноуборочной машины с неровностями поля при различных скоростях передвижения в процессе уборки урожая. Возможности анализа конструкции комбайна и жатки, с целью изыскания путей улучшения эксплуатационных характеристик и повышения производительности, в этом случае, весьма ограничены.

2. Предложено при выборе рациональных параметров звеньев механизмов копирования, наряду с решением статической задачи, учитывать динамику взаимодействия молотилки комбайна и жатки с неровностями почвы, в соответствии с методикой, изложенной выше. При этом в статической задаче, исходя из условия обеспечения тре-

буемого удельного давления опорных башмаков на почву, определяются геометрические размеры звеньев и жесткость уравновешивающих пружин механизмов копирования. В динамической задаче, с учетом жесткостных и массо-инерционных параметров молотилки комбайна и жатки определяется критическая скорость зерноуборочной машины, обусловливающая возникновение галопирования. Сопоставляя полученные результаты, проводят корректировку размеров звеньев и жесткости пружин, соответственно и массо-инерционных параметров конструкции комбайна и жатки, обеспечивающих устойчивую работу зерноуборочной машины при высоких скоростях без галопирования. Предложенная методика обеспечивает возможность проведения анализа и совершенствования конструкций зерноуборочных комбайнов с целью повышения производительности и снижения потерь зерна.

Список литературы. 1. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: Учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов, Е.Г. Султан-Шах. – 2-е изд.,перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 568 с. **2.** Синтез и оптимизация параметров навески копирующих жаток / Далальянц А.Г., Пидченко З.П., Любченко А.Н., Любченко Г.В., Кравченко В.И. // В кн.Проектирование зерноуборочных машин: Межвуз.сб.-Ростов н/Д РИСХМ, 1984. С. 26-31 **3.** Михайлов М.В. Автоматическое копирование рельефа поля жатвенными механизмами // Труды ВИСХОМа. – 1988. - вып.57. – С. 8-14. **4.** Клочков А.В., Адась А.В., Попов В.А. Зерноуборочные комбайны. – Мн.: Дизайн ПРО, 2004. 240 с. **5.** Камко А.И., Шуринов В.А. Разработка методов расчета механизмов продольного и поперечного копирования рельефа поля жаткой комбайна.// Весці НАН Беларусі Сер.фіз-техн.навук 2005 №4 С.61-69. **6.** Бидерман В.Н. Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с. **7.** Светлицкий В.А. Случайные колебания механических систем.: Машиностроение, 1991. – 320 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В Co-Cr-Mo СПЛАВЕ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ

Кантин В.Г., Чмеренко А.Н., Красиков В.Л. *(ГНУ «ФТИ НАНБ», Минск, РБ)*

The distribution of temperature field as well as of their inhomogeneity in the Co-Cr-Mo alloy have been investigated during induction heating. The process of changing the temperature across billet section depending on time have been simulated. The optimum rates of induction heating are determined for cylindrical samples to be plastically deformed. The investigation results have been used for production of forgings for medical implant parts.

Введение.

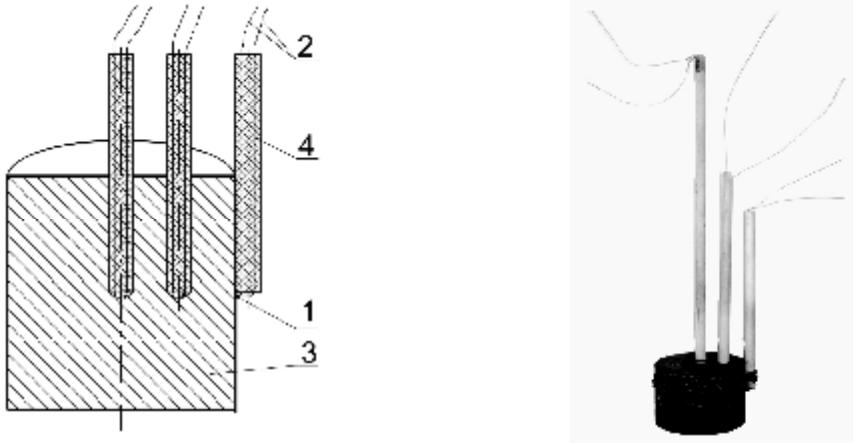
Большая потребность белорусской реабилитационной хирургической медицины в ортопедических имплантатах вызывает необходимость создания национальной научной и технологической базы эндопротезирования [1, 2]. Иностранные фирмы-производители (например, «Krupp Medizin Technic», Эссен, Германия) уже давно практикуют в изготовлении деталей имплантатов способы обработки давлением [3, 4]. В Физико-техническом институте НАН Беларуси накоплен достаточный опыт в разработке технологических процессов получения деталей медицинских имплантатов способами пластической деформации [5, 6]. Тем не менее исследования по совершенствованию технологических процессов обработки давлением и повышению функциональных свойств изделий из сплавов медицинского назначения продолжают развиваться.

Необходимым комплексом механических, трибологических и антикоррозионных свойств для эндопротезов коленного и тазобедренного суставов обладают Co-Cr-Mo сплавы. Традиционные технологии нагрева Co-Cr-Mo сплавов под деформацию: нагрев в печи до температур 1150-1250°С и длительная выдержка для равномерного прогрева и гомогенизации структуры сплава,- ведут к нежелательным последствиям. Проявлением их являются укрупнение зерна, окисление и газонасыщение поверхности сплава (если нагрев ведется не в защитной атмосфере). Применение дорогостоящего термического оборудования (высокотемпературных печей) удорожает технологию нагрева. С целью устранения указанных недостатков применяются способы термической обработки, характеризующиеся высокой скоростью нагрева и незначительным по времени воздействием на сплав высоких температур, в частности, с применением индукционного нагрева [7, 8].

В предыдущих работах [9, 10] показано, что при определенных режимах индукционного нагрева в сплаве наряду с положительными моментами (подавление роста зерна, уменьшение окисления поверхности) при высокой скорости нагрева и закалке в воду наблюдается растрескивание заготовок, оплавление наружной поверхности в то время как внутренние слои остаются непрогретые, неравномерность структурных и механических свойств по сечению заготовок, изменение формы включений (карбидов и σ-фазы), что неблагоприятно сказывается на этапе последующей пластической деформации, например, деструкция поковки. Во многом указанные отрицательные явления связаны с низкой теплопроводностью сплава (12,766-35,022 Вт/(м·К) в интервале 23-1177°С), а, следовательно, и со скоростью нагрева заготовки. В связи с этим, представляется интересным изучение распределения температурных полей по сечению заготовки при индукционном нагреве с целью определения режимов нагрева, при которых нежелательные последствия индукционного нагрева будут снижены или устранены.

Методика проведения экспериментов.

Чтобы построить распределение температурных полей с допустимой погрешностью, измерение температур в различных точках поперечного сечения цилиндрической заготовки проводили при помощи термопар, смонтированных в заготовке специальной конструкции (рис. 1). Спаи 1 термопар 2 углубляли внутрь цилиндрической заготовки 3 диаметром 22,22 мм и высотой 15 мм, в торце которой электроэрозионным способом формировали глухие отверстия глубиной и диаметром 7,5±0,5 и 2,5±0,2 мм соответственно вблизи оси (r=0) и посередине радиуса (1/2r). Термопары хромель-алюмель диаметром 0,17 мм изолировали и подключали к пишущему потенциометру КСП-4. Для нагрева образцов использовали среднечастотный генератор СЧГ 8-100/8 частотой 8000 Гц. Измерение температуры поверхностных, осевых и промежуточных слоев проводили по четырем режимам при достижении на боковой поверхности температуры 1200°С. Температура окружающей среды составляла 15-20°С.



а б

Рис. 1. Конструкция (а) и общий вид заготовки с термопарами (б) для исследования температурных полей при индукционном нагреве:
1 – спай, 2 – термопара, 3 – заготовка, 4 – керамическая изоляция

Результаты и их обсуждение.

По результатом экспериментов построены зависимости температуры в трех точках сечения образца от времени при четырех режимах нагрева. Полученные данные в интервале от 20 до 1200ºС аппроксимировали полиноминальной зависимостью 3-6-й степеней вида (1) с точностью коэффициентов при переменных до 10 знака после запятой.

$$T = \sum_{0}^{n} a_n \cdot t^n , \qquad (1)$$

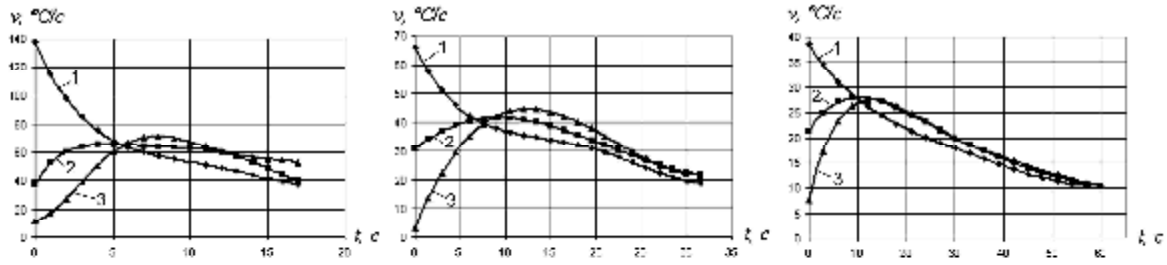
где T – температура нагрева, ºС,

t – время нагрева, с,

n – степень полинома,

a_n – коэффициент при переменной.

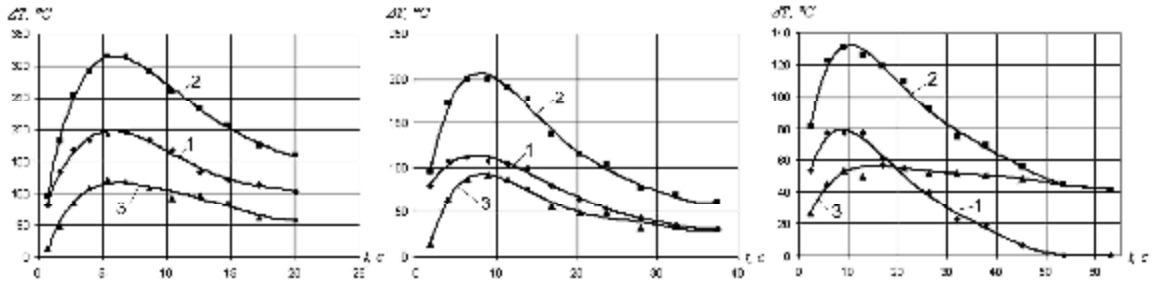
Взяв первую производную по времени от полученных выражений, нашли изменение действительной скорости нагрева образцов (рис. 2). Действительная скорость нагрева поверхностных слоев непрерывно уменьшается, что связано с отдачей теплоты в окружающую среду, а осевых и промежуточных слоев – в течение нескольких секунд увеличивается, превышает действительную скорость нагрева поверхностных слоев и затем снижается. Поскольку действительная скорость нагрева образца индукционным способом изменяется с течением времени и различна в данный момент времени по диаметральному сечению образца, поэтому за скорость нагрева образца приняли скорость нагрева поверхностных слоев в начальный момент времени. Таким образом, скорости нагрева образцов по четырем режимам составили 138, 66, 39 и 19ºС/с соответственно.



а б в

Рис. 2. Изменение действительной скорости нагрева с течением времени при начальных скоростях нагрева 138ºС/с (а), 66ºС/с (б), 39ºС/с (в).
1 – поверхностные слои, 2 – промежуточные слои, 3 – осевые слои

Градиент температур по сечению (рис. 3) в начальный момент нагрева может составлять до 300-350ºС, а далее уменьшается и зависит от скорости нагрева: с повышением скорости градиент температур увеличивается. При скоростях около 19ºС/с градиент температур принимает отрицательные значения. Это связано с отдачей теплоты в окружающую среду с поверхностных слоев и накоплением ее в осевых и промежуточных слоях. Таким образом, очевидно, чтобы снизить вероятность появления в образце структурных неоднородностей по сечению при индукционном нагреве, последний необходимо осуществлять в диапазоне скоростей, при которых градиент температур по сечению будет минимальным, то есть определить интервал оптимальных скоростей нагрева.



а б в

Рис. 3. Распределение градиента температур от времени нагрева (а, б, в - скорость нагрева 138, 66, 39ºС/с соответственно) поверхностных и промежуточных слоев (1), поверхностных и осевых слоев (2), промежуточных и осевых слоев (3)

Для определения оптимальных скоростей нагрева строили изотермические сечения диаграммы в координатах время-скорость-температура нагрева (рис. 4) в диапазоне 800-1200ºС с интервалом 50ºС. Полученные данные в системе координат время–скорость нагрева для трех слоев аппроксимировали степенной зависимостью вида (2). Затем находили величины скорости и времени нагрева, при которых градиент температур поверхностных и осевых слоев образца равен нулю. Очевидно, что это следовало из пересечения соответствующих графиков функции (2).

$$v = k_1 \cdot t^{-k_2}, \qquad (2)$$

где v – скорость нагрева, ºС/с,
t – время нагрева, ºС,
k_1 и k_2 – коэффициенты.

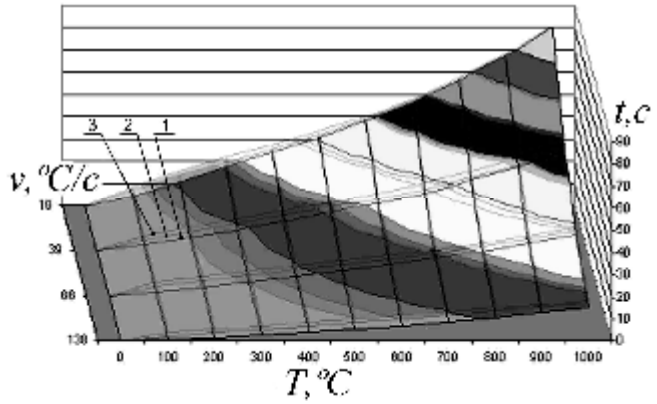


Рис. 4. Диаграмма нагрева поверхностных (1), промежуточных (2) и осевых (3) слоев образца

Затем строили график в координатах оптимальная скорость-температура нагрева (рис. 5). Установлено, что интервал оптимальных скоростей нагрева, при которых градиент температур поверхностных и осевых слоев равен нулю, относительно узкий и при температурах 800-1200ºС составляет 18-31ºС/с (рис. 5, кривая 1).

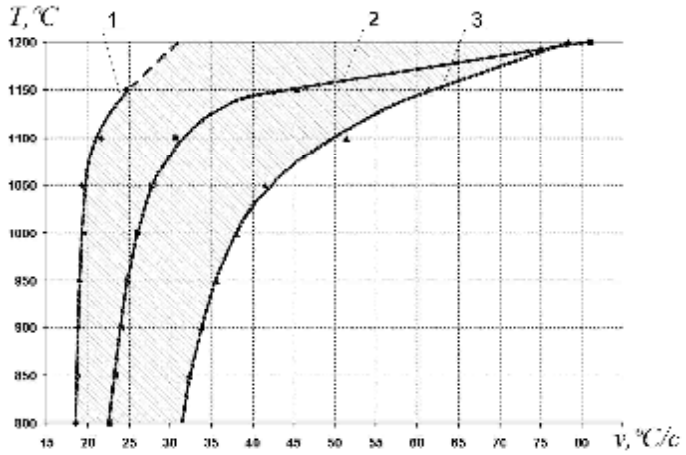


Рис. 5. Кривые зависимостей температур от скоростей нагрева, при которых градиент температур поверхностных и осевых слоев равен нулю (1), градиент температур поверхностных и промежуточных слоев равен нулю (2), градиент температур поверхностных и осевых слоев не превышает 50ºС (3)

Подобным образом найден интервал оптимальных скоростей нагрева, при которых градиент температур поверхностных и промежуточных слоев равен нулю. Этот интервал шире и при температурах 800-1200ºС составляет 23-81ºС/с (рис. 5, кривая 2). Определен также интервал оптимальных скоростей нагрева Co-Cr-Mo сплава, в котором градиент температур поверхностных и осевых слоев не превышает 50ºС. При 800-1200ºС он составляет 13-78ºС/с (рис. 5, область между кривыми 1 и 3).

Таким образом, найдены оптимальные скорости нагрева, при которых минимизированы растрескивание заготовок, неравномерность структурных и механических

свойств по сечению заготовок. Это позволило улучшить технологическую пластичность труднодеформируемого Co-Cr-Mo сплава при горячем формообразовании точных полуфабрикатов деталей ортопедических имплантатов.

Выводы.

Установлено, что неоднородность распределения температурных полей в Co-Cr-Mo сплаве при индукционном нагреве может достигать 300-350ºС при скоростях нагрева 130-140ºС/с. Предложены модели процессов изменения температур по сечению заготовки с течением времени. Найдены оптимальные скорости индукционного нагрева цилиндрических образцов под пластическую деформацию, составляющие 13-78ºС/с в интервале температур деформации 800-1200ºС. Результаты исследований внедрены в технологический процесс изготовления поковок деталей медицинских имплантатов.

Список литературы: 1. Р. Воронович, Г.М. Никитин, А.И. Воронович. Развитие эндопротезирования в Республике Беларусь// VI съезд травматологов-ортопедов Республики Беларусь: Материалы съезда, Витебск, 1996. С. 71-73. **2.** А.В. Руцкий, А.П. Маслов, К.Е. Хахелько. К проблеме эндопротезирования тазобедренных суставов в республике Беларусь// Актуальные вопросы имплантологии в травматологии и ортопедии: Материалы междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 2000. С. 153-157. **3.** G. Bensmann und J. Lindigkeit: Verbesserung der nickelfreien Cobult-Chrom-Molybdän-Endoprotesen durch Schmieden. In Tech. Mitt. Krupp – Forch.- Ber. Band 43 (1985), S. 1-8. **4.** Von Dr.-Ing GÜNTER BENSMANN, Hauptabteilungs leiter, Krupp Medizintecnik GmbH, Essen: Welcher Werkstoff ist für welche Endoprothese geeignet? Versuch einer Wercstoffeignun – gsbewertung am Biespiel von Hüftendoprothesen.- Technishe Mitteliungen Krupp, 1992, s. 45-60. **5.** И.К. Данильчик, А.Д. Доста, В.Г. Кантин. Технологические особенности получения точных поковок деталей эндопротезов тазобедренного сустава// Технологии Физтеха. Юбилейный сборник трудов: В 2 т. Т.2/ Общ. ред. С.А. Астапчик.- Мн.: ЭКОПЕРСПЕКТИВА, 2004. – С. 85-102. **6.** А.И.Гордиенко, В.М.Анищик, В.Л.Красиков. Материалосберегающая технология изготовления деталей медицинских имплантатов из металлических материалов// Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: Тез. докл. 6-й Междунар. науч.-техн. конф./ под. ред. А.И. Свириденка и В.А. Бородули.- Гродно: ГрГУ, 2005.— С. 36. **7.** А.И. Гордиенко, В.Л. Красиков. Влияние режимов термической обработки на механические и структурные характеристики Co-Cr-Mo сплава// Вестник ПГУ, серия В, прикладные науки, Том 1, № 6, 2005. – С. 24-27. **8.** А.И.Гордиенко, В.Л.Красиков. Обработка кобальт-хром-молибденового сплава токами высокой частоты// Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль термических процессов на машиностроительных предприятиях: Сб. научных трудов под ред. П.С. Гурченко.- Мн.: РДУП «Издательство ОСПИ», 2005.- С. 80-81. **9.** Красиков В.Л. Влияние индукционного нагрева на структурные и механические характеристики кобальт-хром-молибденового сплава// Известия НАН Беларуси, серия физико-технических наук, №5.- Мн.: Беларуская навука 2005.- С.86-88. **10.** А.И. Гордиенко, В.Л. Красиков. Термическая обработка Co-Cr-Mo сплава с применением печного и индукционного нагрева// Труды международной научно-технической конференции «Научные идеи С.Т. Кишкина и современное материаловедение», 25-26 апреля 2006.- М.: ВИАМ, 2006.- С.350-353.

ВПЛИВ МЕТАСТАБІЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ЗАЛИШКОВОГО АУСТЕНІТУ НА КОНТАКТНУ ВИТРИВАЛІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ СТАЛІ ПРИ ДІЇ ЦИКЛІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Каплун В.Г., Каплун П.В., Паршенко К.А.
(Хмельницький національний університет, м. Хмельницький. Україна)

This article deals with experimental investigations results of residual austenite influence and its alloyage with nitrogen for contact stability of steel X12 during cyclical loading.

В техніці велика кількість конструктивних елементів (зубчаті колеса, підшипники кочення, валки прокатних станів, вирубні штампи пресів тощо) працюють в умовах дії циклічних контактних навантажень. Їх довговічність залежить від багатьох факторів: величини і характеру контактних навантажень; зовнішніх температурних умов; зовнішнього середовища; властивостей матеріалу, з якого вони виготовлені та інших. Питання підвищення довговічності конструктивних елементів при циклічному контактному навантаженні має велике економічне значення і є актуальним.

В контактних умовах експлуатації конструктивних елементів їх довговічність в значній мірі залежить від властивостей матеріалів, з яких вони виготовлені і, зокрема, від їх хімічного складу і структури. Очевидно, що для різних умов експлуатації існують оптимальні значення характеристик матеріалів, при яких досягається максимальна довговічність цих конструктивних елементів.

Дослідженнями багатьох авторів [1-9, 11] показано, що руйнування сталей при дії циклічних контактних навантажень відбувається в результаті викрихчення, яке обумовлене виникненням і ростом мікротріщин від дії контактних напружень, та зношування, котре виникає при проковзуванні контактуючих поверхонь. В залежності від умов експлуатації і зовнішнього середовища може переважати той чи інший вид руйнування, а саме: в абразивному середовищі при значних швидкостях проковзування переважаючим є руйнування поверхні від зношування; в умовах відсутності абразивного середовища і незначних швидкостях проковзування контактуючих поверхонь переважаючим є втомне викрихчення поверхні. Практика експлуатації зубчатих передач підтверджує це твердження, а саме: в закритих зубчатих передачах, що працюють в середовищі мастила, переважаючим є руйнування від викрихчення поверхні, тоді як в відкритих зубчатих передачах, що працюють в абразивному середовищі, переважаючим є зношування від проковзування. На утворення і ріст мікротріщин при дії циклічних контактних навантажень великий вплив має вид термічної і хіміко-термічної обробки конструктивного елементу, які визначають структуру, хімічний і фазовий склад матеріалу та його поверхневих шарів. Наявність залишкового аустеніту та легуючих елементів в структурі матеріалу значно перерозподіляють швидкості утворення та росту мікротріщин [3, 5, 9].

Мікротріщини в матеріалі зароджуються при злитті дислокацій, а їх ріст відбувається при накопиченні критичної кількості дислокацій під дією зовнішнього навантаження. Легуючі елементи, що містяться в кристалевій гратці металу, з однієї сторони є центрами зародження дислокацій, а з другої – перешкодою для їх руху чим знижують швидкість утворення та росту мікротріщин [10]. Тому легування металів вуглецем, азотом і іншими елементами та їх сполуками сприяє підвищенню контактної витривалості і довговічності конструктивних елементів. Питання впливу залишкового аустеніту на контактну витривалість при дії циклічних навантажень вивчалося багатьма вченими [2-

4, 8, 9]. Проте воно до кінця не вивчене і є актуальним для різних умов навантаження та експлуатації деталей і вузлів машин. Деякі із авторів [3] вважають, що в поверхневому шарі деталей, які працюють при змінних навантаженнях, навіть незначна кількість залишкового аустеніту є недопустимою. Інші [4], навпаки, стверджують, що при швидкому охолодженні після цементації зносостійкість сталі 18Х2Н4ВА була дуже високою навіть при вмісті залишкового аустеніту 90%. Ряд авторів [2, 8, 9] вважають, що для цементованих і нітроцементованих зубчатих коліс вміст залишкового аустеніту 30-46% є оптимальним для забезпечення максимальної контактної витривалості цих деталей машин.

З метою вивчення впливу різного вмісту залишкового аустеніту на витривалість сталі при циклічному контактному навантаженні нами проведені експериментальні дослідження процесу зношування і витривалості кулькових підшипників кочення, кільця яких виготовлені із сталі Х12 з різною термічною і хіміко-термічною обробкою.

Дослідження проводилися на спеціальній установці [6] для випробування зразків на тертя кочення. В якості досліджуваного зразка було вибрано верхнє кільце упорного кулькового підшипника № 8204 з плоскою площиною контакту з кульками. Дослідження проводилися в середовищі мастила І-20 при навантаженнях на кульку 300 Н і частоті обертання зразка 600^{-1} хв. Досліджувані зразки із сталі Х12, змінювались методами термічної і хіміко-термічної обробки, мали різні фізико-механічні властивості, а саме: методом гартування при різних температурах нагріву (845-1130 ^{o}С) і різних швидкостях охолодження одержували різний вміст залишкового аустеніту в інтервалі від 25% до 92%; методом іонного азотування в середовищі суміші азоту з аргоном (75 об.% N_2 + 25 об.% Ar) при температурі 580 ^{o}С і тиску 240 Па протягом 4 годин та послідуючим гартуванням одержані зразки, що мали легований азотом залишковий аустеніт (азотистий аустеніт) в інтервалі 25-92%. Шорсткість всіх зразків була Ra=0,125 мкм. В сепараторі підшипника кочення знаходилося 12 кульок діаметром 7,14 мм і твердістю HRC63, які безпосередньо контактували з досліджуваним зразком.

В процесі досліджень вимірювалася величина зносу і мікротвердість доріжки кочення, а також визначалася довговічність зразків, вимірюванням кількості циклів навантаження до появи викрихчення на доріжці кочення. Величина зносу вимірювалася за допомогою профілометра-профілографа моделі 201, твердість доріжки кочення вимірювалася мікротвердоміром ПМТ-3. Величина зносу доріжки кочення поєднувала пластичну деформацію матеріалу від дії циклічного навантаження і величину стирання від проковзування кульок, що має місце в підшипниках кочення. Дослідження показали (табл. 1, 2), що в початковий період випробувань на доріжці кочення відбувається інтенсивна пластична деформація. Її величина залежить від вмісту залишкового аустеніту в структурі сталі та часу випробувань і зростає зі збільшенням кількості залишкового аустеніту та зменшується зі збільшенням кількості циклів навантаження. В результаті пластичної деформації змінюється структура поверхневого шару сталі, відбувається її подрібнення, зменшення розмірів зерен до ($(1,6\div1,8)\cdot10^{-8}$м) і збільшення напружень $2^{-го}$ роду до 0,76 ГПа. Мікротвердість доріжки кочення зі збільшенням кількості циклів навантаження поступово зростає і досягає максимального значення при вичерпанні матеріалом запасу пластичності. Наявність легуючого елементу в структурі матеріалу, зокрема азоту та його сполук нітридів, що утворилися після нітрогартування, зменшує величину пластичної деформації та підвищує мікротвердість на доріжці кочення (табл. 2), в порівнянні зі значеннями при аналогічній кількості залишкового аустеніту, але без легування азотом (табл.1).

Таблиця 1. Знос і мікротвердість доріжки кочення сталі Х12 в залежності від вмісту залишкового аустеніту і протяжності випробувань

№ з/п	% аустеніту	Характеристика поверхневі зношування, (мкм/МПа)	Час випробувань, хв.									Довговічність $N \cdot 10^6$ цикл.
			1	5	10	20	40	60	120	3900	До викрихчення	
1	25	знос	0,3	1,2	2,0	4,0	5,0	5,0	5,05	5,1	5,4	64,8
		мікротверд.	9162	9160	9190	9260	9380	9440	9400	9430	9420	
2	30	знос	0,35	2,0	3,5	5,5	7,0	7,0	7,2	7,25	7,5	69,1
		мікротверд.	8664	8680	8750	8890	9100	9260	9260	9230	9240	
3	46	знос	0,4	2,5	3,5	5,5	8,0	9,0	9,2	9,3	9,5	64,1
		мікротверд.	8450	8450	8500	8350	8590	8630	8680	8650	8640	
4	65	знос	3,0	6,5	7,0	8,0	9,0	11,0	11,4	12,7	13,0	54,3
		мікротверд.	7708	7720	7800	7850	7980	8370	8570	8560	8530	
5	80	знос	5,0	7,0	8,0	9,0	12,0	13,0	14,3	14,8	15,1	41,0
		мікротверд.	6710	6790	6880	7100	7570	7900	7810	7800	7800	
6	92	знос	6,0	8,0	9,0	11,0	14,0	15,0	15,5	15,9	16,1	30,2
		мікротверд.	4830	4920	5200	5400	5910	6320	6540	6500	6520	

Таблиця 2. Знос і мікротвердість доріжки кочення сталі Х12 після нітрогартування в залежності від вмісту залишкового аустеніту і протяжності випробувань

№ з/п	% аустеніту	Характеристика поверхневі зношування, (мкм/МПа)	Час випробувань, хв.									Довговічність $N \cdot 10^6$ цикл.
			1	5	10	20	40	60	120	3900	До викрихчення	
1	5	знос	0,4	2,6	4,8	6,9	8,7	11,8	13,9	14,3	15,1	100,54
		мікротверд.	8610	8650	8680	8730	8750	8760	8760	8750	8760	
2	10	знос	0,35	2,0	3,6	6,2	10,6	12,7	12,7	13,1	13,6	137,84
		мікротверд.	8839	8900	8920	2960	2970	8980	8960	8980	9960	
3	15	знос	0,3	1,6	2,8	4,3	5,8	7,1	7,6	8,5	9,2	189,19
		мікротверд.	8917	9100	9150	1180	9190	9190	9200	9100	9120	
4	20	знос	0,25	1,4	2,5	3,6	4,7	6,3	6,5	7,2	7,9	216,22
		мікротверд.	9144	9180	9250	9300	9320	9330	9340	9320	9300	
5	25	знос	0,15	1,1	1,6	2,1	2,9	3,2	4,1	4,9	5,2	298,38
		мікротверд.	9560	9630	9740	9810	9840	9850	9850	9820	9840	
6	30	знос	0,20	1,3	2,4	3,5	4,7	5,1	5,6	6,3	6,8	318,38
		мікротверд.	9020	9220	9450	9560	9620	9740	9730	9720	9740	
7	46	знос	0,30	1,5	2,6	3,8	4,6	6,2	6,7	7,8	8,1	305,41
		мікротверд.	8650	8890	9200	9260	9300	9340	9340	9320	9330	
8	65	знос	2,0	3,5	4,8	6,4	8,6	10,2	10,6	10,7	12,8	189,19
		мікротверд.	8160	8310	8380	8400	8470	8560	8650	8640	8660	
9	80	знос	4,0	5,2	6,3	7,6	8,5	11,4	12,1	12,6	14,7	121,62
		мікротверд.	6860	6950	7200	7650	7780	7900	8060	8060	8040	
10	92	знос	5,0	7,0	8,1	9,0	10,8	12,6	14,2	14,4	15,5	86,49

		мікротверд.	5284	5400	5630	5850	6300	6700	6900	6900	6880	

На рис. 1 показана залежність інтенсивності зношування доріжки кочення зразків від кількості циклів контактного навантаження при різному вмісті залишкового аустеніту в структурі сталі Х12. Інтенсивність зношування доріжки кочення в початковий період має максимальне значення в зв‘язку з великою пластичною деформацією матеріалу. Зношування поступово зменшується через зміцнення поверхні від пластичного деформування матеріалу та досягає стабільного значення, коли вичерпується мікропластична деформація, при цьому мікротвердість поверхні доріжки кочення досягає максимального значення. Цей період називають періодом припрацювання.

Інтенсивність зношування залежить від процентного вмісту залишкового аустеніту в структурі матеріалу та твердості поверхні та основи. Найменшу інтенсивність зношування мали зразки з вмістом залишкового аустеніту 25-30%, а період їх припрацювання склав 40 хв. ($3{,}46 \cdot 10^5$ циклів), що складає 0,5% від довговічності зразка. За цей час знос від проковзування був надзвичайно малим, і ним можна знехтувати. Основним видом зношування в період припрацювання є пластичне деформування матеріалу доріжки кочення.

В період після припрацювання, який називають періодом накопичення пошкоджень або інкубаційним періодом, відбувається мікропластична деформація зерен мікроструктури матеріалу, рух і накопичення дислокацій, їх злиття і утворення мікротріщин, накопичення мікротріщин. Цей період продовжується до повного вичерпання мікропластичних деформацій під дією зовнішнього навантаження.

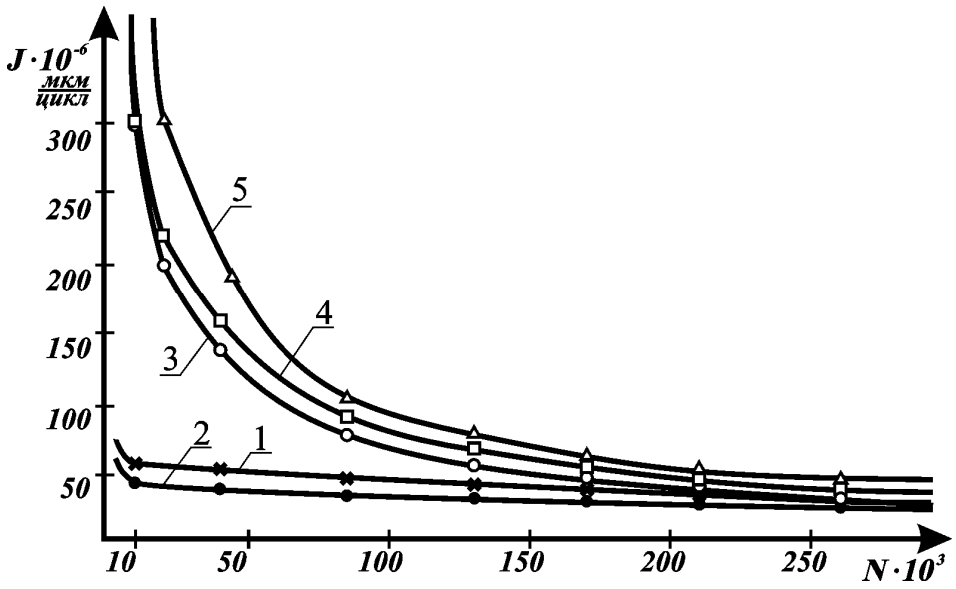


Рис. 1. Залежність інтенсивності зношування сталі Х12 з різним вмістом залишкового аустеніту $А_{зал.}$ від кількості циклів навантажень при терті кочення.
1 – 25 % $А_{зал.}$; 2 – 30 % $А_{зал.}$; 3 – 46 % $А_{зал.}$; 4 – 65 % $А_{зал.}$ 5 – 92% $А_{зал.}$

В період припрацювання і накопичення пошкоджень в результаті макро і мікропластичної деформацій відбувається розпад метастабільної структури залишкового аустеніту і перетворення його в мартенсит деформації. Цей процес супроводжується

поглинанням зовнішньої енергії від дії навантаження і чим більше поглинається цієї енергії в результаті структурних перетворень, тим довше тягнуться ці два періоди і більшою буде довговічність матеріалу.

Після вичерпання мікропластичної деформації починається швидкий ріст мікротріщин в результаті злиття мікротріщин і швидке руйнування поверхні з викрихченням доріжки кочення.

На рис. 2 показана залежність довговічності зразків від процентного вмісту залишкового аустеніту в структурі сталі Х12, з якого видно, що ця залежність має екстремальний характер з чітко вираженим максимумом. На графіках видно оптимальну область з вмістом залишкового аустеніту 25-46%, що забезпечує високу довговічність зразків. Ця область найбільш чітко виділяється на кривій 2 зразків, що оброблялися нітрогартуванням. Найбільшу довговічність мали зразки після нітрогратування з вмістом залишкового азотистого аустеніту 30%, що в 4,5 рази вища в порівнянні з її значенням для зразків без легування аустеніту азотом. Це пояснюється тим, що наявність легуючих елементів азоту та його сполук перешкоджає руху дислокацій, утворенню і росту мікротріщин під дією зовнішнього циклічного навантаження і, таким чином, сповільнює процеси тріщиноутворення і руйнування.

Тому, на основі проведених досліджень можна зробити такі висновки та рекомендації:

1. Наявність залишкового аустеніту в структурі матеріалу суттєво впливає на його контактну витривалість при дії циклічних навантажень.

2. Існують межі оптимальних значень процентного вмісту залишкового аустеніту (25÷46%) в структурі матеріалу, при яких досягається найбільша його контактна витривалість, в залежності від умов експлуатації. Для умов підшипників кочення в середовищі мастила таким оптимальним значенням є 30% залишкового аустеніту.

3. Легування залишкового аустеніту азотом за запропонованою технологією нітрогартування за оптимальним режимом підвищує в 4,5 рази довговічність сталі Х12 на контактну витривалість при терті кочення в порівнянні з її значенням для цього ж матеріалу без легування азотом при оптимальному вмісті залишкового аустеніту.

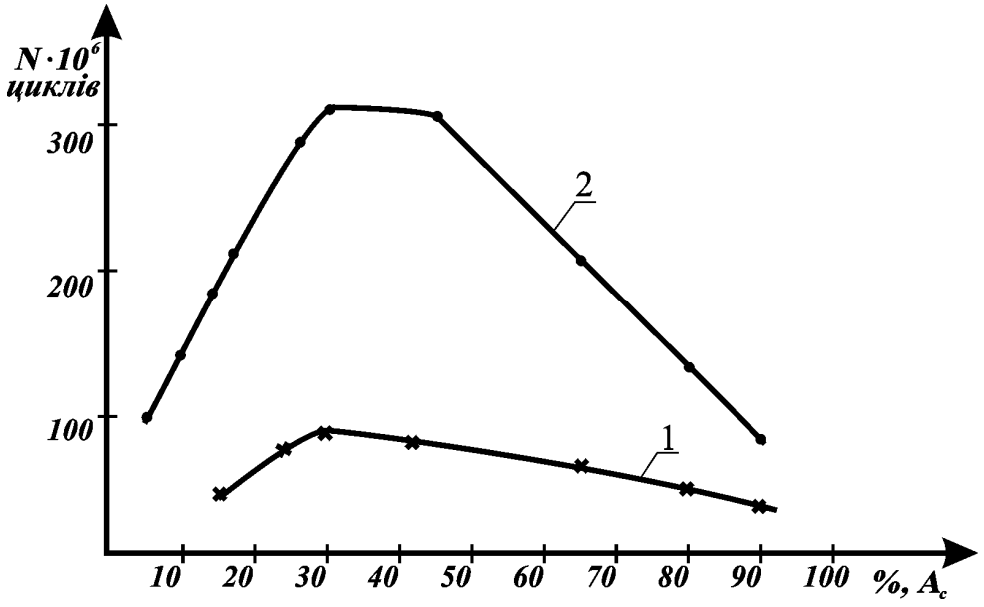


Рис. 2. Залежність довговічності зразків при терті кочення від кількості залишкового аустеніту в сталі Х12. 1 – сталь після термообробки; 2 – сталь після нітрогартування (іонне азотування з послідуючою термообробкою)

Список літератури: **1**. Пинегин С.В. трение качения в машинах и приборах – М. Машиностроение. – 1976. – 267с. **2**. Критерии оценки долговечности зубчатых колес, упрочненных химико-термической обработкой / В.А. Оловянишников, В.М. Зинченко, Б.В. Георгиевский, В.В. Кузнецов // МиТОМ. 1989, - № 8, - с. 42-45. **3**. Ассонов А.Д. Технология термической обработки деталей машин – М: Машиностроение, 1969, - 263с. **4**. Любарский И.М. Повышение износоустойчивости тяжело нагруженных шестерен. М: Машиностроение, - 1965, - 132с. **5**. Сусин А.А. Структура и субмикроструктура. Сопротивление контактной усталости химико-термически упрочненных сталей // Докл. Нац. АН Белоруси. – 2002. – 46. - № 1. – с. 120-123. **6**. Каплун П.В. Кинетика износа сталей с диффузионными покрытиями при контактном циклическом нагружении // Проблемы трибологии. – Хмельницкий, - 2001, - № 1, с.110-115. **7**. Прогнозирование направления роста поверхностной трещины и усталостной долговечности при циклическом контакте с качением и скольжением / Goshita Takahito, Ishihara Sotomi, Shimi Masayoshi, Yoshida Hirokazu, Tsuchida Yun, ISME Int. I. A. 2003. 46. № 4. с. 582-589. **8.** Зинченко В.М. Инженерия поверхностти зубчатых колес методами химико-термической обработки. – М. Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, - 2001 – 302с. **9.** Зинченко В.М., Георгиевский Б.В., Оловянишников В.А. Влияние остаточного аустенита на механические свойства цементированных сталей // МиТОМ, - 1987. - № 12, - с. 25-30. **10**. Панасюк В.В., Андрейкив А.Е., Партон В.З. Основы механики разрушения материалов / Киев: Наук Думка. – 1988. – т. 1, - 488с. **11**. Черменский О.Н. Накопление усталостных повреждений в опорах качения // Пробл. машиностроения ы надежности машин. – 1996, - № 5. – с. 44-49.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЙ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ.

[1]Кардаполова М.А., [1]Дьяченко О.В., [2]Фельдштейн Е.Э. *([1]БНТУ, г. Минск, Беларусь, [2]Зеленогурский университет, г. Зелена Гура Польша)*

In the given work the interrelation is established and correlation dependences between parameters of laser processing, physic-mechanical properties, phase structure, microstructures, conditions of friction and wear resistance characteristics in conditions of dry friction of a covering of system Fe-Cr-B-Si are revealed. Change of factor of friction in conditions of dry friction and friction with greasing is investigated.

Введение. Износостойкость является наиболее важным показателем лазерного упрочнения. Процесс изнашивания зависит от ряда факторов: сочетания физико–механических свойств трущихся пар, твердости контактирующих поверхностей, скорости и характера трения, удельных давлений и т.д. [1].

В качестве материалов покрытий, подвергаемых лазерному оплавлению, широко применяются, в основном, традиционные самофлюсующиеся сплавы на основе никеля [2, 3]. Получаемые покрытия обладают высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, позволяющими упрочненным или восстановленным деталям надежно работать в условиях износа при граничном трении и трении со смазкой,

но существенным недостатком таких покрытий является их высокая стоимость. Поэтому было предложено использовать самофлюсующиеся порошки на основе железа.

Целью работы является изучению влияния лазерного оплавления с дополнительным легированием на структуру, микротвердость, износостойкость покрытий системы Fe – B – Cr – Si.

Методика. Для исследования структур, микротвердости и сравнительных испытаний на износ использовались образцы стали 45 прямоугольной формы сечением 10 х 10 и длиной 30 мм, на которые напыляли порошок системы Fe–Cr–B–Si. Покрытия оплавляли горелкой а также лучом лазера с предварительным нанесением порошковых обмазок B_4C, TaB, MoB на клеевой связке (3% клея «AGO» в ацетоне). Контртела изготавливали из закаленной стали 45.

Ускоренные сравнительные испытания материалов на износ при сухом трении проводили на машине трения МТ – 1 при линейной скорости вращения истирающего диска 2,3 м/с (угловой 880 об/мин) нагрузке Р (30 – 70 Н), твердости диска 40 -45 HRC. Для измерения работы трения, момента трения и области трения контрела до момента износа в условиях сухого трения и трения со смазкой использовалась машина трения и износа типа Amsler. В этом случае исследования проводились на неподвижном контртеле (колодка) и вращающемся образце (диск). Номинальная поверхность соприкосновения колодки и вращающегося диска в результате износа не изменялась.

Обсуждение результатов.

Наличие во всех покрытиях железной матрицы обусловило одинаковые закономерности влияния лазерной обработки на структуру и микротвердость получаемых покрытий.

При лазерном оплавлении покрытий без обмазки (рис. 1) и легированных TaB и MoB (скорость движения детали относительно луча лазера V_1 =100 мм/мин) образуется метастабильная структура, армированная дендритами первого, второго и третьего порядка, состоящих из легированного α-железа. Между осями дендритов образуется тонкодисперсная эвтектика. На более жестких режимах оплавления (с увеличением скорости движения детали относительно луча лазера до V_2 =200 мм/мин) наблюдались избыточные включения боридов Fe, Cr и C на фоне пересыщенного твердого раствора железа.

При газопламенном оплавлении плазменных покрытий наблюдается объемный разогрев детали, а кристаллизация и полное остывание происходит при невысоких скоростях. Вследствие этого образуется глобулярная структура эвтектических колоний состоящих из α + FeB.

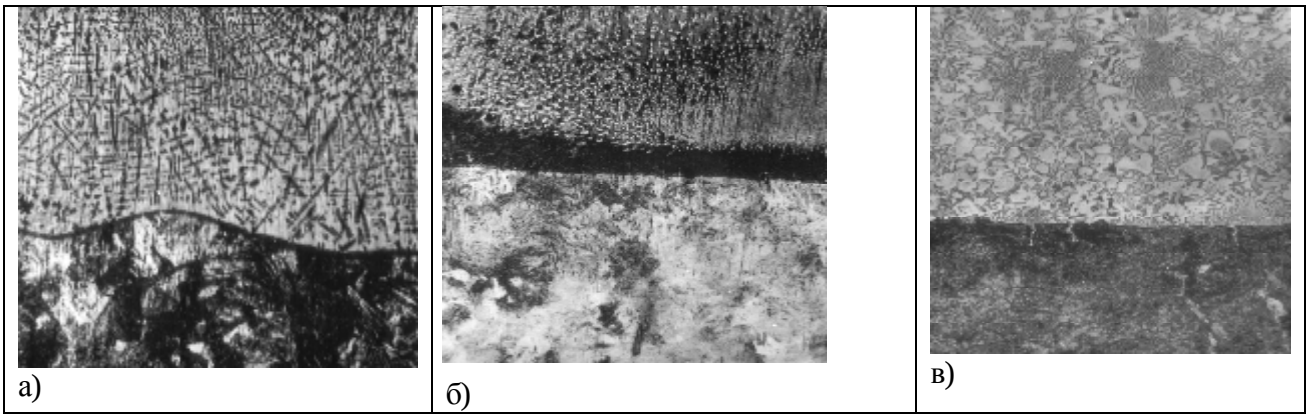


Рис. 1- лазерное легирование а) MoB, б) B_4C, в) оплавление горелкой

На микротвердость покрытий оказывает влияние не только режимы лазерной обработки, но и вид легирующей добавки (табл.2). Наименее твердыми являются покрытия после плазменного напыления и лазерной обработки без легирования. Далее по возрастающей: покрытия после легирования TaB, MoB и B_4C. Самые высокие значения микротвердости наблюдается при жестких режимах лазерной обработки для всех видов обмазки. С возрастанием диаметра до 3 мм из-за расфокусировки луча покрытие становится менее твердым. С увеличением коэффициента перекрытия до 1,2 лазерные дорожки накладываются друг на друга и в местах наложения образуются зоны отпуска, снижающие микротвердость. При снижении скорости луча лазера относительно детали до 50 мм/мин, покрытия менее твердые, чем при V_2=150 мм/мин.

Таблица 1. Микротвердость после оплавления и лазером и горелкой, МПа

Легирующие вещества	Номера образцов и режимы обработки							
	1	2	2	4	5	6	7	8
	V_1=50 $d_л$=1.0 $k_{пер}$=0.8	V_2=150 $d_л$=1.0 $k_{пер}$=0.8	V_1=50 $d_л$=3.0 $k_{пер}$=0.8	V_2=150 $d_л$=3.0 $k_{пер}$=0.8	V_1=50 $d_л$=1.0 $k_{пер}$=1.2	V_2=150 $d_л$=1.0 $k_{пер}$=1.2	V_1=50 $d_л$=3.0 $k_{пер}$=1.2	V_2=150 $d_л$=3.0 $k_{пер}$=1.2
Без обмазки	8049	8704	7387	8153	8312	9152	8548	7703
TaB	8455	8934	8615	8211	9020	9577	9310	8369
MoB	8959	9137	11062	8345	10487	11472	11160	9748
B_4C	10466	10835	11092	9529	11500	12204	12040	10882
Оплавление горелкой	7400							

Ускоренные сравнительные испытания на износ при сухом трении показали, что наиболее стойкими к истиранию в исследуемом диапазоне нагрузок оказались покрытия с обмазкой из карбида бора. Интенсивность изнашивания покрытий, легированных MoB несколько ниже. Наименее износостойкими оказались покрытия, легированные боридом тантала и оплавленные лазерным лучом без легирующей обмазки. По результатам проведенных экспериментов получены регрессионные зависимости, связывающие параметры лазерной обработки (диаметр луча лазера, скорость обработки и коэффициент перекрытия) и интенсивность изнашивания (табл. 2) и построены поверхности отклика (Рис.2).

Таблица 2 . Уравнения регрессии в зависимости от легирующих элементов

Легирующий элемент	Нагрузка, Н	Уравнение регрессии
Без легирования	30	Y = 0,722 + 0,088X1 + 0,1X2 + 0,135X3 + 0,08X1X3
	50	Y = 0,834 + 0,085X1 + 0,133X2 + 0,115X3 + 0,081X1X3
	70	Y = 0,945 + 0,109X1 + 0,111X2 + 0,15X3 + 0,108X1X3
TaB	30	Y = 0,753 + 0,09X1 + 0,146X2 + 0,088X3 + 0,079X1X3
	50	Y = 0,758 + 0,068X1 + 0,144X2 + 0,1X3
	70	Y = 0,862 + 0,098X1 + 0,07X2 + 0,13X3
MoB	30	Y = 0,571+ 0,142X1 + 0,105X2 + 0,203X3 + 0,103X1X3
	50	Y = 0,654 + 0,159X1 + 0,124X2 + 0,212X3 + 0,122X1X3
	70	Y = 0,795 + 0,172X1 + 0,105X2 + 0,245X3 + 0,115X1X3
B_4C	30	Y = 0,479 + 0,066X1 + 0,108X2 + 0,065X1X3 +0,065X2X3
	50	Y = 0,495 + 0,086X1 + 0,094X2 + 0,083X1X3+ 0,08X2X3
	70	Y = 0,528 + 0,092X1+ 0,98X2 + 0,102X1X3 + 0,103X2X3

Для всех видов покрытий четко прослеживается положительная корреляция между скоростью луча лазера относительно детали, диаметром и коэффициентом перекрытия дорожек.

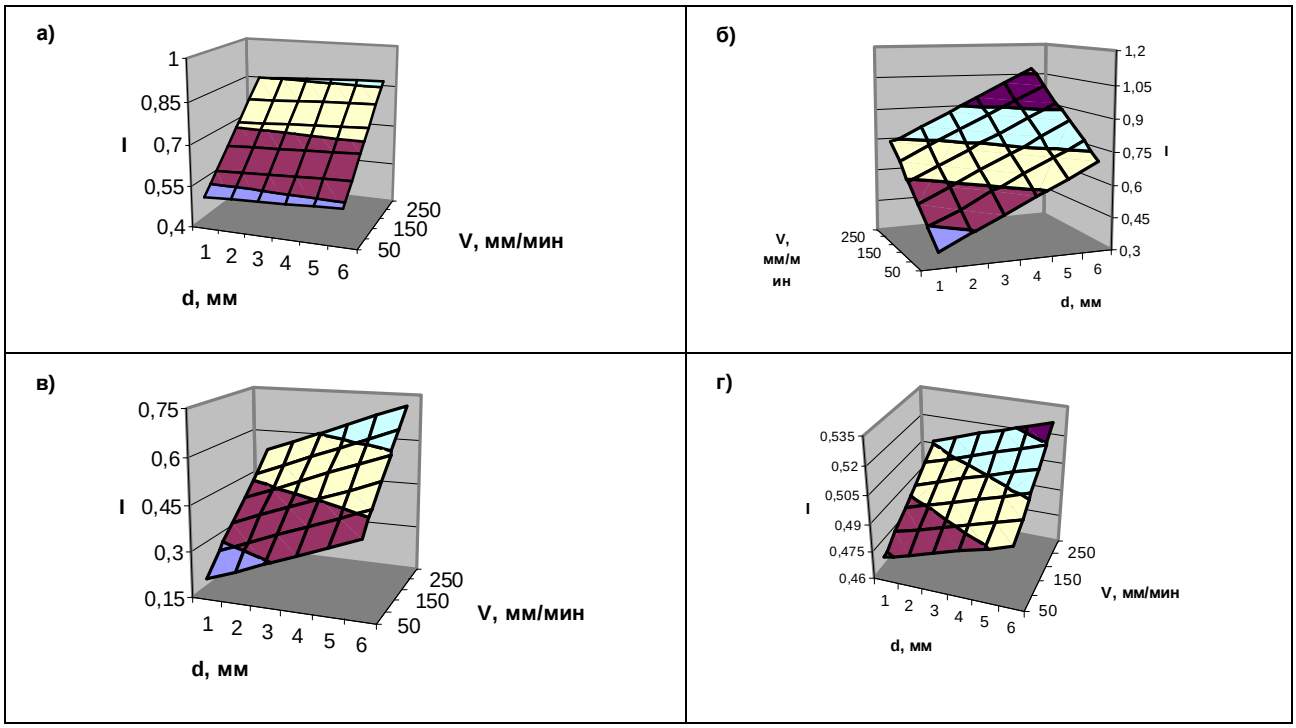


Рис. 2. Интенсивность изнашивания покрытий а) без легирования; легированных: б) TaB, в) MoB, г) B_4C

Наибольший коэффициент трения наблюдается у покрытий без обмазки, причем его увеличение с возрастанием нагрузки наблюдается более интенсивное.. При сухом трении и приложенном давлении (P = 500 H) наибольший средний коэффициент трения $\mu_{śr}$ (0,272 – 0,33) наблюдается у покрытий после оплавления горелкой. Момент трения M_T изменяется от 3,3 до 3,5 Нм. Мгновенный коэффициент трения μ_{ch} (0,77 – 0,4).

Для покрытий, оплавленных лазером без легирования, коэффициент трения несколько ниже.

Легирование TaB плазменнонапыленных покрытий ведет к увеличению среднего коэффициента трения $\mu_{śr}$ до 0,268, легирование MoB к дальнейшему уменьшению $\mu_{śr}$ до 0,224 – 0,212, а легирование B_4C – к небольшому уменьшению среднего коэффициента трения $\mu_{śr}$ до 0,235 – 0,24. Во всех тех случаях коэффициенты M_T и μ_{ch} остаются без изменения, соответственно 3,5 и 0,4.

При сухом трении и приложенном давлении (P = 1000 H) наблюдается для всех случаев уменьшение, примерно в 2,45 – 3,74 раза, среднего коэффициента трения $\mu_{śr}$ и увеличение в полтора - два раза момента трения $M_{T;}$ мгновенный коэффициент трения μ_{ch} остается практически без изменения.

Смазка образует между трущимися поверхностями промежуточный слой, при этом процесс сухого трения двух твердых тел заменяется процессом внутреннего трения в смазочном веществе. При приложенном давлении (P = 1000 H) это приводит к уменьшению

среднего коэффициента трения $\mu_{śr}$ в 1,88 – 3,68 раз, момента трения M_T – в 2,94 – 4,05 раз, мгновенного коэффициента трения μ_{ch} в 3 – 4 раза.

Четко прослеживается зависимость между параметрами обработки, структурой, микротвердостью и износостойкостью получаемых покрытий. После оплавления горелкой микроструктура глобулярная, вследствие чего покрытие менее твердое и износостойкое. После оплавления лазером при V_1 =100 мм/мин образуется в основном литая равновесная структура с осями дендритов первого, второго и третьего порядков. Микротвердость данных покрытий, а, следовательно, и износостойкость выше. С повышением скорости детали относительно луча лазера до V_2 =200 мм/мин при легировании B_4C образуется пересыщенная боридная и карбидо-боридная структура микротвердость и износостойкость которой значительно выше.

Выводы:

С повышением скорости движения луча лазера относительно детали измельчается структура, возрастает микротвердость. Лазерное модифицирование также повышает износостойкость получаемых покрытий.

Анализ структуры поверхностей и величины износа образцов, испытанных при сухом трении и трении со смазкой указывает на большую эффективность смазки и правильность выбора метода смазки. Величина износа при сухом трении и трении смазкой отличается.

Список литературы 1. Коваленко В.С. Лазерная технология – К.: Выща шк. Головное издательство. 1989. 280 с. **2**.Борисов Ю. С., Горбатов И. Н., Калиновский Б. Р. и др. Получение и структура покрытий на основе Ni–Cr–B–Si сплавов // Порошковая металлургия, 1985, - № 9. - С. 22 –26. **3**. Ларионов В. П., Болотина Н. П., Аргунова Т. В., Тюнин В. Д., Лебедев Н. П. Влияние лазерной обработки на структуру и состав плазменно-напыленных покрытий системы Ni-Cr-B-Si-C // ФХОМ. – 1987, № 1. – С. 74 - 78.

ПОВЫШЕНИЕ КОМПЛЕКСА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ЛЕГИРОВАНИЕМ МОЛИБДЕНОМ

Кардаполова М.А., Девойно О.Г., Яцкевич О.К. *(БНТУ, г. Минск, Беларусь)*

This research work deals with a plasma-flame ceramic coating alloyed by molybdenum. The primary goal is to obtain surface coatings with excellent performances. The alloyed coating demonstrates the high adhesion between the coating and the substrate, good wear resistance and low friction factor at high loading (40 MPa) in comparison with alumina coating.

Введение. В настоящее время широкое применение нашли износостойкие покрытия на основе оксидной керамики. Такие покрытия обладают высокой твердостью, износостойкостью, устойчивы к химически-активным средам, имеют высокую рабочую температуру, химически инертны к основным конструкционным материалам и поэтому при введении в пару трения не образуют «мостиков схватывания», являющихся одной из главных причин разрушения металлических контактирующих поверхностей.

Однако у этих покрытий присутствует и ряд недостатков. Применение их при изготовлении деталей машин часто ограничивается значительной хрупкостью, низкой прочностью сцепления с основой и низкими прочностными свойствами в условиях ди-

намических нагрузок. Данные покрытия рекомендуется напылять на трущиеся поверхности, работающие без ударных нагрузок [1].

Объектом нашего исследования являются плазменные покрытия из оксида алюминия. Большим преимуществом данного материала является его доступность и дешевизна. Однако ему присущ и ряд недостатков, общий для всех керамических покрытий, - низкая адгезия между покрытием и основой [2].

Применение оксида алюминия в композиции с другими материалами позволяет получить покрытия с улучшенными эксплуатационными свойствами. Порошки для нанесения защитных покрытий получаются смешиванием порошков различных материалов, плакированием, конгломерированием, припеканием к поверхности частиц порошка основы более мелкодисперсных порошковых материалов, содержащих легирующие элементы. Однако у этих методов есть ряд недостатков.

Существенный недостаток механических смесей - сегрегация частиц составляющих компонентов по плотности и размерам частиц в процессе хранения, транспортировки и нанесения, которая в результате приводит к неравномерности химического состава, строения покрытия и, следовательно, к ухудшению эксплуатационных свойств [3].

Получение плакированных порошков связано с использованием сложного технологического оборудования и с дополнительными материальными затратами на очистку сточных вод и выбросов в атмосферу [4].

Новым направлением получения материалов для композиционных покрытий является диффузионное легирование порошков. Данная технология в настоящее время получила распространение благодаря работам, проводимым в Полоцком Государственном университете [5].

При диффузионном легировании на поверхности каждой гранулометрически самостоятельной частицы формируется диффузионная оболочка. Частицы компонентов в порошке, полученном диффузионным легированием, имеют размеры, обеспечивающие оптимальные температурно-временных условия при прохождении через плазменную струю. Полученные таким способом диффузионно-легированные порошки не имеют мировых аналогов.

Особенностью данного метода получения порошков является использование гравитационного способа для получения подвижной насыщающей смеси (кипящего или псевдокипящего слоя). В подвижной смеси происходит интенсификация диффузионного легирования порошков, что объясняется ускорением процессов тепломассопереноса вследствие постоянного движения, перемешивания и контактирования частиц рабочей смеси в процессе обработки. Интенсификация диффузионных процессов происходит также в результате пластического деформирования материала при перемешивании [5].

Технология получения диффузионно-легированного порошка включает в себя следующие стадии:

1) сушка и рассев исходных материалов;
2) смешивание материалов в определенном соотношении;
3) герметизация и размещение контейнера с порошками в лабораторной установке;
4) изотермическая выдержка в печи с вращением контейнера(50 - 100 мин$^{-1}$, 1100 - 1250^{o}C, 1…2,5 часа);
5) нанесение покрытия.

В данной работе для формирования покрытий был использован порошок из оксида алюминия, диффузионно-легированный молибденом.

В качестве легирующего элемента был выбран молибден, так как он обладает хорошими фрикционными свойствами. Его введение приведет к пластификации покрытия и увеличению средней плотности [1].

Цель работы: изучить возможность повышения комплекса эксплуатационных характеристик покрытий на основе оксида алюминия путем легирования его молибденом.

Методика. Изучение структуры проводилось на сканирующем электронном микроскопе CAM SCAN-4 при увеличении 1 500 и 2 000 раз и разрешающей способности 4 нм. Энерго-дисперсионная система EDX-INCA-350 позволила количественно определить процентное содержание химических элементов в покрытии. Для получения распределения элементов в керамическом покрытии съемку производили в рентгеновских лучах AlKα, FeKα, OKα, CrKα, MnKα, MoKα.

Рентгеноструктурные исследования осуществлялись с использованием пакета прикладных программ «ARSANAL», который был разработан для автоматизированной обработки данных рентгеноструктурного анализа. Проведение съемок выполнялось в строго идентичных условиях на дифрактометре ДРОН-3,0 при скорости поворота образца 1 град/мин в медном монохроматизированном излучении; при этом в исследованном интервале углов толщина слоя 75%-ного поглощения энергии первичного пучка составила от 3 до 12 мкм (углы θ от 10 до 75°).

Пористость определяли металлографическим методом на микроскопе " Polyvar" при увеличении ×100 с полуавтоматическим анализатором изображения "МОР-АМОЗ" на поперечных шлифах и на поверхности. Прочность сцепления напыленных покрытий с основой определяли штифтовым методом.

Ускоренные сравнительные испытания материалов на износ при сухом трении проводили на машине трения МТ – 1. Нагрузка на образец варьировалась в пределах 30 – 70 Н, твердости диска составляла 40 -45 HRC, линейная скорость вращения истирающего диска 2,3 м/с. Для измерения момента трения в условиях сухого трения использовалась машина трения и износа типа Amsler. В этом случае исследования проводились на неподвижном контртеле (колодка) и вращающемся образце (диск).

Обсуждение результатов. Для оптимизации режимов напыления была установлена зависимость между током дуги плазмотрона, дистанцией напыления и адгезией покрытия. Планирование эксперимента проводилось по модели полного факторного эксперимента. Входные параметры, ток дуги и дистанция напыления, менялись на двух уровнях: минимальном и максимальном. Значения тока дуги составили 350А и 420А, дистанции напыления - 90мм и 110мм Полученные значения адгезии для легированного покрытия и покрытия из чистого оксида алюминия показали, что введение молибдена значительно снизило хрупкость оксида и повысило прочность сцепления покрытия с основой в 2 – 2,5 раза.

Математические модели для двух видов покрытий свидетельствуют о положительной корреляции между адгезией и током дуги плазматрона и отрицательной корреляции между адгезией и дистанцией напыления:

$$Y_1 = 20{,}02 + 1{,}38X_1 - 4{,}67X_2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 10{,}24 + 1{,}01X_1 - 1{,}71X_2 \quad (2)$$

где Y_1, Y_2 - адгезия соответственно легированного покрытия и покрытия из чистого оксида алюминия, МПа;

X_1 – величина тока дуги, А;

X_2 - дистанция напыления, мм.

Низкая когезионная прочность объясняются тем, что при малых токах дуги мощности плазменной струи недостаточно для удовлетворительной термоактивации частиц напыляемых материалов. При увеличении тока дуги прогрев частиц улучшается, достигая оптимальных значений, увеличивается плотность и когезионная прочность (в результате растет и износостойкость). При больших дистанциях напыления частицы наносимого материала теряют свои термодинамические характеристики, не достигнув основы. Когезионная прочность покрытия при этом снижается.

По полученным регрессионным моделям влияния параметров напыления на адгезию рекомендованы режимы плазменного напыления. Наибольшая адгезия легированного покрытия 26-27 МПа и нелегированного -10,5-11,2 МПа может быть получена при токе дуги плазмотрона 420 А, напряжении 80 В и дистанции напыления 90 мм. Полученные режимы использовались в дальнейшем при напылении образцов для последующих исследований.

Рентгеноструктурный анализ показал, что оба покрытия состоят из γ - Al_2O_3 и α - Al_2O_3 примерно в одинаковых пропорциях (табл.1).

Таблица 1. Результаты рентгеноструктурного анализа после напыления

Наименование фазы	Количество линий		Концентрация фазы, %	
	покрытие Al_2O_3	покрытие Al_2O_3+Mo	покрытие Al_2O_3	покрытие Al_2O_3+Mo
γ-Al_2O_3	13	13	68,3	54,0
α - Al_2O_3	6	6	31,0	28,5
Mo	-	4	-	10,6
MoO_3	-	2	-	5,1

Присутствие α - Al_2O_3 увеличивает износостойкость и плотность покрытия. Наличие γ-Al_2O_3 повышает вязкость нанесенного покрытия, что в данном случае является благоприятным фактором. Молибден в легированном покрытии содержится в чистом виде в количестве около10%. На рентгенограмме кроме линий чистого молибдена выявлены лини оксида молибдена MoO_3. Данная фаза образуется в незначительном количестве в результате поверхностного окисления молибдена при прохождении частиц через плазменную струю.

Тонкие исследования структуры покрытий методом электронной микроскопии показывают, что у легированного молибденом покрытия граница с подложкой менее четкая в сравнении с покрытием из чистого оксида алюминия. Распределение молибдена по покрытию – неравномерное и предполагает, что частицы молибдена не только обволакивают частицу оксида, но и прилипают к ней целиком.

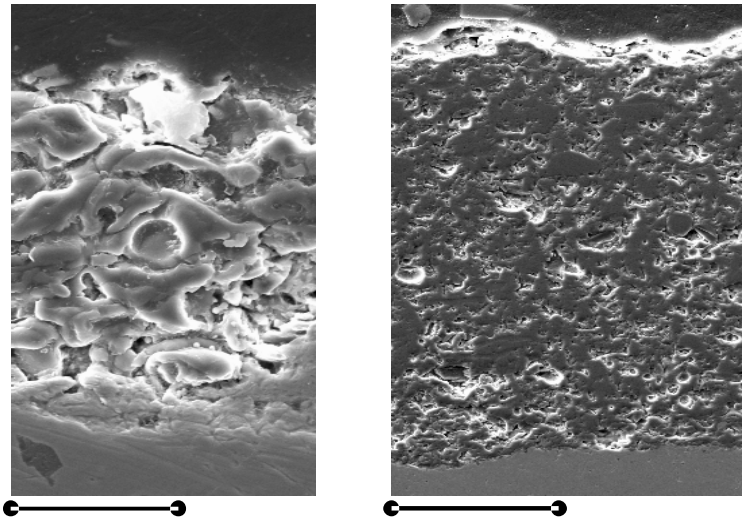


Рис. 1. Микроструктура покрытий: а) оксид алюминия, легированный молибденом; б) оксид алюминия

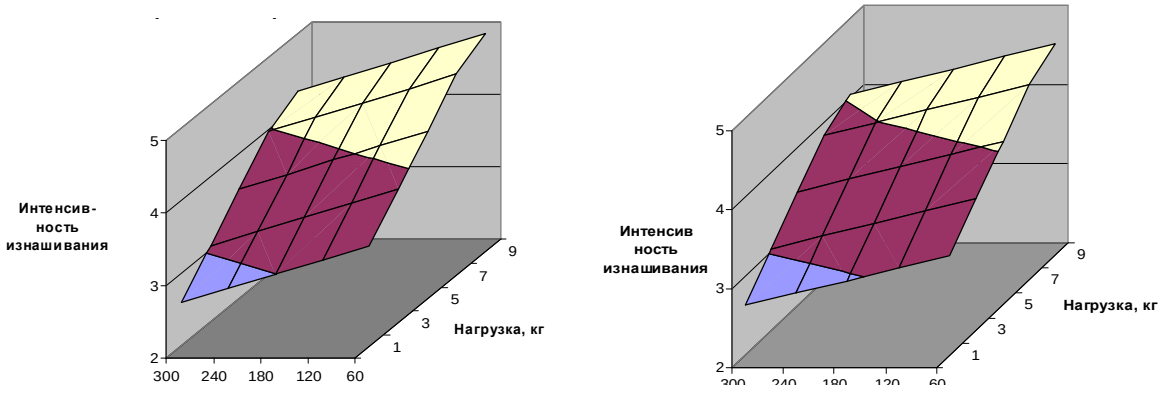
Микротвердость легированных покрытий снизилась и составила 3239 МПа, в то время как средняя микротвердость покрытия из чистой окиси алюминия составила 5640 МПа.

Введение молибдена в окись алюминия снизило пористость покрытия в 2-2,4 раза. Молибден, являясь более пластичной фазой, в данном случае играет роль уплотнителя и заполняет поры между частицами окиси алюминия.

Особый случай износа твердых тел представляет собой изнашивание керамических материалов. Керамика Al_2O_3 обладает высокой твердостью, износостойкостью, устойчива к агрессивным средам, имеет высокую температуру плавления, химически инертна к основным конструкционным материалам и поэтому при введении в пару трения не образует «мостиков схватывания», являющихся одной из главных причин разрушения металлических контактирующих поверхностей.

Предварительные исследования износостойкости в условиях сухого трения показали, что интенсивность изнашивания двух покрытий отличается незначительно как при низких, так и при увеличении нагрузки до 70 Н, хотя микротвердость легированного покрытия меньше. Методом полного факторного эксперимента были получены математические модели, связывающие интенсивность изнашивания покрытий с величиной нагрузки и временем испытаний (рис. 2).

С увеличением нагрузки интенсивность растет, причем в начальный момент времени интенсивность изнашивания имеет большие значения. С течением времени она уменьшается.



а) $Y = 3,91 + 0,46X_1 - 0,39X_2$ б) $Y = 3,75 + 0,40X_1 - 0,32X_2$

Рис. 2. Зависимости интенсивности изнашивания от нагрузки и времени испытания для а) легированного покрытия, б) покрытия из оксида алюминия

Исследование момента трения и коэффициента трения проводили на машине трения и износа типа Amsler. Для покрытия из чистой окиси алюминия коэффициент трения составляет 0,24-0,26. Введение молибдена позволило снизить коэффициент трения в 2-2,2 раза, его значения находятся в приделах 0,11-0,12.

Методом полного факторного эксперимента были получены математические модели, связывающие коэффициент трения покрытия с величиной нагрузки, скоростью вращения образца и временем испытаний. Величина нагрузки варьировалась в пределах 20-40 МПа, скорость вращения образца 6-10 м/мин.

Полученные математические зависимости имеют вид:

$$Y_1 = 0,1875 + 0,015X_1 + 0,03X_2 + 0,0325X_3 - 0,0075X_1X_2 + \\ + 0,01X_1X_3 + 0,0117X_2X_3 \quad (3)$$

$$Y_2 = 0,2929 + 0,0163X_1 + 0,0279X_2 + 0,0213X_3 - 0,0096X_1X_2 + 0,0096X_2X_3 \quad (4)$$

где Y_1, Y_2 - коэффициент трения соответственно легированного покрытия и покрытия из чистого оксида алюминия, МПа;

X_1 – время испытания, ч;

X_2 - величина нагрузки, МПа;

X_3 – скорость вращения образца, м/мин.

Особенно заметна разница в коэффициентах трения легированного покрытия и оксида при больших давлениях в паре трения. При увеличении давления и относительной скорости скольжения в паре трения для обоих покрытий происходит интенсификация изнашивания, коэффициент трения увеличивается. Однако, легированное покрытие при давлении 40 МПа имеет меньшую тенденцию к увеличению коэффициента трения. Исследования влияния условий трения (контактного давления и скорости скольжения) на коэффициент трения показал, что при увеличении нагрузки от 20 до 40 МПа и скорости скольжения от 6 до 10 м/мин. коэффициент трения у легированного покрытия увеличивается на 15-20% меньше, чем у оксида. Это говорит о том, что покрытие, сформированное из диффузионно-легированного порошка «оксид алюминия + молибден» можно рекомендовать для тяжелых условий трения.

Выводы. Проведенный анализ используемых порошковых материалов показал перспективность использования оксида алюминия для формирования плазменных покрытий. Рентгеноструктурный анализ образцов из чистого оксида алюминия и легированного молибденом выявил в образцах обоих составов фазы α - Al_2O_3 , γ-Al_2O_3. Легированный образец содержит дополнительно оксид молибдена MoO_3, и чистый молиб-

ден в количестве около 10%. Распределение молибдена по покрытию – гетерогенное, что вызвано структурными особенностями исходного порошка и предполагает, что частицы молибдена прилипают к частице оксида.

Введение молибдена оказало положительное влияние на физико-механические и эксплуатационные характеристики керамического покрытия. Значительно снизилась хрупкость и увеличилась адгезия покрытия с основой в 2-2,5 раза. Коэффициент трения легированного покрытия, в сравнении с покрытием из чистого оксида алюминия, снизился в 2-2,2 раза и составил 0,11-0,12.

Представленные результаты носят предварительный характер, исследования в данном направлении будут продолжаться. В дальнейшем планируется провести исследование влияние содержания молибдена в исходном порошке на физико-механические свойства покрытия, влияние пористости покрытия на его износостойкость, а также влияние режимов напыления на эксплуатационные характеристики. Кроме того, с использованием описанной технологии предполагается получить оксид алюминия, легированный не только молибденом, но и бором.

Список литературы: 1. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.А. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – Киев.: Наукова думка, 1987. – 544 с. **2.** Аппен А.А. Температуроустойчивые неорганические покрытия – М. –Л.: Химия, 1976.-296с. **3.** Самсонов Г.В., Эпик А.П. Тугоплавкие покрытия. М.: Металлургия, 1973.-400с. **4.** Газотермическое напыление композиционных порошков/ Кулик А.Я., Борисов Ю.С., Мухин А.С., Никитин М.Д. –Л.: Машиностроение, 1985.-199с.,ил. **5.** Износостойкие газотермические покрытия из диффузионно-легированных порошков: монография/ В.М.Константинов, Н.В.Спиридонов, О.Г. Девойно, А.М. Авсиевич; под ред. чл.-корр. НАНБ Ф.И. Пантелеенко – Мн. Технопринт, 2005.-146 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ БОРИДАМИ

Кардаполова М.А., Девойно О.Г., Суханова Е.В. *(БНТУ, Минск, Беларусь)*

A possibility of increasing surface hardness and wear resistance of aluminium alloys by laser alloying has been investigated. Mathematical models have been derived using mathematical experimental design which relates the conditions of laser processing with the hardened layer properties.

Введение. Алюминий и его сплавы благодаря высокой удельной прочности, тепло и электропроводности, коррозионной стойкости, хорошей обрабатываемости и относительно низкой стоимости находит все более широкое применение в промышленности в качестве конструкционных материалов. Однако возможность широкого использования алюминия и его сплавов для изготовления деталей, работающих в условиях трения, во многих случаях ограничивается вследствие низкой твердости и, соответственно, износостойкости. Поэтому в настоящее время повышение износостойкости алюминиевых изделий, работающих в различных условиях трения, является актуальной проблемой, что связано также с возможностью замены большой номенклатуры стальных и чугунных деталей алюминиевыми для облегчения веса машин и оборудования. Перспективность лазерной технологии для попытки решения задачи поверхностного упрочнения

алюминия определяется возможностью превратить в достоинство то свойство алюминия, которое при других методах обработки является основным недостатком – его легкоплавкость; покрытие формируется из частиц высокой твердости, хорошо смачиваемых и перемешивающихся с твердым раствором на основе алюминия. Существующие работы в этой области показывают широкий спектр возможностей, открывающихся при использовании концентрированных источников энергии. [1]

Целью работы является изучение влияния параметров лазерной обработки и состава легирующей обмазки на износостойкость алюминиевых изделий.

Методика проведения экспериментов. Предварительный выбор легирующих компонентов осуществлялся на основании проведенного анализа литературных данных, а также анализа диаграмм состояния двойных систем. [2]

Для проведения исследований на поверхность образцов из алюминия чистотой 0.999 % наносили порошок борида железа FeB грануляцией 40…50 мкм в виде водной суспензии толщиной 0,2 мм, затем оплавляли газовым углекислотным лазером непрерывного действия «Комета-2» с измеренной мощностью 1 кВт.

Рентгеноструктурные исследования проводили с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3.0 при скорости поворота образца 1 град/мин в медном монохроматизированном излучении; при этом в исследованном интервале углов толщина слоя 75%-ного поглощения энергии первичного пучка составила от 3 до 12 мкм (углы θ от 10 до 75°). Рентгеноструктурный анализ осуществлялся с помощью разработанного авторами пакета прикладных программ «ARSANAL».

Ускоренные сравнительные испытания материалов на износ при сухом трении проводили на машине трения МТ – 1 при линейной скорости вращения истирающего диска 2,3 м/с (угловой 880 об/мин) нагрузке Р (0,5 кг), твердости диска 40 -45 HRC. Для определения интенсивности изнашивания (Y) использовали метод планирования эксперимента. При проведении данного эксперимента осуществлялось варьирование скорости перемещения детали относительно луча лазера (X1) от 500 (-1) до 1000 (+1) мм/мин и диаметра луча (X2) от 1 (-1) до 2 (+1) мм; коэффициент перекрытия оставался неизменным и был равен 1; матрица планирования эксперимента приведена в таблице 1. Параметром оптимизации (точнее, минимизации) служила величина интенсивности изнашивания покрытия

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента

Опыт	Входные факторы	
	X1	X2
1	+1	+1
2	-1	-1
3	+1	-1
4	-1	+1

Обсуждение результатов. Среди большого количества компонентов наибольший эффект упрочнения был получен на алюминии и алюминиевых сплавах при легировании их боридами, в частности, боридом железа (FeB). Покрытие имеет ярко выраженную гетерогенную структуру, представляющую собой твердый раствор на основе алюминия и равномерно распределенные высокотвердые включения. Микроструктура покрытия показана на рисунке 1.

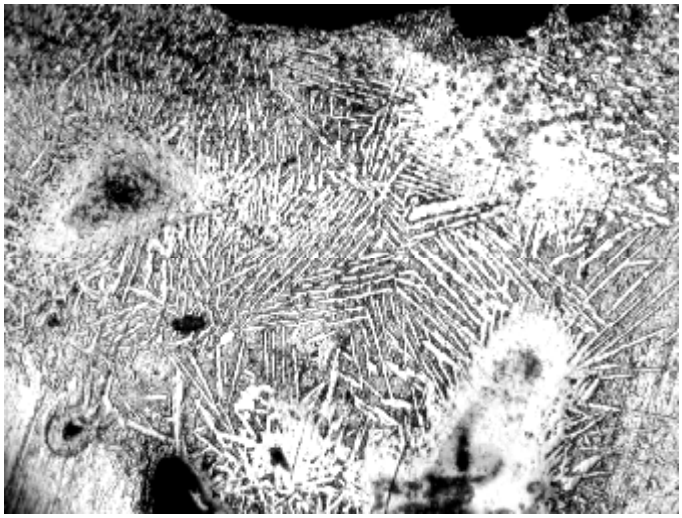


Рис. 1. Структура алюминия после лазерного легирования, х 500

Лазерное легирование боридами позволило варьировать комплексом физико-механических свойств, в частности, повысить микротвердость поверхности до 9000 - 11000 МПа. Данная микротвердость определяется микротвердостью образовавшихся при воздействии лазерного луча фаз, что может положительно сказаться на износостойкости полученного покрытия. Однако получение упрочненного слоя, в полной мере удовлетворяющего требованиям значительного повышения износостойкости, возможно лишь при комплексной модификации матрицы и упрочняющей фазы, что может быть реализовано при использовании в качестве обмазок многокомпонентных составов.

Рентгеновский анализ показал, что покрытие состоит из твердого раствора алюминия, боридов алюминия и боридов железа (таблица 2). В результате метастабильной кристаллизации в процессе лазерного легирования произошло легирование твердого раствора алюминия железом, а также образование высокотвердых включений AlB_2, FeB, Fe_2B, что и позволило повысить износостойкость поверхностного слоя.

Таблица 2. Результаты рентгеноструктурного анализа после легирования

Наименование фазы	Количество линий	Концентрация фазы, %
Al	10	69,8
AlB_2	3	17,2
FeB	10	6,7
Fe_2B	4	6,3

В таблице 3 представлена зависимость интенсивности изнашивания от времени и коэффициент корреляции $K_{кор}$ функции $Y=A+B\cdot x$.

Таблица 3. Зависимость интенсивности изнашивания от времени и коэффициент корреляции

№ образца	Время испытаний, сек			$K_{кор}$	A	B
	30	60	120			
1	7,01	4,05	2,19	0,9498	7,940	-0,0504
2	3,53	2,28	1,40	0,9582	3,960	-0,0224
3	3,37	2,10	1,64	0,8986	3,600	-0,0176
4	3,53	2,10	1,33	0,9353	3,915	-0,0228
Al	22,70	11,77	6,45	0,9260	2,536	-0,1675

Как видно из таблицы, лазерным легированием удалось добиться повышения износостойкости в 3 - 4,5 раза по сравнению с неупрочненным состоянием материала. Исследованием установлено, что коэффициент корреляции находится для всей матрицы планирования и чистого алюминия в пределах 0,8986….0,9582, т.е. для всех опытов наблюдается одинаковая отрицательная корреляция между интенсивностью изнашивания и временем испытаний.

Влияние параметров лазерной обработки на интенсивность изнашивания приведено на рисунке 2.

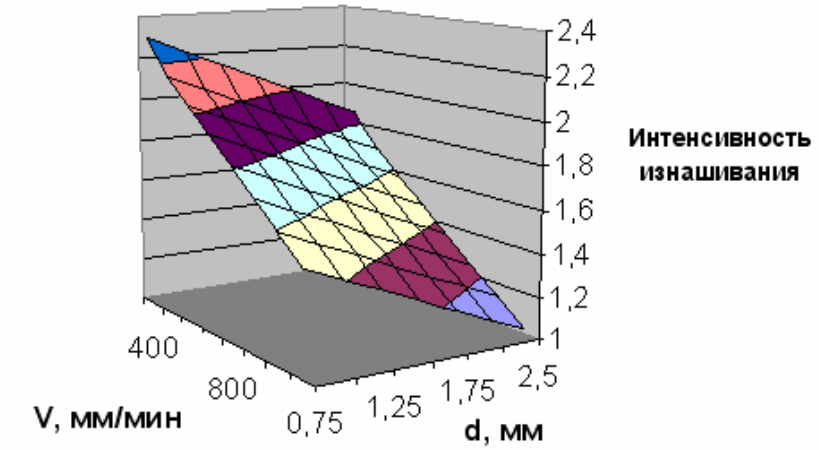


Рис. 2. Интенсивность изнашивания покрытия при P=0,5 кг; t=120 с

Получено уравнение регрессии, связывающее интенсивность изнашивания, скорость движения детали относительно луча лазера и диаметр луча лазера:

$$Y = 1,64 - 0,27667 \cdot X1 - 0,15333 \cdot X2$$

Анализ уравнения показал, что между параметрами существует отрицательная корреляция. С уменьшением скорости лазерной обработки и диаметра луча лазера интенсивность изнашивания увеличивается. Наибольшее влияние на износостойкость упрочненных образцов оказывает скорость лазерного луча, при увеличении которой до значения 1000 мм/мин наблюдается минимальный износ упрочненной поверхности.

Проведенные эксперименты по поверхностному легированию изделий из алюминия боридом железа показали его достаточно сильное модифицирующее воздействие на количество упрочняющей фазы.

Список литературы. 1. Упрочнение деталей лучом лазера / В.С.Коваленко, Л.Ф.Головко, Е.Ф.Меркулов, А.И.Стрижак; Под ред. В.С.Коваленко. - Киев: Техника, 1981.- 131 с. **2**. Хадсен Е., Андерко Дж. Диаграммы двойных сплавов. М.: Мир. 1981.–197 с.

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАПЛАВКИ АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ КОРПУСОВ РЕАКТОРОВ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВОДНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Карзов Г.П., Галяткин С.П., Михалева Э.И., Морозовская И.А.
(ФГУП "ЦНИИ КМ "Прометей", г. Санкт-Петербург)

Influence of alloying elements, harmful admixtures, non-metallic inclusions and phase composition on embrittlement of an anticorrosive cladding of light water reactor bodies at technological tempering in process of their manufacturing and neutron irradiation at service is reviewed. The principles of developing of a new generation of welding consumables ensuring stability of a clad metal against brittle failure at service life not less than 60 years are formulated. The new welding consumables for an anticorrosive cladding of reactor bodies and other nuclear power plant equipments of advanced safety and service life are developed.

Корпуса реакторов атомных энергетических установок с водным теплоносителем (АЭУ) изготавливаются из теплоустойчивых сталей системы Cr-Mo-V и Cr-Ni-Mo-V, содержат сварные швы аналогичной композиции и антикоррозионную наплавку на внутренней поверхности для защиты от коррозии при контакте с теплоносителем [1]. В процессе изготовления корпуса реакторов подвергаются послесварочным технологическим отпускам при температуре 650÷670ºС с целью восстановления свойств металла швов и зоны термического влияния. При этом указанная термическая обработка вызывает охрупчивание антикоррозионной наплавки [2], а нейтронное облучение приводит к дальнейшему снижению ее вязкости и пластичности [3].

Наплавка антикоррозионного покрытия осуществляется, как правило, автоматическим дуговым способом ленточным электродом под слоем флюса или вручную покрытыми электродами. Первый слой наплавки выполняют сварочными материалами с повышенным запасом аустенитности типа Св-07Х25Н13. Поверхностный слой – стабилизированными сварочными материалами типа Св-08Х19Н10Г2Б и Св-04Х20Н10Г2Б для обеспечения стойкости против межкристаллитной коррозии после отпусков.

К антикоррозионной наплавке предъявляются требования по обеспечению сплошности, коррозионной стойкости и заданного уровня механических свойств [1].

В последнее время в России разработана и введена в действие новая концепция расчетной оценки срока безопасной эксплуатации корпуса реактора, учитывающая возможность хрупкого разрушения антикоррозионной наплавки. Введены новые требования по вязкости разрушения и ударной вязкости наплавки после отпусков (до начала эксплуатации), гарантирующие ее работу как вязкого материала в течение проектного срока службы [4].

Это обусловило необходимость создания и промышленного освоения нового поколения сварочных материалов для антикоррозионной наплавки корпусов АЭУ повышенной безопасности и ресурса, которые должны обеспечивать стойкость наплавленного металла против хрупкого разрушения до окончания срока эксплуатации реакторной установки.

На основе результатов исследований влияния химических, структурных и технологических факторов на охрупчивание применяемой антикоррозионной наплавки были обоснованы принципы создания сварочных материалов, обеспечивающие повышение стойкости наплавки против охрупчивания, разработаны составы новых наплавочных материалов и проведена экспериментальная проверка правильности сделанных выводов.

Оценку влияния химического состава и содержания ферритной фазы на пластичность и ударную вязкость наплавки применяемых составов проводили с использованием данных по результатам входного контроля промышленных плавок ленты. Для первого слоя наплавки выявлена тенденция к снижению пластичности и ударной вязкости при увеличении содержания ферритной фазы более 6% и повышенном содержании серы и фосфора. Влияние хрома в пределах марочного состава мало заметно.

Для второго слоя наплавки характерно снижение ударной вязкости при увеличении содержания хрома, а также при повышенном содержании серы и фосфора. Зависимость ударной вязкости от содержания ферритной фазы до 8% не наблюдается. Этот материал и был выбран для дальнейших исследований, так как он составляет основной объем антикоррозионной наплавки и проявляет более сильную склонность к охрупчиванию при отпусках по сравнению с первым слоем.

Исследование влияния структурных, металлургических и технологических факторов на охрупчивание антикоррозионной наплавки проводили с использованием пяти промышленных плавок ленты марки Св-04Х20Н10Г2Б (ЭП-762), применяемой в настоящее время в атомной энергетике. Четыре плавки (А, Б, В, Г) были изготовлены по обычной технологии, пятая (ВИ) – вакуумно-индукционным способом с минимальным содержанием серы и фосфора и микролегированием иттрием и церием.

Механические свойства наплавок при испытании на разрыв соответствовали нормативным требованиям, однако по ударной вязкости KCU был получен значительный разброс от 14 до 39 Дж/см².

При фрактографическом исследовании было выявлено, что разрушение наплавок Г и ВИ происходило вязко, а в изломах наплавок А и В, помимо вязкой составляющей, присутствовали хрупкие участки скола и вторичные трещины. На поверхности скольных участков была обнаружена сигма-фаза. Во всех изломах имелись оксиды алюминия, а в наплавке В - также шлаковые включения.

При металлографическом исследовании обнаружено, что в структуре наплавок с низкой ударной вязкостью присутствует сигма-фаза и протяженные скопления карбидов и карбонитридов, а в наплавках с высоким ударом они отсутствуют. В наплавке ВИ карбиды дисперсные, а также более мелкое зерно по сравнению с другими наплавками. Измельчение зерна и карбидов в данном случае вызвано влиянием РЗМ, что хорошо согласуется с литературными данными [5].

Уточненный фазовый состав наплавок определяли методом физико-химического исследования электролитически выделенных анодных осадков. Помимо карбидов хрома и ниобия, были обнаружены сигма- и альфа-фазы, причем их содержание различно. Сопоставляя полученные данные с исходным содержанием хрома, можно видеть, что при отпуске наплавок с содержанием хрома до 19,5% не происходит образования существенного количества хрупкой сигма-фазы. В то же время представляет интерес сравнить интерес наплавки А и ВИ, имеющие равное содержание хрома и одинаковый фазовый состав, но существенно отличающиеся по ударной вязкости.

Основным отличием этих наплавок является присутствие крупных неметаллических включений в наплавке А и отсутствие таковых в наплавке ВИ. При сравнительном

анализе неметаллических включений в лентах, которыми были выполнены наплавки, в ленте А были обнаружены крупные включения размером более 25 мкм, а в ленте ВИ такие включения отсутствовали. В то же время в ленте ВИ мелких включений размером менее 12 мкм было несколько больше, чем в ленте А. В наплавленном металле наблюдалось уменьшение содержания мелких включений и рост числа и размеров крупных по сравнению с соответствующей лентой. Это позволяет сделать вывод, что наличие крупных неметаллических включений в ленте приводит к повышенной загрязненности ими наплавленного металла и, как следствие, усиливает его охрупчивание.

Шлаковые включения также способствуют охрупчиванию наплавки. Сравнивали наплавки, выполненные лентами одной и той же плавки марки Св-07Х25Н13 и Св-04Х20Н10Г2Б в сочетании с применяемым в настоящее время флюсом ОФ-10 и новым высокотехнологичным флюсом ОФ-40, обеспечивающим самопроизвольное отделение шлака без образования трудноудаляемых остатков шлака на поверхности валика ("березовой коры"). Оба флюса обеспечивали получение наплавленного металла в соответствии с требованиями российской нормативной документации, однако за счет применения флюса ОФ-40 удалось повысить пластичность и ударную вязкость наплавленного металла в исходном состоянии и после отпусков. Легкое отделение шлаковой корки также обеспечило повышение производительности процесса наплавки антикоррозионного покрытия.

На основании полученных результатов сформулированы принципы создания сварочных материалов, обеспечивающие повышение пластичности и вязкости антикоррозионной наплавки после технологических отпусков и нейтронного облучения при сохранении заданного уровня прочности и коррозионной стойкости. Они включают корректировку пределов содержания основных легирующих элементов, обеспечение оптимального содержания ферритной фазы, микролегирование редкоземельными металлами, повышение чистоты по вредным примесям, влияющим на охрупчивание при отпусках и облучении, а также по неметаллическим и шлаковым включениям за счет применения современных технологий.

Эти принципы были реализованы при разработке новой сварочной ленты и проволоки марки Св-02Х23Н15-ВИ и электродов марки ЭА-23/15 для первого слоя (взамен Св-07Х25Н13 и ЗИО-8) и Св-02Х18Н10Б-ВИ и электродов марки ЭА-18/10Б для второго слоя (взамен Св-04Х20Н10Г2Б, Св-08Х19Н10Г2Б и ЭА-898/21Б). Выплавка стали для изготовления ленты и проволоки должна осуществляться способами, исключающими образование крупных неметаллических включений (размером более 25 мкм). Для автоматической наплавки ленточным электродом необходимо применять высокотехнологичный флюс марки ОФ-40, который аттестован Ростехнадзором России, освоен в промышленности и внедрен при изготовлении ответственных изделий для атомной энергетики и нефтехимической промышленности.

В результате экспериментальной проверки механических свойств и трещиностойкости наплавленного металла, выполненного с применением разработанных сварочных материалов подтверждено их преимущество по пластичности и ударной вязкости после отпусков и нейтронного облучения по сравнению с применяемыми наплавками при обеспечении требуемой прочности и вязкости, а также стойкость против межкристаллитной коррозии. Определены температурные зависимости ударной вязкости и J_R кривые для наплавки разработанного состава после технологических отпусков, длительного старения при температуре эксплуатации и нейтронного облучения, свидетельствующие об отсутствии склонности к хрупкому разрушению.

Изготовление и применение разработанных сварочных материалов для антикоррозионной наплавки опробовано российской промышленностью. В настоящее время завершаются работы по их аттестации в соответствии с Правилами и Нормами атомной энергетики, действующими в России. Имеются постоянно действующие технические условия на их поставку. Составы ленты, проволоки и флюса защищены патентами Российской Федерации.

Выводы

1. Основными причинами охрупчивания антикоррозионной наплавки после технологических отпусков являются: образование сигма-фазы, протяженных скоплений карбидов и карбонитридов, загрязненность крупными неметаллическими включениями.

2. Создание современных сварочных материалов для антикоррозионной наплавки атомных энергетических установок с ВВЭР увеличенного ресурса и надежности должно осуществляться путем оптимизации химического состава в целях уменьшения охрупчивания при технологических отпусках и нейтронном облучении, повышения чистоты по вредным примесям и неметаллическим включениям, а также улучшения сварочно-технологических свойств.

3. Экспериментально подтверждено, что применение сварочных материалов, разработанных на основе приведенных выше принципов, позволило повысить пластичность и ударную вязкость антикоррозионной наплавки после технологических отпусков и снизить склонность к радиационному охрупчиванию после нейтронного облучения при сохранении требуемого уровня прочности и коррозионной стойкости.

4. Разработанные особо чистые низкоуглеродистые сварочные материалы могут быть рекомендованы для антикоррозионной наплавки строящихся и вновь проектируемых корпусов реакторов и другого оборудования АЭУ с водным теплоносителем.

Список литературы: 1. Правила и нормы в атомной энергетике. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения (ПН АЭ Г-7-009-89). Сварные соединения. Правила контроля (ПН АЭ Г-7-010-89) // Госатомэнергонадзор СССР. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – 320 с. **2.** Земзин В.Н., Шрон Р.З. Термическая обработка и свойства сварных соединений. - Л., Машиностроение, 1978. – 367 с. **3.** Badanin V.I., Ignatov V.A. et al. Brittle Fracture Behavior of Anticorrosive Overlay Metal on 15Х2МФА Steel // Smirt-10, Los-Angeles, 1989. **4.** Карзов Г.П., Марголин Б.З. Современные подходы к оценке сопротивления материала корпусов водо-водяных атомных реакторов хрупкому разрушению. // В сб. Радиационное материаловедение и конструкционная прочность реакторных материалов / Под общей ред. акад РАН И.В. Горынина. СПб.: ФГУП ЦНИИ КМ "Прометей", 2002. - с. 88-109. **5.** Паршин А.М., Петкова А.П., Кикичев Р.Н. Влияние микролегирования редкоземельными элементами на свойства и работоспособность аустенитных сталей и сплавов // В сб. Ресурс и надежность материалов и сварных соединений энергетических установок СПб.: Труды ЦКТИ. – 2002. - вып. 286. – с. 94-101.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ

Карпусь В.Е., Миненко Д.А. *(НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина)*

Intercommunication is set between optimum firmness of instruments at the sequential processing by the kit of tools and parameters of treatment on much instrumental machine tools. The method of choice of the optimum modes of treatment by the kit of cutting tools, which answers the burst performance of treatment on much instrumental machine-tools, is resulted.

Процесс резания по своей природе является вероятностным вследствие влияния многих случайных факторов, подчас скрытого характера, на стойкость режущего инструмента, которая в значительной степени определяет производительность обработки. Расчетная величина периода стойкости существенно влияет на скорость резания и интенсивность формообразования, а фактическая стойкость – на периодичность и суммарное время смены инструментов. Таким образом, выбор оптимальных режимов резания в условиях рассеивания стойкости необходимо осуществлять с учетом надежности инструментов, которая характеризуется законами распределения стойкости, и способов их замены.

При обработке стержневым инструментом, особенно сверлами, стойкость резания ограничивается вследствие значительных затруднений с отводом стружки и охлаждением инструмента. На практике использование сверла до полного износа нередко невозможно, так как инструмент, в первую очередь малого диаметра, выходит из строя (выкрашивается или даже разрушается) под влиянием перегрузки или вибраций.

На многоцелевом станке смена инструментов осуществляется по следующим причинам: 1) технологическая смена после выполнения инструментом своей технологической задачи; 2) смена по отказу после выхода инструмента из строя в процессе обработки через случайный период времени безотказной работы; 3) плановая смена через заранее установленный промежуток времени.

Технологическая и плановая смены режущего инструмента осуществляются на многоцелевых станках в течение 5 – 12 секунд.

Время смены по отказу $T_{СЛ}$ является случайной величиной и определяется по формуле

$$T_{СЛ} = T_{П} + T_{ОБН} + T_{Д} + T_{В} \ ,$$

где $T_{П}$ – время плановой смены инструмента, мин; $T_{ОБН}$ – время на обнаружение отказа, мин; $T_{Д}$ – время на доставку инструмента-дублера в позицию смены инструмента, мин; $T_{В}$ – время на восстановление работоспособности станка (снятие с рабочего стола заготовки с обломками инструмента, замена сломанной оснастки и т.д.).

Режущие инструменты, входящие в комплект, технологически необходимый для выполнения заданной обработки детали, структурно связаны между собой, поэтому оптимальные режимы резания следует определять с учетом взаимного влияния инструментов на длительность рабочего цикла, то есть режимы резания нельзя рассчитывать как при одноинструментальной обработке, несмотря на то, что в зоне резания обычно находится только один режущий инструмент.

Выбор оптимальных режимов резания целесообразно осуществлять в два этапа: вначале используя детерминированную схему расчета на основе нормативных и опытно-статистических данных определить область существования оптимального решения, а затем уточнить результаты расчета с использованием вероятностной модели.

В качестве критерия оптимальности, позволяющего комплексно учесть все факторы, влияющие на производительность обработки, используем нормативную интенсивность формообразования W_H, мм/мин [1]. Интенсивность формообразования – это фиктивная скорость рассредоточенного технологического воздействия на объекты обработки, осуществляемого кинематически или структурно связанными инструментами технологической системы, определенная с учетом влияния технологических, конструктивных и эксплуатационных факторов.

$$W_H = W_T \cdot K_H \rightarrow \max,$$

где W_T – технологическая интенсивность формообразования, мм/мин;

$$W_T = \sum_{i=1}^{N_П} n_i \cdot So_i \cdot K_H,$$

где n_i, So_i – параметры режима резания для i-го технологического перехода; $N_П$ – число технологических переходов, необходимых для обработки детали, шт.

Технологическая интенсивность формообразования комплектом режущих инструментов, необходимых для обработки детали, характеризует фиктивную производительность станка без учета затрат времени на неформообразующие движения и действия.

K_H – коэффициент нормативной интенсивности формообразования.

$$K_H = \sum_{i=1}^{N_П} T_{Oi} \Bigg/ \left(1{,}08 \left(\sum_{i=1}^{N_П} T_{Oi} + \sum_{i=1}^{N_П} T_{БПi} + \sum_{j=1}^{N_K} T_{СТj} + \sum_{j=1}^{N_K} \frac{T_{СМj}}{T_j} \cdot \sum_{i=1}^{N_П} T_{Oi} + T_{СЗ} \right) + T_{ПЗ} / N_Д \right),$$

где T_{Oi}– основное (технологическое) время выполнения i-го перехода, мин; $T_{БПi}$ – время быстрых перемещений детали или инструмента, связанных с выполнением i-го перехода, мин; $T_{СТj}$ – время смены j-го инструмента после выполнения технологической задачи, мин; $T_{СМj}$ – случайное время смены j-го инструмента, мин; T_j – расчетный период стойкости j-го инструмента, мин; N_K – количество инструментов в технологически необходимом для обработки детали комплекте, шт; $T_{СЗ}$ – время смены заготовки, мин; $N_Д$ – величина производственной партии изделий, шт.

Коэффициент нормативной интенсивности формообразования определяется с учетом затрат времени на быстрые перемещения детали или инструмента, смену инструмента, установку и снятие детали, внецикловые затраты времени на технологическое и организационное обслуживание рабочего места, на отдых и личные надобности, а также подготовительно-заключительного времени.

Используя в качестве критерия оптимальности показатель нормативной интенсивности формообразования нами решалась задача выбора наивыгоднейших режимов резания отвечающих максимальной производительности обработки. Расчеты режимов резания следует производить используя стойкостную зависимость Тейлора, принятую в общемашиностроительных нормативах [2], так как скорость резания находится в зоне, где стойкостная зависимость хорошо апроксимируется прямой линией. При сверлении заготовок с различным сочетанием обрабатываемых материалов и материалов режущих частей инструментов, было исследовано влияние различных параметров на оптимальную стойкость комплекта инструментов. Установлено, что оптимальная стойкость инструмента в значительной степени зависит от числа режущих инструментов в комплекте и времени смены одного инструмента. На рис. 1 показаны графики зависи-

мости оптимальной стойкости инструментов от времени смены одного инструмента и числа инструментов в комплекте. Анализ влияния времени смены одного инструмента на оптимальную стойкость комплекта показал, что с увеличением времени смены T_{CM} от 0,2 до 0,8 мин, значение $T_{ОПТ}$ повышается в 4 раза, что существенно снижает интенсивность формообразования.

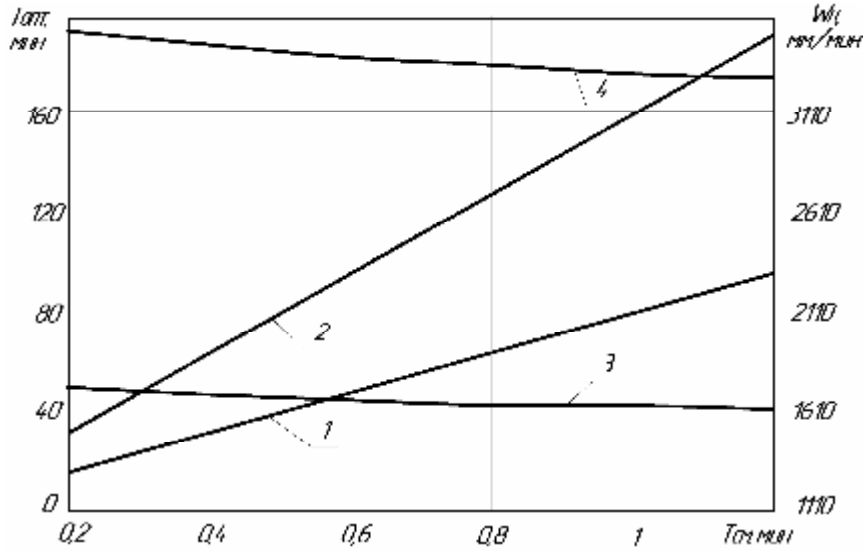


Рис. 1. Графики зависимости оптимальной стойкости инструментов и нормативной интенсивности формообразования от времени смены одного инструмента и числа инструментов в комплекте при обработке чугуна СЧ 20 сверлами ВК8: 1 – $T_{ОПТ}$, N_K=20; 2 – $T_{ОПТ}$, N_K=40; 3 – W_H, N_K=20; 4 – W_H, N_K=40

Так как период стойкости T режущего инструмента и длительность единичного простоя станка из-за внезапного отказа инструмента являются случайными величинами с соответствующими законами распределения, очевидно, что показатели эффективности процесса обработки, полученные в результате детерминированных расчетов, будут менее достоверными, чем определенные в результате вероятностного моделирования. При расчетах надежности работы инструмента и времени его безотказной работы на практике используют закон распределения случайных величин Вейбулла [3]. В результате моделирования работы комплекта инструментов состоящего из 20 сверл получены зависимости числа инструментов в комплекте заменяемых планово $N_{КПЛ}$, с временем замены $T_{ПЛ}$ и по отказу $N_{КОТ}$, с временем замены $T_{ОТ}$ от параметра b – определяющего форму кривой распределения и характеризующего надежность режущего инструмента.

В результате вероятностного моделирования, работы комплекта сверл выполняющих сверление отверстий диаметром 8 мм с различным сочетанием обрабатываемых материалов и материалов инструментов было рассчитано оптимальную стойкость соответствующую максимальной интенсивности формообразования. На рис. 2 показаны графики зависимости оптимальной стойкости и нормативной интенсивности формообразования от параметра b.

Режущие инструменты, обладающие низкой надежностью, требуют для достижения максимальной интенсивности формообразования увеличения стойкости. С увели-

чением надежности режущего инструмента оптимальная стойкость, обеспечивающая максимальную интенсивность формообразования, снижается, а скорость резания увеличивается, обеспечивая увеличение интенсивности формообразования. Вместе с тем снижаются затраты времени на замену инструментов, что также приводит к росту интенсивности формообразования. При нормальном законе распределения зависимость надежности инструмента на оптимальную стойкость и интенсивность формообразования практически исчезает в связи с тем, что инструменты стойкость которых подчиняется нормальному закону распределения имеют высокую надежность и заменяются планово с минимальными затратами времени.

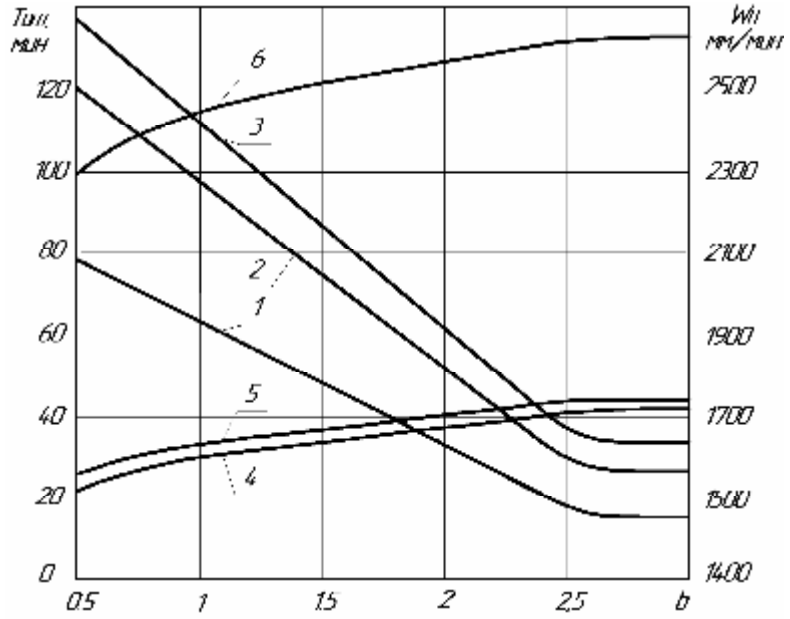


Рис. 2. Зависимость оптимальной стойкости $T_{ОПТ}$ комплекта инструментов и нормативной интенсивности формообразования W_H от параметра b: 1 - $T_{ОПТ}$, серый чугун (СЧ), ВК8; 2 - $T_{ОПТ}$, сталь конструкционная (СК), Р6М5; 3 - $T_{ОПТ}$, алюминий (АЛ), Р6М5; 4 - W_H, СЧ, ВК8; 5 - W_H, СК, Р6М5; 6 - W_H, АЛ, Р6М5

Вывод. Предложенная методика позволяет рассчитывать режимы обработки, в зависимости от числа режущих инструментов в комплекте, времени смены одного инструмента с учетом влияния вероятностного характера стойкости, конструктивно-технологических особенностей обрабатываемых деталей, обеспечивая высокопроизводительную обработку и реализацию потенциальных возможностей современных многоцелевых станков.

Список литературы: 1. Карпусь В. Е. Интенсивность формообразования технологических систем // Вестник машиностроения. - 2000. - №2. - С. 30-34. **2.** Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания. – М.: Экономика, 1990. - 471 с. **3.** Груничев А. С., Михайлов А. И., Шор Я. Б. Таблицы для расчетов надежности при распределении Вейбулла. – М.: Издательство стандартов, - 1974. 64 с.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Кашицин Л.П., Сосновский И.А., Худолей А.Л., Клименко С.Е.
(ИМИНМАШ, г.Минск, Республика Беларусь)

Technology and equipment for the centrifugal coating deposition with using two-step induction heating are developed.

Одним из наиболее производительных методов нанесения порошковых покрытий являются процессы центробежного индукционного припекания и наплавки. Среди разнообразия схем осуществления этого метода в последнее время все более широкое применение находят способы, основанные на использовании комбинированного индукционного нагрева. В этой связи рассмотрим подробнее технологические особенности реализации на практике подобных процессов.

Для нанесения покрытий с использованием внутреннего нагрева можно использовать шпиндельное устройство [1, 2] с упругим винтовым поджимом с наладкой, показанной на рис.1.

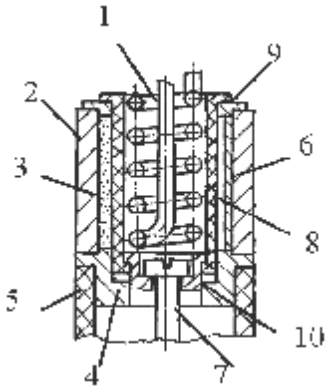


Рис. 1. Наладка для внутреннего нагрева, предназначенная для работы со шпинделем, оснащенным упругим поджимом: 1 – индуктор; 2 - заготовка; 3 – порошковая засыпка; 4 – оправка с центральным стержнем; 5 – керамическая труба шпинделя; 6 – покрытие; 7 – винт; 8 - керамическая втулка; 9 – шайба; 10 – колпачок

В наладке в качестве формующего стержня используется керамическая втулка, которой обеспечивается нагрев размещенного в зазоре закрытой формы порошка, в том числе и из ферромагнитных материалов.

Однако, внутренний нагрев в закрытой форме, выполненный по изображенной схеме, весьма непроизводителен, так как эффективный зазор между индуктором и ферромагнитной деталью увеличивается не только на толщину порошковой засыпки слоя, но и на толщину формующей керамической трубки. Поэтому, чтобы максимально приблизить поверхность индуктора к поверхности нагреваемой основы и порошка и повысить к.п.д. нагрева, внутренний нагрев при вертикальном формовании целесообразно осуществлять в открытых формах, исключающих необходимость присутствия формующих элементов в момент нагрева. Наиболее подходящим в этом смысле для вертикального исполнения технологии центробежного индукционного нанесения покрытий является применение удаляемого формующего элемента перед осуществлением операции нагрева (рис.2). Удаляемый элемент должен сначала обеспечить возможность засыпки порошка в зазор и тем самым равномерно распределить его по внутренней поверхности заготовки в статическом состоянии шпиндельного устройства и только затем, придав форме вращение, для того, чтобы уберечь сформованный слой от разруше-

ния, его можно извлекать из вращающейся с формой детали. Для установок и шпиндельных устройств простейшего исполнения (см. схему I рис.2 и рис.3) оно может быть выполнено в виде отдельного от шпиндельного устройства вспомогательного стержня (рис.4 а, б, в) и в виде специальных (см. схему II рис.2) встроенных в шпиндель стержней, установленных с возможностью вертикальных перемещений.

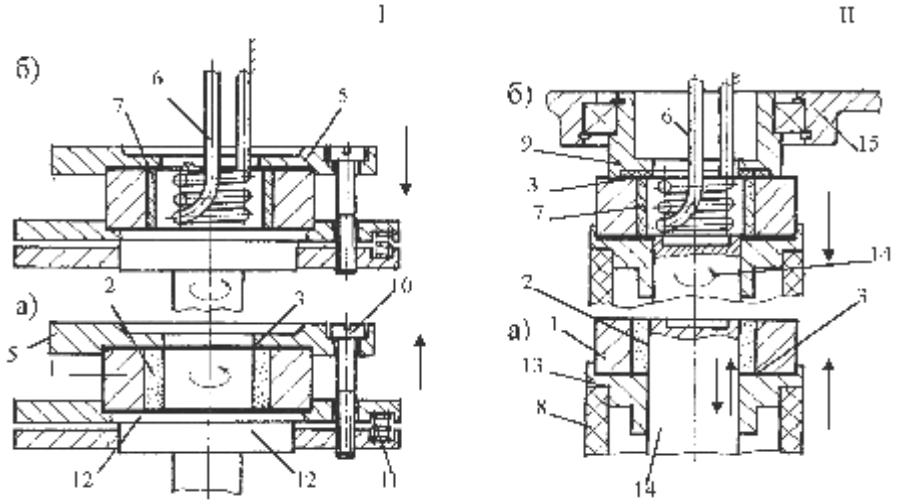


Рис. 2. Принципиальные схемы исполнения устройств с вертикальным расположением оси вращения, обеспечением внутреннего нагрева, с использованием обычной открытой формы (I) и открытой формы с удаляемым стержнем (II) (исходная (а) и конечная (б) позиции (H, Q) - кинематика движений; 1 – заготовка; 2 - порошковая засыпка; 3 – прокладка; 4 - центрирующая оправка с формующим стержнем; 5 – крышка; 6 – индуктор; 7 – покрытие; 8 – шпиндель; 9 - вращаемый упор; 10 - винт крепления заготовки; 11 - упругий элемент; 12 - шпиндель; 13 - полая центрирующая оправка; 14 - перемещаемый формующий стержень; 15 - корпус вращаемого упора

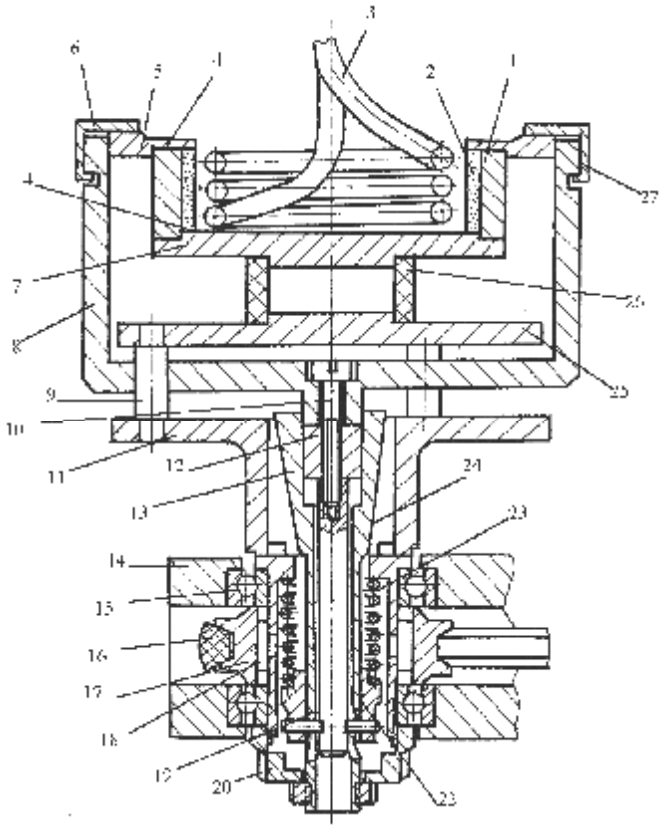


Рис. 3. Шпиндельное устройство для осуществления центробежного индукционного нанесения порошковых покрытий с внутренним нагревом и вертикальным расположением оси вращения: 1 – деталь; 2 – порошок; 3 – индуктор; 4 – прокладки; 5, 6, 8, 10, 12, 19, 22, 23 - детали упругого поджима; 14 – корпус; 7, 9, 11, 13, 15, 20, 21, 24, 25, 26, 27 - детали узла вращения; 16, 17, 18 - детали привода

Формование порошковых слоев с использованием извлекаемого стержня во время вращения представлен на рис.3.

Аналогичный способ формования реализуется в специальных устройствах по нанесению покрытий, в которых формующий стержень встраивается в шпиндель (см. схему II рис.2 а,б). Обычно в установках этого типа предусматривается позиция (см. схему II рис.2) засыпки порошка между заготовкой 1 и выдвинутым стержнем 14 в статическом состоянии шпинделя, промежуточная позиция (на схеме II рис.2 не показана) поджима детали 1 к полому корпусу вращаемого упора 9, на которой также обеспечивается вращение и удаление формующего стержня 14 из внутренней полости детали 1 для размещения в освободившемся внутреннем объеме индуктора, а также (см. схему II рис.2 б) - позиция нагрева, на которой индуктор 6 для внутреннего нагрева вводится через полый корпус вращаемого упора 15 при вертикальном перемещении с предыдущей позиции.

Подробное описание конструкции устройства для формования покрытий засыпкой порошка в зазор со встроенным и удаляемым во время вращения стержнем, выполненным по схеме II рис.2 а,б, дано в работе [3]. Конструктивная схема установки приведена на рис.4а, а ее общий вид – на рис.4б.

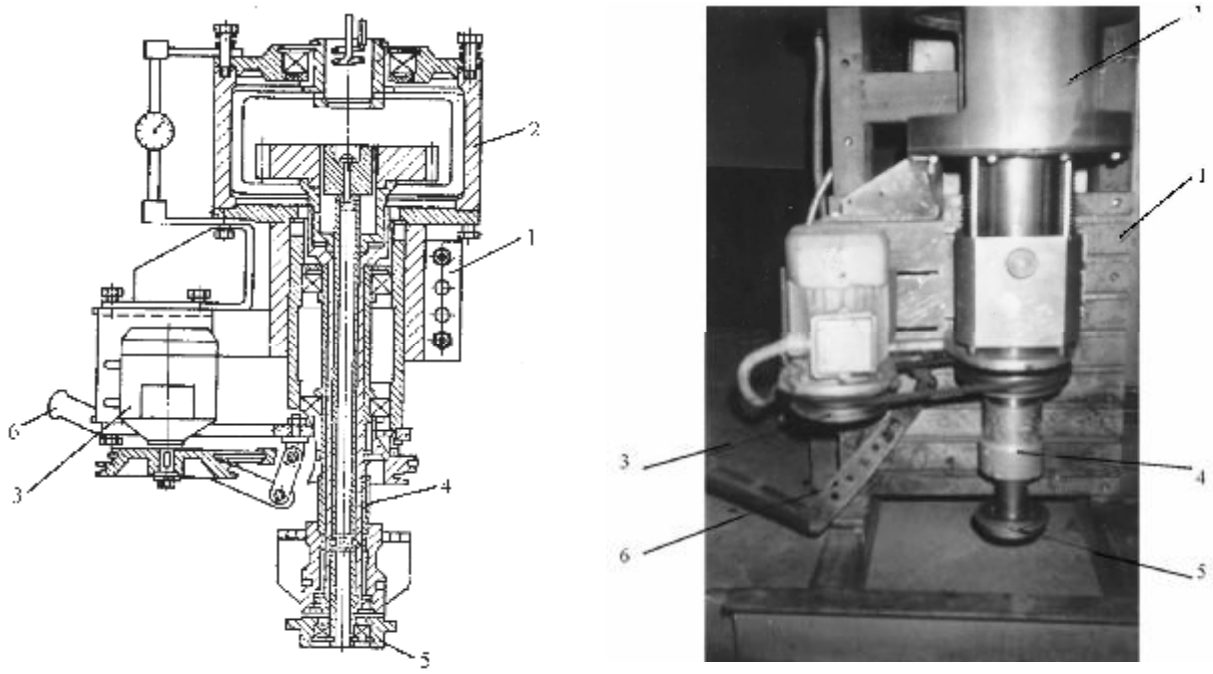
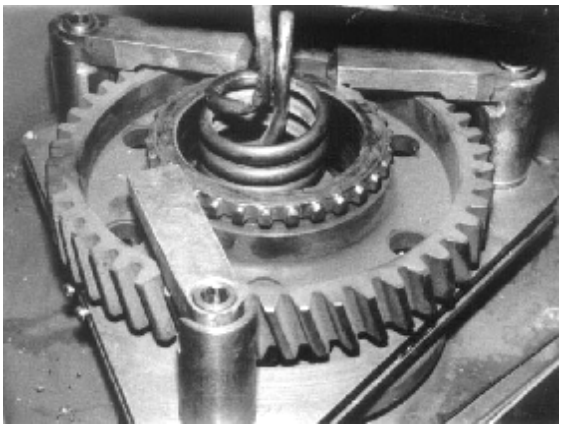


Рис. 4. Конструктивная схема и общий вид, изготовленной в металле установки для внутреннего нагрева с используемым внутренним подогревом, встроенным и удаляемым при вращении формующим стержнем: 1 – станина; 2 - корпус шпиндельного устройства; 3 - привод вращения шпинделя; 4 - винтовой привод перемещения штока стержня; 5 - шток стержня; 6 - рычаг привода вертикального перемещения шпинделя

Установка этого типа оказалась полезной при нанесении покрытий на внутренних поверхностях изношенных деталей, в которых в целях сохранения работоспособности наружных поверхностей (рис.5) требовалось применение только внутреннего нагрева [4, 5, 6].

Схема реализации типового технологического процесса нанесения покрытий с внутренним нагревом на установке вертикального типа со встроенным и удаляемым из внутренней полости заготовки формующего стержня для размещения в ней индуктора показана на рис.6-8.



а

б

Рис.5. Шестерня 2-й передачи вторичного вала коробки передач ЯМЗ №236-1701127 автомобиля КаМАЗ, нуждающаяся в восстановлении только внутренней поверхности: а) момент восстановления; б) после восстановления

Основной недостаток приведенного технологического процесса состоит в том, что в данном исполнении процесса затрудняется, а иногда и вовсе исключается возможность нанесения ферромагнитных порошков и содержащих их в качестве основных компонентов шихтовых композиций из-за намагничивания и налипания их на индуктор. В результате для нанесения покрытий внутренним нагревом в открытых формах не используются самые дешевые и не менее износостойкие, чем хромоникелевые сплавы, самофлюсующие порошки на железной основе и шихтовые смеси на их основе.

Для устранения указанного недостатка предложены новые схемы формования покрытий с использованием внутреннего нагрева и порошковых сплавов на железной основе.

Одна из схем приведена на рис.7. Она предлагается для восстановления внутренних поверхностей отверстий ступиц зубчатого колеса (рис.5). На Минском авторемонтном заводе и других предприятиях, ремонтирующих коробки передач автомобилей семейства МАЗ, имеются шестерни (в основном промежуточные), в которых зубчатый профиль практически не изнашивается, а в восстановлении нуждается только поверхность отверстия ступицы. Применяемый в настоящее время метод восстановления внутренних поверхностей электродуговой наплавкой является весьма трудоемким процессом и требует замены на более производительный с использованием индукционного нагрева и нанесением покрытий одновременно на всю внутреннюю поверхность. Из экономических соображений целесообразно было наносить дешевые материалы на железной основе. Индукционный наружный нагрев в данном случае исключается, так как при применении его нарушились бы свойства ранее обработанной наружной поверхности зубчатого профиля. Внутренний нагрев обеспечивает поверхностный нагрев с минимальной зоной термического влияния на глубинные объемы и в данном случае наиболее предпочтителен. Однако, чтобы осуществить технологию нанесения ферромагнитных материалов потребовался предварительный подогрев слоя до температуры потери его магнитных свойств. Необходимая для этого температура нагрева заготовки $T_н$ рассчитывается по формуле [3]:

$$T_н \geq K\left[\frac{m_п \cdot C_п(T_к - T_0)}{m_д C_д} + T_к\right], \qquad (1)$$

где $T_к$ – температура Кюри порошкового материала; $T_о$ – начальная температура порошкового материала; $m_п$ и $m_д$ – соответственно, массы порошковой засыпки и детали; $C_п$ и $C_д$ – соответственно, удельная теплоемкость материала порошка и детали; К=1,1 …1,2 – коэффициент, учитывающий потери тепла в окружающую среду.

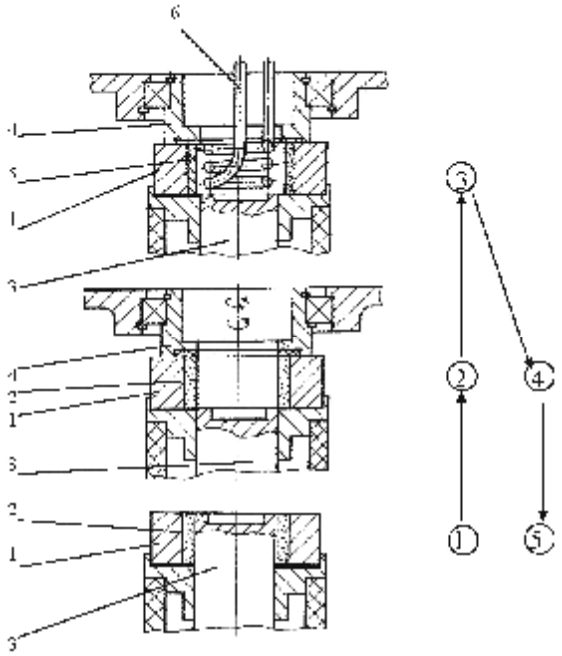


Рис. 6. Схема реализации типового технологического процесса нанесения покрытий с внутренним нагревом на установке вертикального типа со встроенным и удаляемым из внутренней полости заготовки формующим стержнем для размещения в ней индуктора
Технологические переходы: ТП1 – размещение на исходной позиции детали 1 и засыпка порошка 2 в зазор, образованный стержнем 3. ТП2 – перевод (") детали с порошком 2 и стержнем 3 на промежуточную позицию крепления, обеспечивающей е поджим к упору 4, включение вращения (Q) и удаление стержня из внутренней полости детали 1. ТП3 – перевод (") закрепленной и вращаемой детали 1 с удерживаемым на внутренней поверхности порошком 2 и освобожденным от стержня 3 объемом на позиции нагрева, при котором обеспечивается размещение индуктора 6 в рабочей зоне, включение нагрева, выдержка под нагревом, получение нанесенного слоя 5 и отключение нагрева индуктора в рабочей зоне. ТП4 – возвращение (!) вращаемой детали 1 на промежуточную позицию, выдержка без нагрева для охлаждения, отключение вращения (Q). ТП5 – возвращение (!) детали 1 с нанесенным слоем 5 при одновременном раскреплении на исходную позицию и ее съем
1 – деталь; 2 – порошковая засыпка; 3 – формующий стержень; 4 – поджимной вращающийся упор; 5 – порошковое покрытие; 6 – индуктор ТВЧ

Приведем технологические переходы (ТП) осуществляемого процесса нанесения покрытий (см.рис.7): ТП1 - размещение на исходной позиции детали 1 и засыпки флюсовой присадки 2 в зазор, образованный стержнем 3. ТП2 - перевод (→) детали 1 с флюсовой присадкой 2 и стержнем 3 на промежуточную позицию крепления, обеспечивающей ее поджим к упору 4, включение вращения (Q) и удаление стержня из внутренней полости детали 1. ТП3 - перевод (→) закрепленной и вращаемой детали 1 с удерживаемой на внутренней поверхности флюсовой присадкой 2 и с освобожденным от стержня 3 объемом на позицию нагрева, при котором обеспечивается ввод индуктора 6 в рабочую зону, включение нагрева, выдержка под нагревом для расплавления и растекания флюса, достижения на внутренней поверхности заданной расчетной температуры, способной за счет теплопередачи нагревать порошковую массу сплава, разме-

щаемую в объеме зазора, до температуры точки Кюри, отключение нагрева. ТП4 - возвращение (→) офлюсованной детали 1 на промежуточную позицию, отключение вращения (Q). ТП5 - возвращение (→) офлюсованной детали 1 при одновременном ее раскреплении на исходную позицию. ТП6 - засыпка порошкового сплава в зазор, образованный, формующим стержнем 3 и нагретой деталью 1. ТП7 - повторение технологического перехода 2 с засыпанным и нагретым до температуры точки Кюри порошком 6 для закрепления включения вращения и удаления стержня 3. ТП8 - повторение технологического перехода 3 для обеспечения вторичного нагрева заготовки 1, слоя 6 и нанесения порошкового покрытия 7 из сплава. ТП9 - повторение технологического перехода 4 для отключения вращения (Q), раскрепления и возвращения (→) детали с покрытием 7 на исходную позицию. ТП10 - съем готовой детали 1 с покрытием 7.

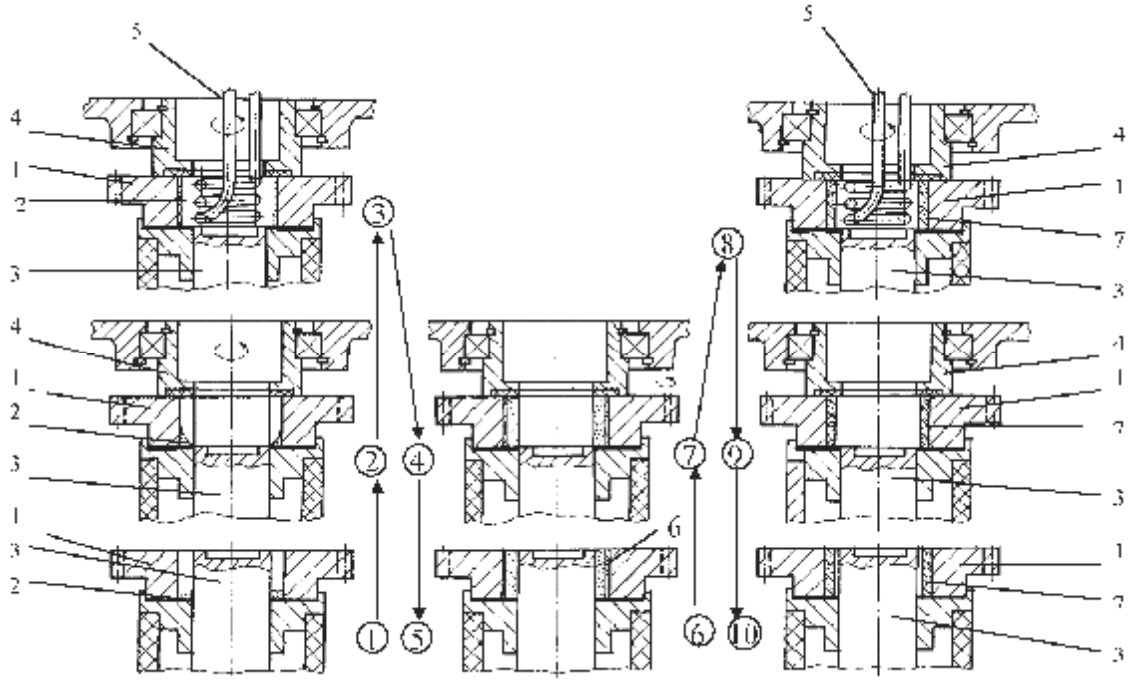


Рис. 7. Схема восстановления внутренней поверхности ступицы зубчатого колеса нанесением слоя из ферромагнитного порошкового сплава на установке вертикального типа со встроенным и удаляемым из внутренней полости формообразующим стержнем для размещения индуктора и обеспечения внутреннего нагрева: 1 – деталь; 2 - флюсовая присадка; 3 - формующий стержень; 4 - поджимной вращающийся упор; 5 - индуктор ТВЧ; 6 - засыпка порошкового сплава или порошковой композиции; 7 - порошковый слой, формуемый вращением и нагревом

Схема формования с предварительным подогревом внутренним или наружным индуктором приведены на рис.8. Как видим, использование одного и того же индуктора на операции предварительного нагрева заготовки и операции окончательного формования подогретого порошкового слоя не всегда целесообразно, так как в отсутствии порошкового слоя зазор может быть достаточно велик и вследствие этого эффективность нагрева не в состоянии обеспечивать требуемую производительность или темп выпуска заготовок. Поэтому для осуществления каждой из указанных операций необходимо свой индуктор. Если имеется возможность, то для выполнения операции предварительного нагрева заготовки лучше применять индуктор наружного нагрева. Реализация тех-

нологии в данном случае выполняется на установках [7], оснащенных двухсекционным индуктором. Каждая секция индуктора подключена к ТВЧ и переключается в зависимости от занимаемого положения детали.

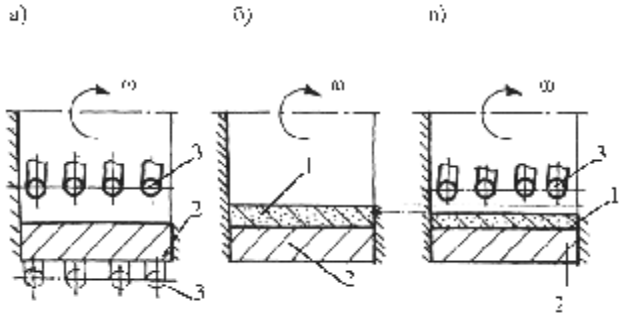


Рис. 8. Схема формования с предварительным подогревом внутренним или наружным индуктором: а) предварительный нагрев заготовки внутренним или наружным источником тепла 3; б) предварительное формование порошкового слоя 1 с одновременным его подогревом от заготовки 2; в) окончательное формование подогретого порошкового слоя 1 нагревом от внутреннего индуктора 3

Для реализации технологии нанесения покрытий из ферромагнитных материалов на внутренние поверхности толстостенных цилиндрических заготовок используют комбинированный нагрев наружным и внутренним индуктором [7], что существенно упрощает цикл процесса представленного на рис.7, в результате чего достигается и обеспечивается требуемая температура спекания для более тугоплавких ферромагнитных материалов.

Таким образом, разработанные технологические схемы, устройства и оснастка для осуществления процессов центробежного нанесения покрытий с использованием комбинированного индукционного нагрева позволяют получать качественные покрытия с высокими физико-механическими свойствами на внутренних поверхностях деталей.

Список литературы: 1. Дорожкин Н.Н., Кашицин Л.П., Зуев И.М. // Весці АН БССР. Сер. физ.-техн. н.- 1972. - № 3.- С. 99-103. 2. Дорожкин Н.Н., Завистовский С.Э., Кашицин Л.П., Ярошевич В.К. Методические рекомендации по получению покрытий виброударным припеканием // ИНДМАШ АНБ. - Минск, 1984. - 53 с. 3. Пат. 1713743 СССР / Н.Н.Дорожкин, Л.П.Кашицин, И.А.Сосновский и др.- № 4690639/02; Заявл. 15.05.89 // Открытия. Изобретения. - 1992 - № 7. - С. 42. 4. Кашицин Л.П., Сосновский И.А., Худолей А.Л. // Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин: Сб. науч. тр. – Новополоцк, 1999. – С.157-159. 5. Кашицин Л.П., Сосновский И.А./ Тез. докл. междунар. научн.-техн. конф. – Могилев. – 1998. – С.36. 6. Кашицин Л.П., Сосновский И.А., Жорник А.И., Кихтенко С.Н./ Материалы, технологии, инструмент. II конф. «Номатех-96». – Беларусь. – Минск, 1988. – С.150. 7. А.с. 1719161 СССР / Н.Н.Дорожкин, Л.П.Кашицин, И.А.Сосновский и др. (СССР) - № 4782587; Заявл. 21.11.89 // Открытия. Изобретения.- 1992.-№ 12.- С.60.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ОПОРЫ КАРДАННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Кипнис М.Е., Костюкович Г.А., Дудко В.Т., Овчинников Е.В.
(ОАО «Белкард», г.Гродно, Беларусь)

The design of an intermediate bearing part of a drive line which has allowed to result in essential drop of dynamic loads in the universal-shaft drive on resonant frequencies is developed. Especially evidently the effect was showed on frequency 400 rev/min, thus the amplitude of a twisting moment in the drive gear with a skilled intermediate bearing part was less in 2 - 2,5 times. Except for that insignificant drop of dynamic loads has been marked and on the rotary speeds which are not triggering a resonance.

Универсально-пропашные тракторы "Беларус" широко известны не только в республике Беларусь, но и далеко за ее пределами. Данные машины, зарекомендовали себя надежной техникой, пользуются спросом в странах бывшего Советского Союза и дальнего зарубежья.

Однако, к сожалению, у всех машин, даже самых известных фирм по производству автотракторной техники, есть так называемые слабые места. У тракторов "Беларус" серий 500, 800, 900 семейства МТЗ-52/82 к таким узлам относится промежуточная опора карданной передачи привода переднего ведущего моста (ПВМ) (рис.1.)

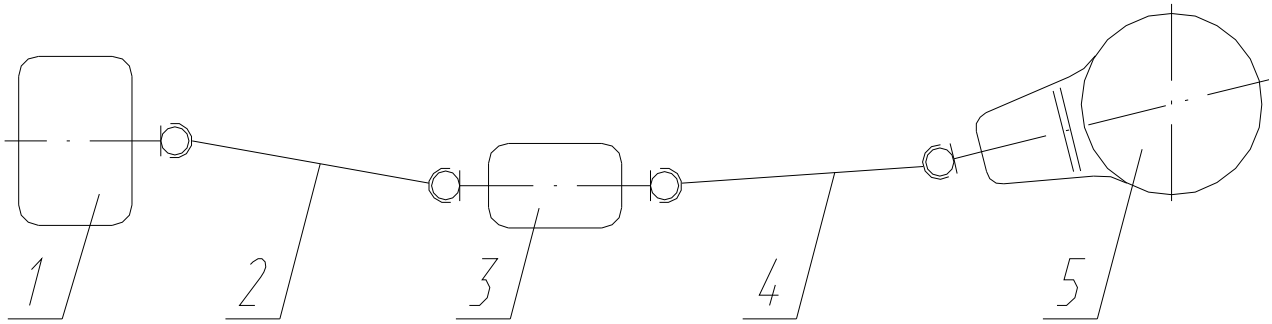


Рис.1 Схема карданной передачи тракторов МТЗ-52/82
1 – раздаточная коробка; 2 – карданный вал задний; 3 – промежуточная опора;
4 – карданный вал передний; 5 – ПВМ

Отказы по промопоре серьезны, поскольку, как правило, могут привести к выходу из строя не только карданных валов, но, зачастую, и деталей ПВМ, и корпуса муфты сцепления (МС), и поддона картера двигателя. ПВМ доставляет достаточно много хлопот как в процессе эксплуатации тракторов потребителем, так и в процессе производства. Для решения данной проблемы было затрачено немало усилий, работы продолжаются и в настоящее время [1-5].

Основные направления конструкторско-технологических мероприятий, проведенных на РУП "Минский тракторный завод" и его филиале – Бобруйском заводе тракторных деталей и агрегатов, по повышению надежности промопоры заключались в следующем: усиление корпуса с изменением его крепления; подбор материалов для пар трения и тарельчатых пружин; оптимизация уплотнительных элементов; совершенствование конструкции деталей с введением их дополнительного упрочнения и т.п. Все это в определенной мере положительно сказалось на надежности ПВМ и работоспособности карданной передачи в целом.

Целью данной работы является разработка конструкции промежуточной опоры с демпфирующей муфтой.

На рисунке 2 приведена конструкция серийной промопоры для тракторов МТЗ-52/82. Данная промопора введена в карданную передачу не из соображений обеспечения условий работы по критической частоте вращения, подобно автомобильным, а лишь из-за сложности компоновочных решений привода ПВМ. Прежде всего, от привычных всем "подвесных подшипников", она отличается наличием встроенной предохранительной муфты.

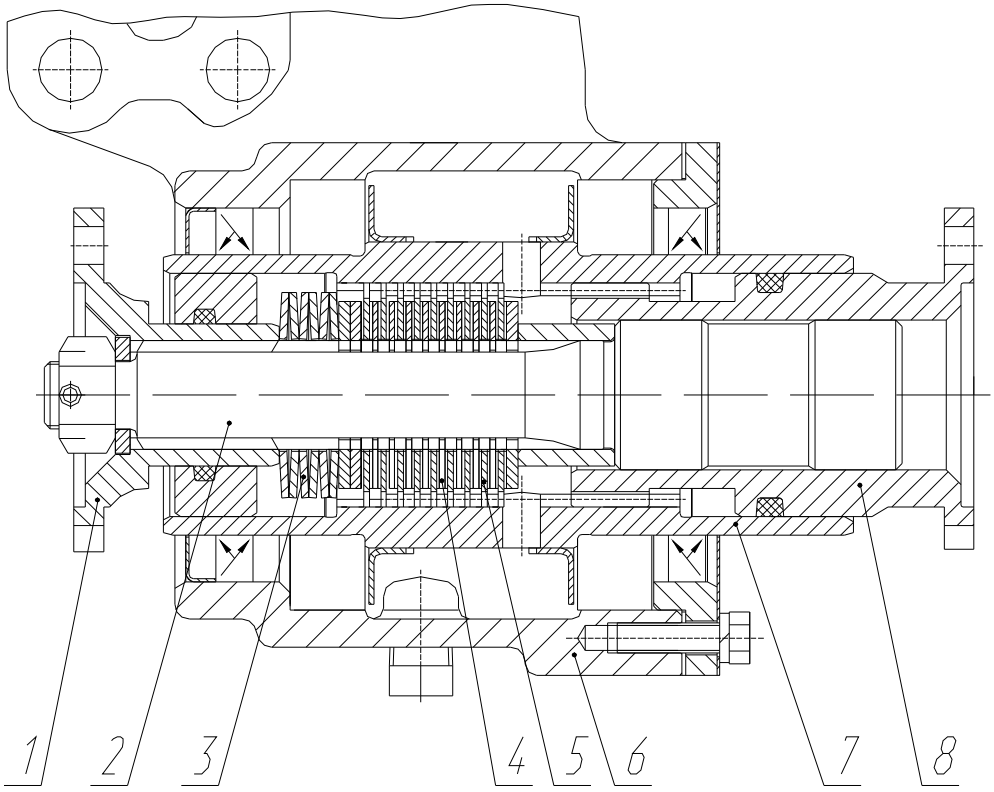


Рис.2 Серийная промежуточная опора карданной передачи тракторов МТЗ-52/82

1 – ведущий фланец; 2 – вал; 3 – тарельчатые пружины; 4 – ведущие диски; 5 – ведомые диски; 6 – корпус; 7 – втулка; 8 – ведомый фланец.

Многодисковая фрикционная муфта, состоящая из пакета ведущих поз.4 и ведомых поз.5 элементов, призвана обеспечивать снижение пиковых нагрузок в силовом контуре привода ПВМ, защищая от перегрузок его детали и карданную передачу. Однако, при этом фланцы поз.1,8 промопоры проворачиваются и оси шарниров заднего и переднего карданного вала занимают произвольное положение по взаимному углу разворота. При их неблагоприятном угловом расположении увеличивается неравномерность работы карданной передачи, ухудшается ее динамика, как следствие возрастают нагрузки на подшипниковые узлы, снижается долговечность привода. Кроме этого негативного момента наличие фрикционных пар трения обуславливает необходимость применения жидкой смазки, что влечет за собой сложность обеспечения герметичности узла. Объективным недостатком конструкции является и то, что, ограничивая нагрузку, предохранительная муфта не может обеспечить передачу крутящего момента при воз-

никновении экстренных ситуаций и требует регулировок при техническом обслуживании трактора.

На рис. 3 представлена конструкция промежуточной опоры со встроенной демпферной муфтой.

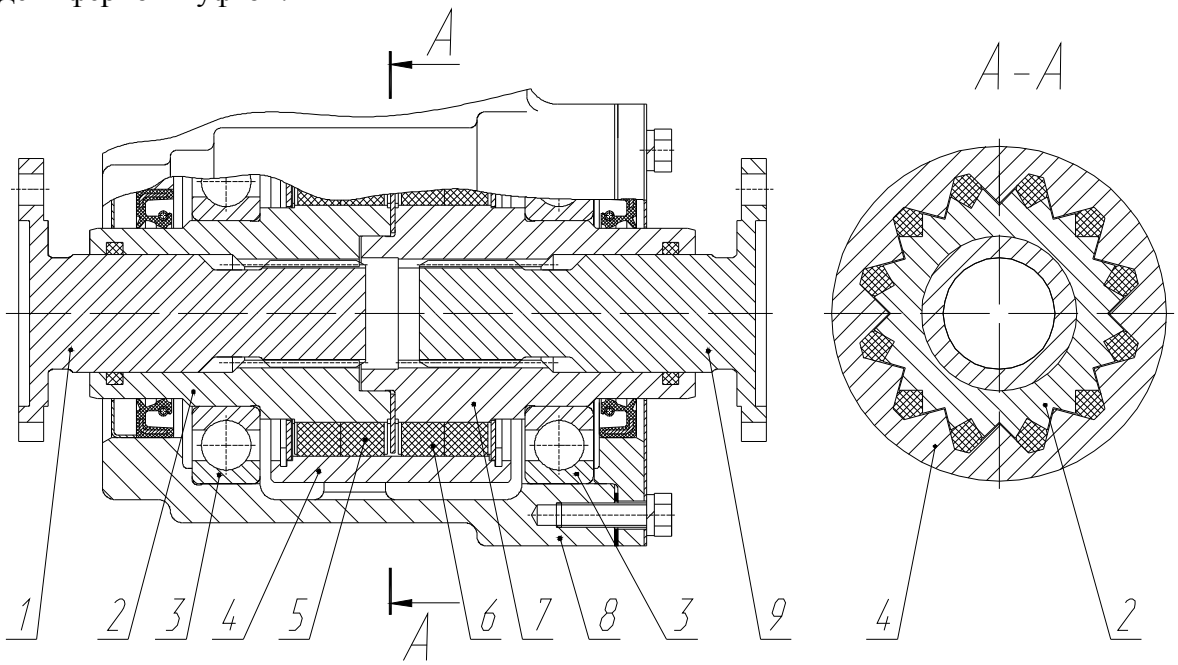


Рис.3. Промежуточная опора с демпферной муфтой (переходной вариант)
1 – ведущий фланец; 2 – ведущая полумуфта; 3 – подшипники; 4 – соединительная втулка; 5, 6 – демпферные элементы; 7 – ведомая полумуфта; 8 – корпус; 9 – ведомый фланец

Первоначально в качестве демпферных элементов были применены серийные, заимствованные из конструкции гасителя крутильных колебаний ведомого диска МС, а опытные образцы были изготовлены с максимальным использованием серийных деталей, что обусловило применение переходных втулок и проставок.

Муфта выполнялась в виде шлицевых соединений ведущей полумуфты с соединительной втулкой через демпферы и соединительной втулки с ведомой полумуфтой через демпферы. Эта конструкция должна была решить ряд задач:

-- снижение пиковых нагрузок в силовом контуре карданной передачи и в механизме привода ПВМ. При этом демпферным элементам дополнительно отводится роль гасителей крутильных колебаний, а два ряда элементов позволяет улучшить демпфирующие свойства муфты;

-- получить оптимальный с точки зрения равномерности работы передачи фиксированный угол разворота осей шарниров карданных валов за счет выбранного расположения осей шлицевых соединений;

-- исключить явление "закрутки" трансмиссии при остановке трактора, благодаря наличию демпферных элементов;

-- применить консистентную смазку взамен жидкой и достичь повышения герметичности узла;

-- упростить техническое обслуживание в эксплуатации;

-- обеспечить постоянное сохранение работоспособности в части передачи крутящего момента, в том числе при возникновении экстренных ситуаций.

С целью определения влияния демпферной муфты на изменение динамических нагрузок в карданной передаче в сравнении с серийной фрикционной муфтой опытные образцы были испытаны на стендовом оборудовании лаборатории конструкторско-исследовательского бюро шасси ГСКБ МТЗ (рис.4).

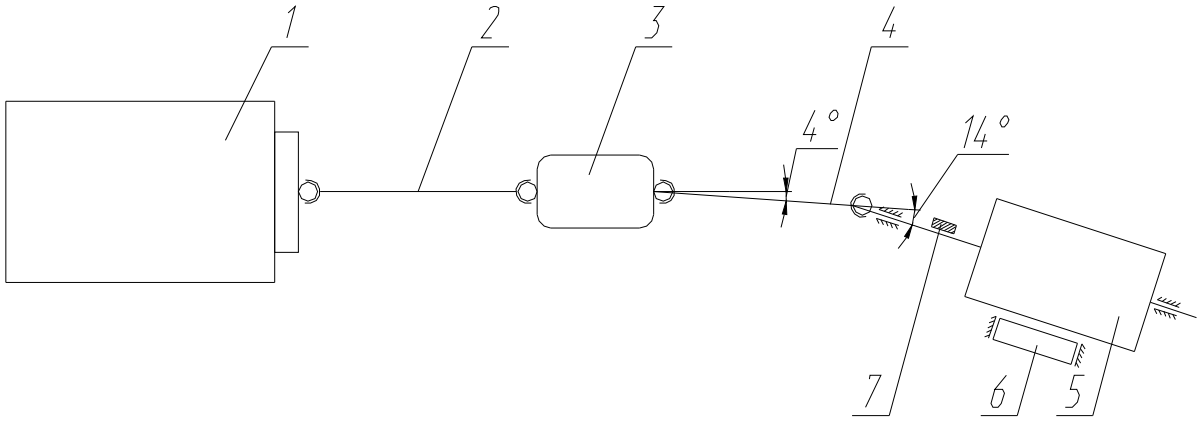


Рис. 4. Схема стенда для параметрических испытаний промопоры
1 – балансирная машина; 2,4 – карданные валы; 3 – испытуемая промопора; 5 – инерционная масса; 6 – нагружающее устройство; 7 – тензодатчики

В качестве привода использовались балансирная машина IДS 932 поз. 1, в качестве нагружателя – инерционные массы с моментом инерции 8 кг·м^2 поз. 5 с нагружающим устройством поз. 6.

На стенд поочередно устанавливались серийная и опытная промопора.

Испытания проводились на следующих частотных режимах:

- 200±5 об/мин;
- 500±5 об/мин;
- 1000±5 об/мин.

Постоянная составляющая тормозного момента в приводе изменялась в пределах от 0 до 200±5 Н·м с интервалом 50±5 Н·м, регистрация велась по весовому механизму балансирной машины.

Показания по величине крутящего момента, возникающего на валу инерционных масс, записывались на ленту при помощи тензодатчиков поз. 7, токосъемного устройства SK -5/40 и комплекта тензометрической аппаратуры, состоящей из светолучевого осциллографа 121.S-1 и усилителя KWS523A.

Осциллограммы изменения крутящего момента в приводе на различных режимах нагружения приведены на рис.5, а результаты их обработки в таблице 1.

Исходя из результатов стендовых испытаний видно, что первые опытные образцы промопор с демпферными муфтами не привели к снижению динамических нагрузок в сравнении с серийной промопорой с фрикционной муфтой при наличии момента сопротивления на ведомом валу. Снижение динамических нагрузок было отмечено лишь при отсутствии тормозного момента на валу инерционных масс.

Анализ полученных результатов позволил предположить, что эффект по снижению динамических нагрузок при установке в карданную передачу промопоры с демпферной муфтой проявился лишь при отсутствии момента сопротивления по следующим причинам:

- малые зазоры между ведущими и ведомыми элементами демпферной муфты;

- неправильно выбранная схема расположения и форма демпферов.

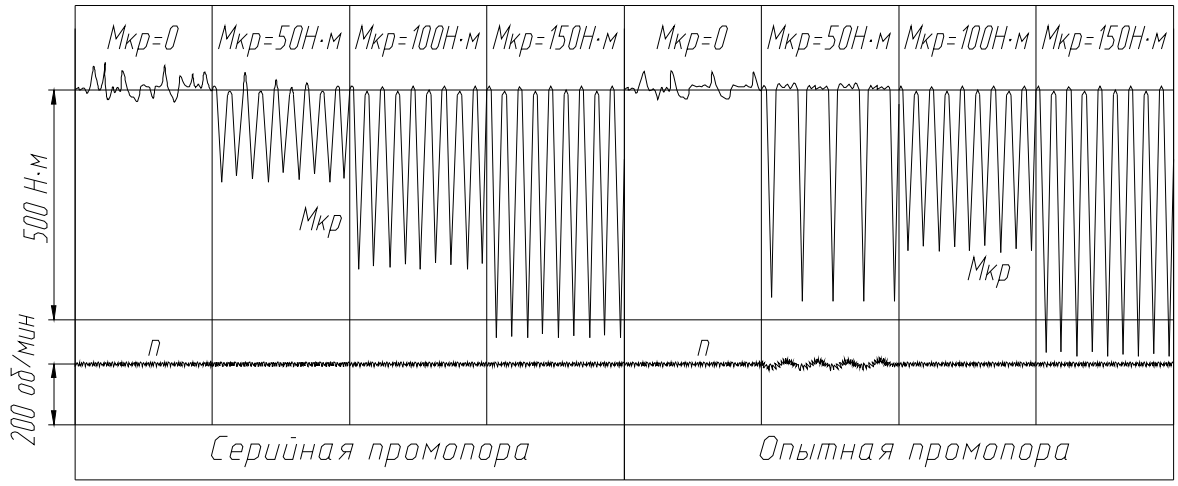


Рис. 5. Осциллограммы изменения крутящего момента в приводе с серийной и опытной промопорой

Таблица 1. Результаты обработки осциллограмм

№ п.п.	Частота вращения, об/мин	Постоянная составляющая тормозного момента, Н·м	Колебания Мкр, Н·м			
			Mmax		Mmin	
			Серийная промопора	Опытная промопора	Серийная промопора	Опытная промопора
1	200±5	0	50…60	-30…20	-50…-60	-30…-40
		50±5	190…200	440…460	-40…-50	-20…-30
		100±5	380…390	340…350	-10…-20	0…-10
		150±5	530…540	570…580	-20…-30	-10…-20
2	500±5	0	40…50	0…10	-40…-50	-10…-20
		100±5	290…300	270…280	-10…-20	0…10
		200±5	400…410	430…440	50…60	50…60
3	1000±5	0	40…50	10…20	-40…-50	-10…-20
		100±5	240…250	250…270	0…-10	0…10
		200±5	370…380	350…370	70…80	70…80

Конструкция ПВМ с демпфирующей муфтой была доработана с учетом указанных выше замечаний. Усовершенствованный вариант промежуточной опоры с демпферной муфтой представлен на рис. 6.

В этой конструкции увеличены зазоры между шлицами ведущей и ведомой частей, изменена форма демпферов и, соответственно схема их расположения. Ведущая полумуфта поз.2 через демпферные элементы поз.5 связана с соединительной втулкой поз.4. Демпферные элементы поз.5 выполнены в виде одного или нескольких вкладышей, расположенных в ряд и установленных с натягом так, что они охватывают с двух сторон шлиц соединительной втулки поз.4, через один, находящийся между двумя шлицами полумуфт поз.2 и поз.7. Следующий шлиц соединительной втулки поз.4 находится во впадине между шлицами полумуфт поз.2 и поз.7 без демпфирующих эле-

ментов с зазорами, на величину которых происходит демпфирование. Ведущая и ведомая полумуфта в сборе с демпферами и соединительной втулкой образуют подузел, который установлен на подшипниках поз.3 в корпусе поз.8.

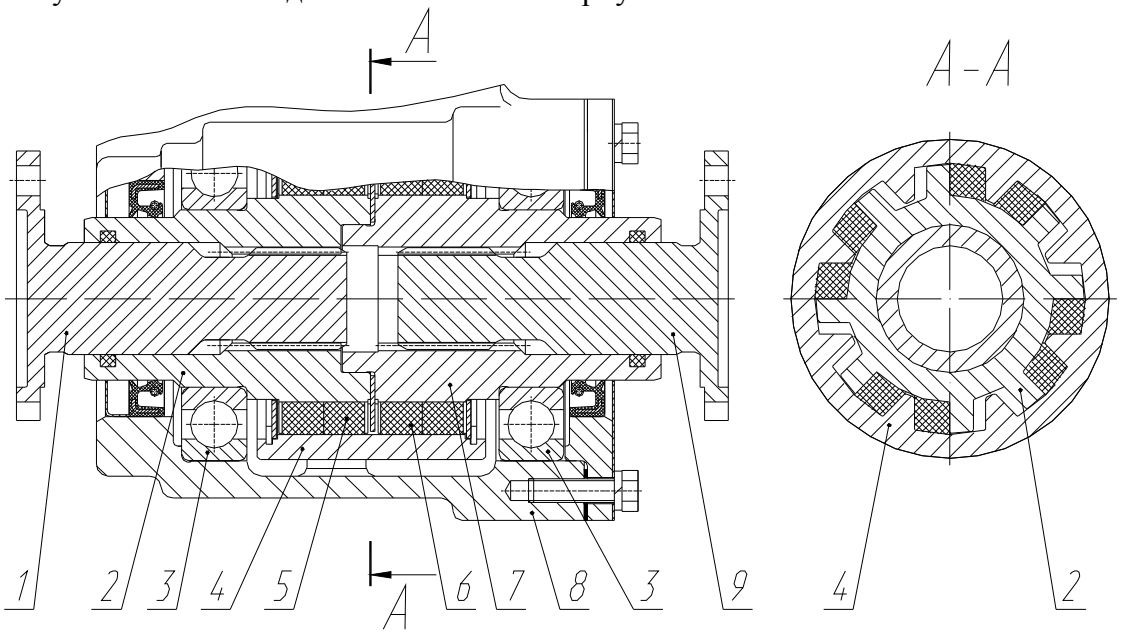


Рис. 6. Усовершенствованная промежуточная опора с демпферной муфтой. 1 – фланец; 2 – ведущая полумуфта; 3 – подшипники; 4 – соединительная втулка; 5, 6 – демпферные элементы; 7 – ведомая полумуфта; 8 – корпус; 9 – фланец ведомый

При этом крутящий момент передается через фланец поз.1 на ведущую полумуфту поз.2, затем на соединительную втулку поз.4 и ведомую полумуфту поз.7 с ведомым фланцем поз.9.

Повторные стендовые испытания этих образцов, были проведены по методике, описанной выше с дополнительным исследованием динамических нагрузок на резонансных частотах с постоянными составляющими тормозного момента 0; 50±5; 100±5; 150±5; 200±5 Н·м.

Исследования показали, что первый диапазон резонансных частот в приводе на стенде существовал в интервале от 200 до 500 об/мин, второй на частоте свыше 3000 об/мин. Измерения величины изменения крутящего момента были произведены в интервале 200….500 об/мин. (рис.7, и таблица 2).

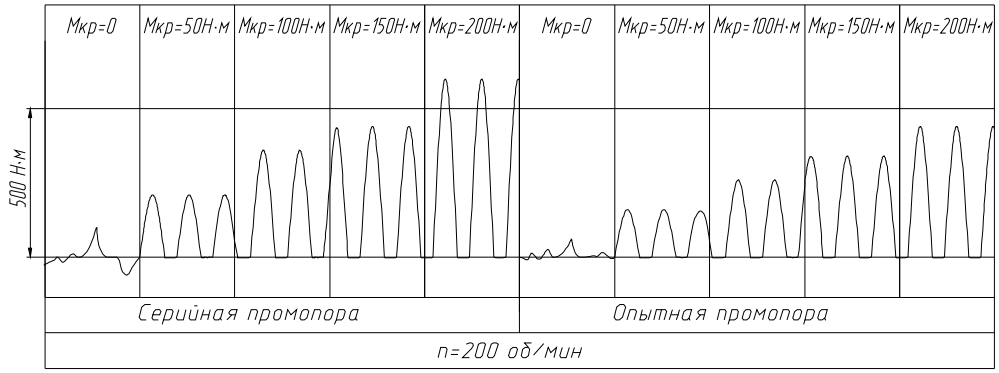


Рис. 7. Осциллограммы изменения крутящего момента серийной и усовершенствованной промопор

Исходя из результатов испытаний, доработанная конструкция позволила привести к существенному снижению динамических нагрузок в карданном приводе на резонансных частотах.

Таблица 2. Сводная таблица результатов обработки осциллограмм в приводе с серийной и усовершенствованной промопорой

№ п.п.	Частота вращения, об/мин	Постоянная составляющая тормозного момента, Н·м	Колебания Мкр, Н·м			
			Mmax		Mmin	
			Серийная промопора	Опытная промопора	Серийная промопора	Опытная промопора
1	200±5	0	90…100	50…60	-50…-60	0…-10
		50±5	200…210	150…160	0	0…10
		100±5	350…360	250…260	-10…0	10…20
		150±5	430…440	330…340	-10…0	40…50
		200±5	590…600	430…440	0	50…60
2	300±5	0	100…120	40…50	-70…-80	0
		100±5	250…260	220…230	0…10	10…20
		200±5	360…370	310…330	80…90	130…140
3	400±5	0	30…40	30…40	0	0
		100±5	400…410	170…180	0…10	30…40
		200±5	650…660	300…310	0…10	100…110
4	1000±5	0	20…30	30…40	0…-10	-10…-20
		100±5	170…180	160…170	20…30	30…40
		200±5	300…310	290…300	140…150	140…150

Особенно наглядно эффект проявился на частоте 400 об/мин, при этом амплитуда крутящего момента в приводе с опытной промопорой была меньше в 2…2,5 раза. Кроме того незначительное снижение динамических нагрузок было отмечено и на частотах вращения, не вызывающих резонанс.

Список литературы: 1. Проектирование универсальных шарниров и ведущих валов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 464 с. **2.** Малоховский Я.Э., Лапин А.А., Веденеев Н.К. Карданные передачи. – М.: Машгиз, 1962. – 156 с. **3.** Карданные передачи грузовых автомобилей. Проблемы и решения /Иванов С.Н., Козадаев А.И., Поворов Б.Е., Сокруто И.В.//Автомобильная промышленность. – 1992. - №11. – С.131 – 138. **4.** Иванов С.Н., Савельев В.А., Кочешков Н.П. Карданные передачи трансмиссий. Перспективы проблемы. //Автомобильная промышленность. – 1988. – «12. – С.115-119. **5.** Иванов С.И. Трансмиссионные валы нового поколения. //Автомобильная промышленность. – 1998. - №11. – С.23-27.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗАГОТОВКИ, ФОРМИРУЕМОГО ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

Киселев Е.С., Ковальногов В.Н. *(УлГТУ, г. Ульяновск, Россия)*

Features of technological formation of quality of surface layers of details of machines in heat-stressed processes of machining are analyzed. On the basis of this analysis in structure of a surface layer characteristic sublayers are revealed. It is established, that management of thickness of these sublayers is a reserve of high-efficiency technological maintenance of quality of machine details.

В настоящее время общепризнанной является точка зрения о существенном влиянии на надежность и ресурс машин состояния поверхностных слоев их деталей. Накоплен обширный экспериментальный материал и сделаны серьезные научные обобщения, связывающие эксплуатационные свойства деталей с параметрами состояния поверхностного слоя, сформированного в технологическом процессе изготовления детали [1, 2]. Эти наработки составляют надежную основу для рационального определения значений параметров состояния поверхностного слоя, отвечающих функциональному назначению конкретной детали.

Вместе с тем, условия выполнения механической обработки заготовок часто выбирают без учета требуемого состояния поверхностного слоя детали, исходя лишь из требуемой точности обработки и шероховатости поверхности, несмотря на то, что такой выбор в современных экономических условиях обусловливает утрату продукцией конкурентных преимуществ [3]. Причина сложившейся ситуации заключается в слабости соответствующего научного обеспечения, в частности, в отсутствии надежных и точных методов расчета целого ряда важнейших показателей качества поверхностного слоя деталей машин, формируемых в процессе механической обработки (прежде всего, распределения технологических остаточных напряжений, глубины и характера структурно-фазовых изменений и др.), с учетом эксплуатационных требований.

Анализ современных тенденций технического прогресса в машиностроении, связанных с переходом на высокопроизводительное резание со сверхвысокими скоростями, переориентацией на ограниченное применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), увеличением доли труднообрабатываемых конструкционных материалов со специальными свойствами и др., свидетельствует о возрастании доли технологических операций механической обработки, выполняемых в условиях интенсивного тепломассопереноса. Влияние теплового фактора в этом случае становится критическим, поскольку интенсивное теплообразование в зоне обработки не компенсируется адекватным теплоотводом из нее и избыточный тепловой поток, концентрируясь в поверхностных слоях заготовки и инструмента, негативно воздействует на их физико-механическое состояние. Именно на таких операциях научная проблема надежного и высокопроизводительного технологического обеспечения заданного качества поверхностного слоя изделий приобретает особую остроту.

Эволюцию подходов к исследованию и технологическому обеспечению качества поверхностного слоя деталей машин при высокопроизводительной механической обработке в условиях интенсивного тепломассопереноса иллюстрирует схема на рис. 1. Традиционный, и хронологически самый ранний, подход (см. путь 1-4 на рис. 1) заключается в экспериментальном установлении связи технологических факторов с эксплуатационными характеристиками детали. При своей методологической простоте подход

имеет главным недостатком то, что выявленные закономерности не являются справедливыми для иных условий обработки, поэтому переход к новому изделию или технологии влечет необходимость повторения трудоемких исследований.

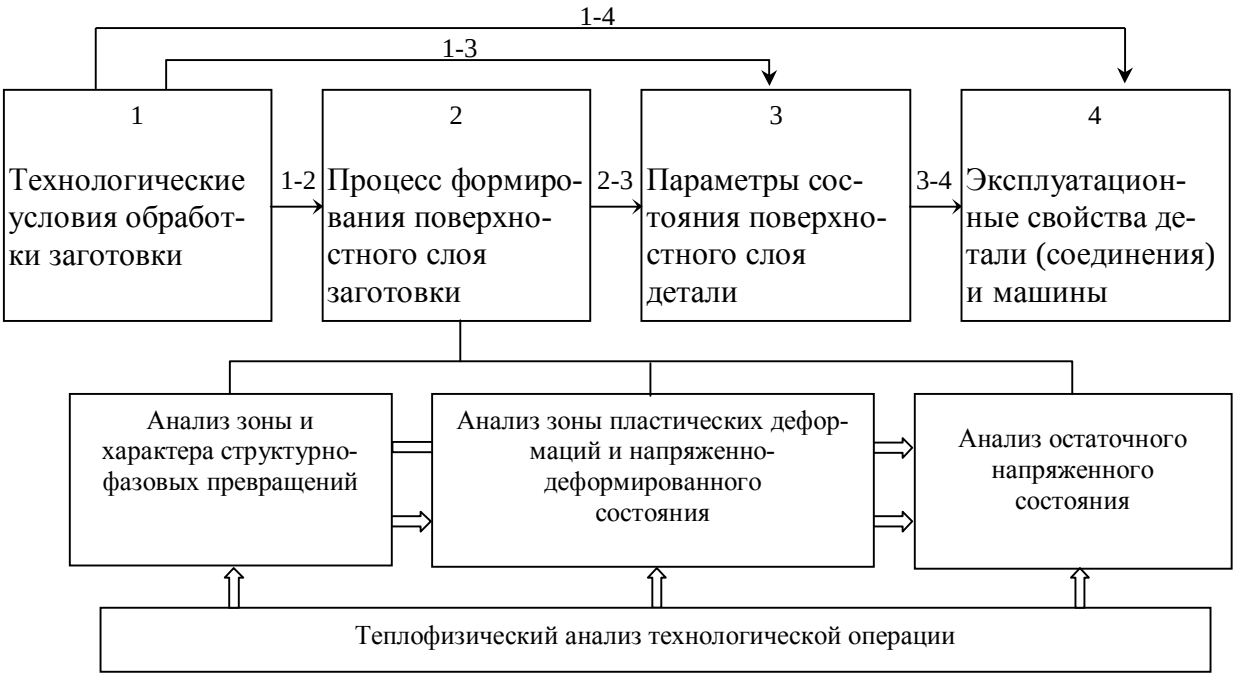


Рис. 1. Схема подходов к исследованию и высокопроизводительному технологическому обеспечению качества поверхностного слоя деталей машин и круг задач, требующих решения при научно обоснованном проектировании технологических операций, выполняемых в условиях интенсивного тепломассопереноса

Более рациональным является двухстадийный подход, при котором на первой стадии (путь 1-3) устанавливается связь технологических условий обработки заготовки с параметрами поверхностного слоя, а на второй (путь 3-4) – связь этих параметров с эксплуатационными характеристиками деталей. Существенное достоинство такого подхода заключается в том, что при изменении технологических условий обработки, повторяют лишь исследования первой стадии, результаты же второй стадии исследований, консервативные к изменениям технологии, целесообразно накапливать и уточнять в виде соответствующей базы знаний. Как отмечалось выше, накопленный к настоящему времени материал достаточен для установления количественных связей параметров состояния поверхностных слоев с основными эксплуатационными свойствами деталей и соединений. Вместе с тем, как и в первом случае, основу подхода составляет эмпирическое решение задачи, а следовательно, он трудоемок и недостаточно точен.

Очевидно, более точными и объективными являются подходы, основанные не на внешних связях параметров состояния поверхностного слоя детали с технологическими условиями ее обработки, а на внутренних закономерностях процесса формирования поверхностного слоя (подход 1-2, 2-3, 3-4). Хронологически этот подход соответствует современному этапу развития исследований в области технологического обеспечения

качества деталей машин и ориентирован на переход от эмпирического к полуэмпирическому и аналитическому методам исследования. Реализация этого подхода требует широкого использования современной вычислительной техники, что, в свою очередь, позволит, с одной стороны, заменить трудоемкий натурный эксперимент моделированием и автоматизированным проектированием операций механической обработки деталей машин с оптимизацией параметров их поверхностных слоев, а с другой стороны – эффективно накапливать и обрабатывать в базах знаний информацию, консервативную к изменениям технологии.

Обобщая результаты исследований формирования свойств теплонагруженных поверхностных слоев в процессах механической обработки [4 – 6], в качестве физической модели поверхностного слоя целесообразно принять структуру (рис. 2), состоящую из следующих характерных субслоев: субслой *I* ($y < 0$), удаляемый вместе с операционным припуском в процессе обработки; субслой *II* ($0 \le y \le h_{II}$), свойства которого формируются как результат совокупного воздействия трех факторов – структурно-фазовых превращений, термопластических деформаций и пластических деформаций под действием силы резания; субслой *III* ($h_{II} < y \le h_{II} + h_{III}$), формирующийся в результате одновременного воздействия двух из трех перечисленных факторов (как правило, пластических деформаций под действием силы резания и температуры); субслой *IV* ($h_{пс} - h_{IV} < y \le h_{пс}$), формирующийся в результате пластических деформаций под действием только силы резания или температуры; наконец, ниже субслоя *IV* ($y > h_{пс}$) расположен слой основы *V*, испытывающий лишь упругую деформацию, не изменяющую его физико-механических свойств.

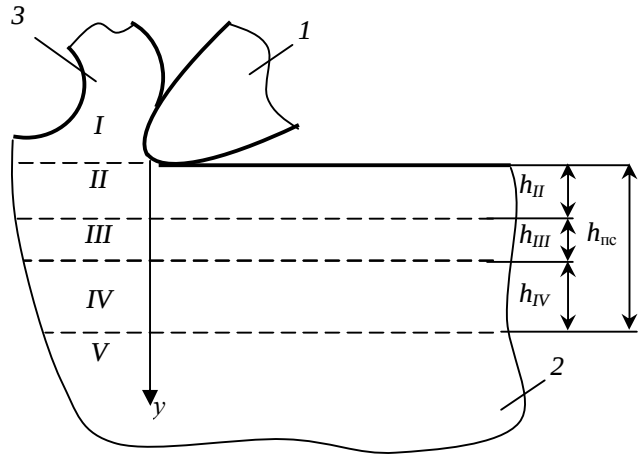


Рис. 2. Физическая модель поверхностного слоя заготовки, формирующегося при механической обработке: *1* – инструмент; *2* – заготовка; *3* – стружка; *I, II, III, IV, V* – характерные субслои

Естественно, отдельные из указанных субслоев в конкретных технологических условиях механической обработки могут быть вырожденными (иметь нулевую толщину) и должны исключаться из анализа. Так, при поверхностном пластическом деформировании отсутствует срезаемый субслой *I*, а при обработке, исключающей структурно-фазовые превращения вырождается субслой *II*. В ряде случаев поверхностный слой по всей глубине $h_{пс}$ подвергается одновременному воздействию силы резания и температуры, при этом вырожденными оказываются субслои *II* и *IV*.

Толщины характерных субслоев формально могут быть выражены следующими зависимостями:

$$h_{II} = \min_{y}\{h_T, h_P, h_\phi\};$$

$$h_{III} = \min_{y>0}\{h_T - h_{II}, h_P - h_{II}, h_\phi - h_{II}\};$$

$$h_{\text{пс}} = \max_{y}\{h_T, h_P, h_\phi\};$$

$$h_{IV} = h_{\text{пс}} - h_{III},$$

где h_T – глубина распространения термопластических деформаций, определяемая положением критической изотермы $T_{\text{кр}} = s_T/(aE)$, м; a – температурный коэффициент материала заготовки $К^{-1}$; E – модуль упругости материала заготовки, Па; h_P – глубина распространения пластических деформаций под действием силы резания, определяемая критерием Губера-Мизеса и соответствующая равенству интенсивности напряжений s_i и предела текучести s_T материала заготовки, м; h_ϕ – глубина распространения структурно-фазовых изменений, для сталей определяемая положением изотермы A_1 начала эвтектоидного превращения, м.

Силовой и тепловой факторы влияют на поверхностный слой противоположно направленно [5, 6]. В результате действия силового фактора происходит деформационное упрочнение поверхностного слоя, сопровождающееся упругой и пластической деформациями, искажениями кристаллической решетки, увеличением количества дефектов кристаллической решетки, плотности дислокаций и накопленной поверхностным слоем энергии. При этом в поверхностном слое увеличиваются показатели сопротивления деформированию (микротвердость и пределы упругости, текучести, прочности), а запас пластичности уменьшается. В результате действия теплового фактора поверхностный слой разупрочняется, что сопровождается перемещением, перераспределением и аннигиляцией дислокаций и точечных дефектов кристаллической решетки. При этом уменьшаются показатели сопротивления поверхностного слоя деформированию, а запас пластичности увеличивается. Под действием структурно-фазовых изменений возможно как упрочнение, так и разупрочнение поверхностного слоя.

Учитывая изложенное, высокоточная локализация этих слоев, т.е. определение значений глубин субслоев h_{II}, h_{III} и $h_{\text{пс}}$ с учетом конкретных технологических условий, на основе соответствующего теплофизического анализа становится ключевым этапом проектирования операций механической обработки с позиции высокопроизводительного технологического обеспечения качества поверхностных слоев деталей. При этом, очевидно, решение этих задач будет тем более точным и ценным для практики, чем точнее будет выполнен сопутствующий теплофизический анализ.

Ранее установлено, что наибольшую точность обеспечивают методы теплофизического анализа контактных взаимодействий, которые основаны на совместном решении дифференциальных уравнений теплопроводности каждого из контактирующих объектов с общим граничным условием в зоне контакта [7]. Это позволяет исключить использование в расчетах данных о распределении тепловых потоков между объектами, которые носят эмпирический характер и различаются в разных источниках в несколько раз. Соответствующая этому методу математическая модель приведена в работе [8].

Одновременно управление толщинами характерных субслоев является резервом совершенствования операций механической обработки, выполняемых в условиях интенсивного тепломассопереноса, с позиции как увеличения их производительности, так

и повышения качества формируемых поверхностных слоев. Так, эффективный путь совершенствования таких технологических операций заключается в поддержании глубины $h_ф$ распространения структурно-фазовых изменений (и толщины h_{II}) таковыми, чтобы они не превышали остающейся части припуска, снимаемой на текущей и последующих операциях. Таким образом, рациональный высокопроизводительный рабочий цикл механической обработки целесообразно строить на основе уменьшения ее производительности по мере съема припуска таким образом, чтобы в течение всего рабочего цикла обработку выполнять на экстремально форсированном режиме, допускающем образование дефектов в поверхностном заготовки, однако глубина распространения этих дефектов не должна превышать остающейся части припуска. С другой стороны, возможность использования сопровождающих теплонапряженную обработку структурно-фазовых изменений, при которых реализуется поверхностная закалка, компенсирующая разупрочнение поверхностного слоя вследствие термопластических деформаций, также является перспективным элементом современных технологических операций, в частности, «упрочняющего шлифования» [4].

Другая перспективная возможность управления формированием поверхностных слоев, на наш взгляд, состоит в дозировании силового и теплового воздействий на поверхностный слой, что подтверждают приведенные ниже результаты экспериментальных исследований. На практике эта возможность может быть реализована путем комбинирования операций механической обработки, отличающихся интенсивным теплообразованием, с обработкой поверхностным пластическим деформированием.

На рис. 3 представлены некоторые результаты исследования микротвердости образцов, подвергнутых теплосиловым воздействиям различной интенсивности в процессе ультразвукового алмазного выглаживания. Образцы предварительно шлифовали в режиме, исключающем структурно-фазовые превращения ($h_{II} = h_ф = 0$). Варьирование интенсивностью силового воздействия обеспечивали за счет использования амплитудно-модулированных колебаний ультразвуковых колебаний алмазного выглаживателя с различной глубиной модуляции.

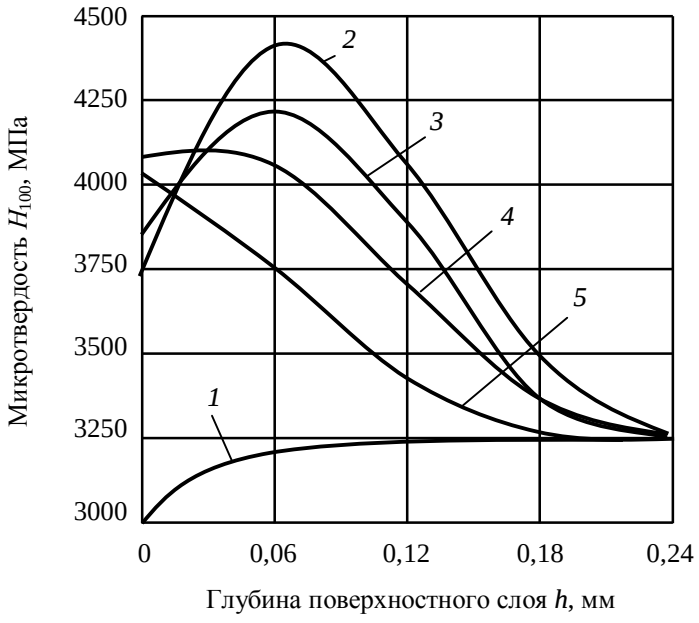


Рис. 3. Распределение микротвердости H_{100} по глубине h поверхностного слоя заготовок из стали 95Х18: *1* – исходное (после шлифования); *2*, *3*, *4*, *5* – после последующего ультразвукового алмазного выглаживания с постоянной силой P_y = 10 Н и P_z = 3,5;

Как видно из рис. 3, по сравнению с поверхностным слоем, образованным шлифованием (кривая *1*) все в выглаженных поверхностных слоях заготовки (кривые *2 – 5*) наблюдается увеличение микротвердости, свидетельствующее об их упрочнении, что, очевидно, обусловлено доминированием теплового фактора при шлифовании и силового – при алмазном выглаживании. Увеличение касательной составляющей силы выглаживания с 1,8 Н (кривая *5*) до 2,2 Н (кривая *4*) способствовало увеличению как глубины упрочненного слоя, так и величины микротвердости с 4020 до 4120 МПа. При дальнейшем увеличении касательной составляющей силы (а значит и мощности теплообразования) ультразвукового алмазного выглаживания с 2,2 Н (кривая *4*) до 3,5 Н (кривая *2*) максимум эпюры микротвердости смещается вглубь поверхностного слоя с 35 мкм до 65 мкм. При этом, несмотря на интенсификацию силового воздействия и увеличение максимального значения микротвердости с 4120 МПа (кривая *4*) до 4450 МПа (кривая *2*), приповерхностный слой разупрочняется, а микротвердость непосредственно на поверхности уменьшается с 4080 МПа (кривая *4*) до 3750 МПа (кривая *2*). Это свидетельствует о том, что в анализируемых условиях на глубине до 65 мкм силовое воздействие на поверхностный слой нейтрализуется тепловым.

Из анализа графиков на рис. 3 следует, что при выглаживании с P_z меньшей 2,2 Н толщины h_T и h_{III} практически равны нулю, субслой *III* вырожден, а поверхностный слой, по-существу, состоит из субслоя *IV*, в котором доминирует деформационное упрочнение. С увеличением P_z более 2,2 Н, в структуре поверхностного слоя проявляется субслой *III*, в котором одновременно действуют силовой и тепловой факторы. При этом толщина этого субслоя $h_{III} \approx 65$ мкм при $P_z = 3{,}0$ Н и $h_{III} \approx 80$ мкм при $P_z = 3{,}5$ Н. С позиции эксплуатационных свойств детали в данном случае появление субслоя *III*, сопровождающееся приповерхностным снижением микротвердости нежелательно, что, очевидно, следует учитывать при назначении режима ультразвукового алмазного выглаживания.

Эффективность комбинированной обработки в качестве барьера для технологического наследования растягивающих остаточных напряжений, возникающих в шлифованных поверхностных слоях, иллюстрирует рис. 4.

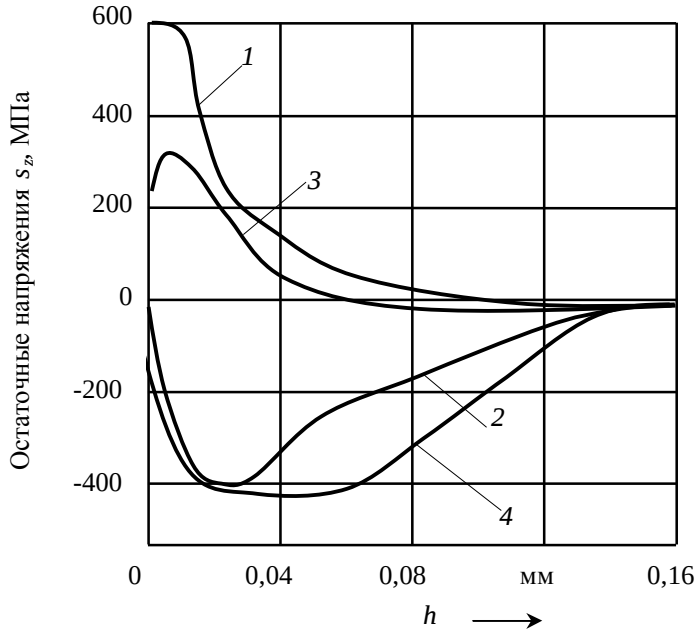


Рис. 4. Распределение технологических остаточных напряжений s_z по глубине h поверхностного слоя заготовок из 95Х18 при различных технологиях обработки: *1* – шлифование с подачей СОЖ поливом; *2* – то же с последующим алмазным выглаживанием с усилием прижима выглаживателя 20 Н; *3* – шлифование с применением ультразвуковой техники подачи СОЖ; *4* – то же с последующим алмазным выглаживанием с усилием прижима 18 Н

Как видно из рис. 4, при менее теплонапряженном режиме шлифования, обеспечиваемом применением ультразвуковой техники подачи СОЖ [9] (кривая *3*) по сравнению с подачей поливом (кривая *1*) в поверхностном слое заготовки формируются меньшие по величине почти вдвое растягивающие остаточные напряжения. Их максимальная величина составила 600 МПа при подаче СОЖ поливом и 320 МПа – при ультразвуковой подаче СОЖ. В результате при последующем алмазном выглаживании образцов, шлифованных с применением более совершенной техники подачи СОЖ, формирование благоприятных (с позиции эксплуатационных свойств детали) сжимающих остаточных напряжений обеспечивается даже при меньшем усилии прижима выглаживателя (кривая *4* по сравнению с кривой *2*), а значит при меньших энергозатратах и меньшем расходе дорогостоящего алмазного инструмента. Так, достаточно близкие по величине максимальные сжимающие напряжения в –400 МПа удалось создать при усилии прижима выглаживателя 18 Н для образцов, шлифованных с ультразвуковой подачей СОЖ, и 20 Н – для образцов, шлифованных с подачей СОЖ поливом. При этом значение сжимающих остаточных напряжений на поверхности образцов составило соответственно –180 и –20 МПа. Приповерхностное (на глубине до 20 мкм) уменьшение величины сжимающих остаточных напряжений, более интенсивное при большем усилии прижима выглаживателя (см. кривые *2* и *4*), по-видимому, обусловлено интенсификацией теплового воздействия на поверхностный слой.

Таким образом, выявление рациональных комбинаций и режимов каждого из воздействий при комбинированной обработке, которое возможно только на основе теплофизического анализа с учетом конкретных технологических условий, позволит направленно формировать заданное качество поверхностных слоев деталей машин.

Список литературы: 1. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с. **2.** Сулима, А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с. **3.** Суслов, А.Г. Инженерия поверхностей деталей – резерв в повышении конкурентоспособности машин // Инженерия поверхности. Приложение № 4 к журналу: Справочник. Инженерный журнал. – М.: Машиностроение, 2001. – № 4. – С. 3 – 9. **4.** Jacobus, K. Machining-induced residual stress: experimentation and modeling // K. Jacobus, R.E. De Vor, S.G. Kapoor // Trans. of the ASME. Journal of Manufacturing Science and Engineering. 2000. – Vol. 122. – No. 1. – P. 20 – 31. **5.** Безъязычный, В.Ф. Управление процессом обработки для обеспечения качества поверхностного слоя // Инженерия поверхности. Приложение № 9 к журналу: Справочник. Инженерный журнал. – М.: Машиностроение, 2002. – № 9. – С. 14 – 16. **6.** Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В 10 т. – Т. 6 «Качество обработки деталей машин». – Одесса: ОНПУ, 2003. – 716 с. **7.** Киселев, Е.С. Теплофизический анализ концентрированных операций шлифования / Е.С. Киселев, В.Н. Ковальногов. – Ульяновск: Ульян. гос. техн. ун-т, 2002, – 140 с. **8.** Киселев, Е.С. Теплофизический анализ операций механической обработки, выполняемых в условиях стесненного тепломассопереноса / Е.С. Киселев, В.Н. Ковальногов // Сборник трудов XI МНТК «Машиностроение и техносфера XXI века». – Донецк: ДНТУ. – Т. 2. – 2004. – С. 72 – 76. **9.** Киселев, Е.С. Эффективность ультразвуковых устройств для подачи СОЖ при шлифовании заготовок и правке абразивных кругов / Е.С. Киселев, А.Н. Унянин // СТИН. – 1995. – № 2. – С. 24 – 28.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СИГНАЛА ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ

Киселев Е.С., Степчева З.В., Маттис А.В. *(УлГТУ, г. Ульяновск, Россия)*

The technological opportunities of amplitude modulation of ultrasonic diamond smoothing are analysed. The results of researches established the efficiency of amplitude modulation of ultrasonic diamond smoothing to obtain increased level of technological residual stresses in a surface layer without significant decrease of its strengthening.

Качество поверхностного слоя во многом определяет эксплуатационные свойства деталей, работающих в условиях трения-скольжения.

Формирование поверхностного слоя при алмазном выглаживании (АВ) происходит вследствие пластического деформирования обрабатываемой поверхности. Одним из методов повышения эффективности процесса АВ является сообщение инструменту ультразвуковых колебаний (УЗК).

Установлено [1], что увеличение амплитуды УЗК в процессе алмазного выглаживания способствует увеличению микротвердости поверхности и уменьшению высотных параметров шероховатости обработанной заготовки из низколегированной стали лишь до определенного предела – (4-6) мкм. При дальнейшем увеличении амплитуды УЗК наблюдается разупрочнение поверхностного слоя, проявляющееся в уменьшении микротвердости и увеличении высотных параметров шероховатости за счет образования сетки микротрещин. Вместе с тем, увеличение амплитуды колебаний свыше (4-6) мкм способствует одновременному увеличению сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое и глубины их залегания. В целях увеличения амплитуды УЗК свыше (4-6) мкм без снижения эффекта упрочнения и увеличения сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое и глубины их залегания было предложено применять УЗК, модулированные по амплитуде синусоидальным сигналом [2] (рис. 1).

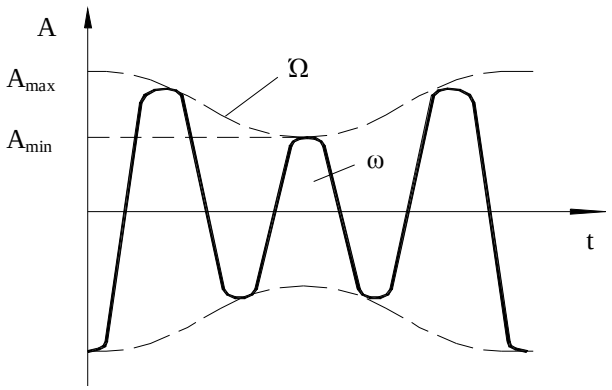


Рис. 1. Амплитудная модуляция синусоидальным сигналом: ω – несущая частота: Ω – частота модулированных колебаний; A_{max} и A_{min}– максимальное и минимальное значение амплитуды

При амплитудной модуляции синусоидальным сигналом уравнение, описывающее модулированное колебание, имеет вид [2]:

$$X = A_0 (1 + G \sin \Omega t) \sin (\omega t + \varphi), \quad (1)$$

где A_0 – амплитуда исходного колебания (основного колебания несущей частоты), м; ω – циклическая частота исходного колебания, рад/с; Ω - циклическая частота модулированного колебания, рад/с; φ – начальная фаза исходного колебания, рад; G – глубина модуляции, характеризующая степень изменения амплитуды:

$$G = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}}, \quad (2)$$

где A_{max} и A_{min} – максимальное и минимальное значение амплитуды, м.

Частота модуляции Ω характеризует скорость изменения амплитуды колебаний и должна быть во много раз меньше ω.

Для выявления зависимости некоторых показателей качества обработанных заготовок (Ra, H_{100}) и касательной составляющей силы выглаживания P_z от величины амплитуды колебаний А и глубины модуляции G были проведены исследования по разработанной методике.

Экспериментальное исследование эффективности модуляции УЗК проводили на установке, оснащенной устройствами для измерения составляющих сил выглаживания на базе серийно выпускаемых динамометра УДМ-100, усилителя 8-АНЧ-26М, осциллографа “Нева – МТ1”. В качестве источника модулированных УЗК использовали генератор Г4-158 с амплитудной модуляцией сигнала, усилителя УЗ сигнала на базе УЗ генератора “Техма-2”.

Исследования проводили на образцах из нержавеющей стали 95Х18ШТ, титанового сплава ВТ3-1, стали 40Х. Все образцы представляли собой цилиндры и устанавливались в центрах станка. Размеры образцов из стали 95Х18ШТ - 40×220 мм; титанового сплава ВТ3-1 - 40×180 мм; стали 40Х - 52×160 мм. Перед обработкой алмазным выглаживанием с наложением УЗК заготовки предварительно шлифовали с целью получения стабильных значений шероховатости в пределах Ra =(0,4-0,5) мкм.

Окружная скорость заготовки при алмазном выглаживании заготовок из титанового сплава ВТ3-1 и стали 95Х18 составляла 40 м/мин, заготовок из стали 40Х – 52 м/мин. Для определения величины статической силы, обеспечивающей получение наибольшей микротвердости поверхности, изменяли ее значение в пределах от 0 до 60Н. Скорость продольной подачи составляла 0,036 мм/об. В экспериментальных исследованиях в качестве СОТС применяли масло индустриальное И-20А.

Измерение среднего арифметического отклонения профиля поверхности заготовки Ra проводили на профилографе-профилометре мод. 201 завода ‘’Калибр’’. Твердость поверхностного слоя после обработки измеряли на приборе ПМТ-3. Исследуемые заготовки устанавливались в призму и вместе с ней на стол прибора. Твердость поверхностного слоя оценивали по размерам диагонали отпечатка, полученного при вдавливании в образец алмазной пирамиды с силой 100 Н. Измеренные значения переводили по таблицам в значения микротвердости H_{100}. Остаточные напряжения в поверхностном слое определяли рентгенографическим методом на приборе “Дрон”. Образцы для определения остаточных напряжений вырезали на электроэрозионном станке модели 04 ИВ200-2.

Как следует из анализа результатов исследования, с увеличением амплитуды УЗК наблюдалось увеличение касательной составляющей силы выглаживания при обработке заготовок из всех материалов (см. рис. 2 а, в, д). По-видимому, это объясняется тем, что с увеличением амплитуды УЗК одновременно увеличивается глубина проникновения алмазного выглаживателя в поверхностный слой заготовки, вследствие чего увеличивается нагрузка на инструмент.

Применение УЗК, модулированных по амплитуде синусоидальным сигналом, способствует уменьшению средней величины амплитуды колебаний, причем, чем больше глубина модуляции, тем меньше средняя величина амплитуды УЗК. Таким образом, с увеличением глубины модуляции уменьшается среднее значение амплитуды колебаний, следовательно, уменьшается средняя глубина внедрения алмазного выглаживателя в поверхность обрабатываемой заготовки, что является причиной уменьшения касательной составляющей силы выглаживания при увеличении глубины модуляции. Это явление наблюдалось при обработке заготовок из всех материалов (см. рис. 2 а, в, д).

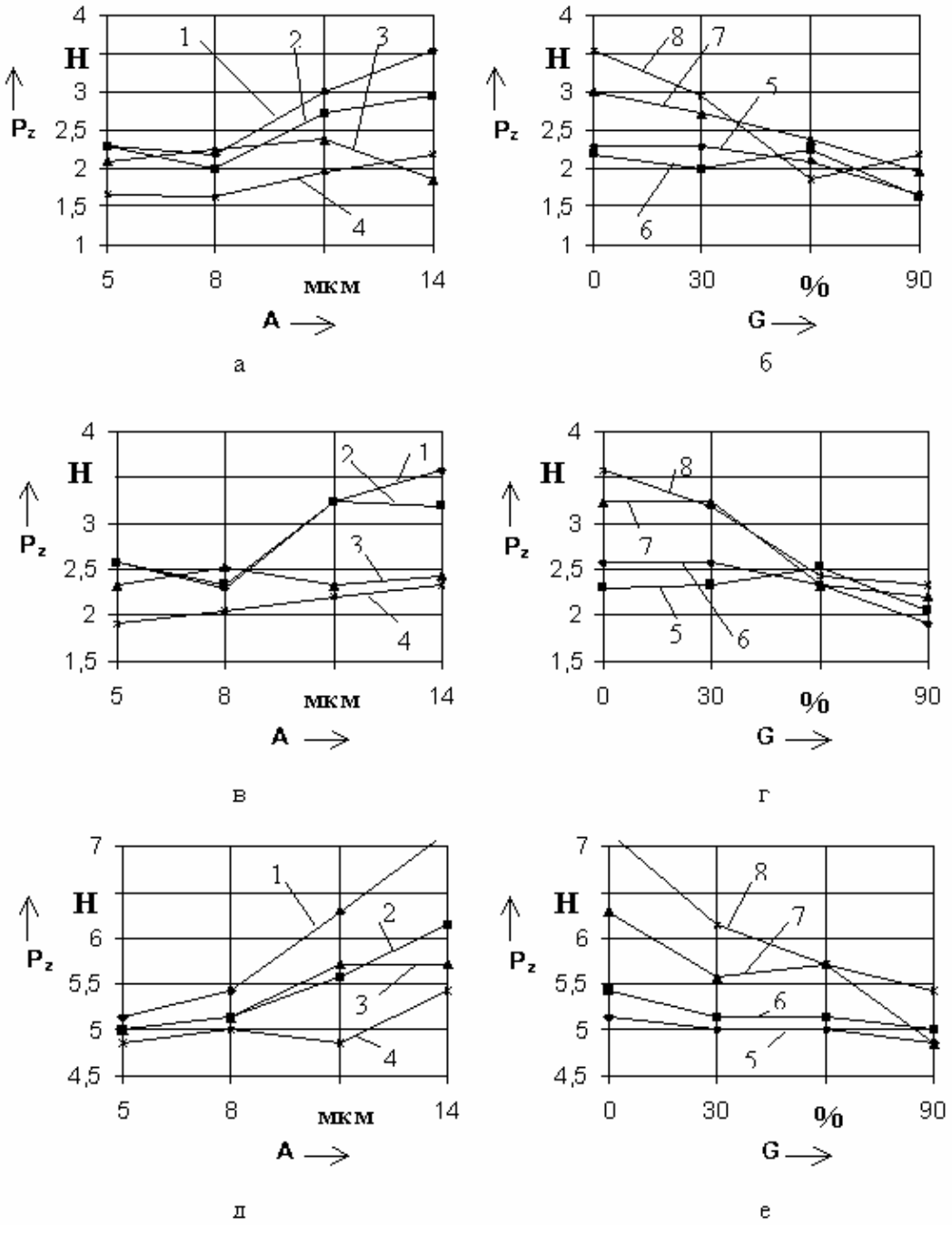


Рис. 2. Результаты экспериментального исследования влияния амплитуды УЗК А (а, в, д) и глубины модуляции G (б, г, е) на величину касательной составляющей силы выглаживания P_z. при АВ заготовок из сталей: 95Х18ШТ (а, б), 40Х (в, г) и титанового сплава ВТ3-1 (д, е): 1 – G=0; 2 – G=30 %; 3 – G=60 %; 4 – G=90 %; 5 – А=5 мкм; 6 – А=8 мкм; 7 – А=11 мкм; 8 – А=14 мкм

При обработке заготовок из стали 95Х18ШТ с глубиной модуляции G=0 наблюдалось увеличение среднего арифметического отклонения профиля поверхности Ra обработанной заготовки при увеличении амплитуды колебаний (см. рис.3. а, кривая 1).

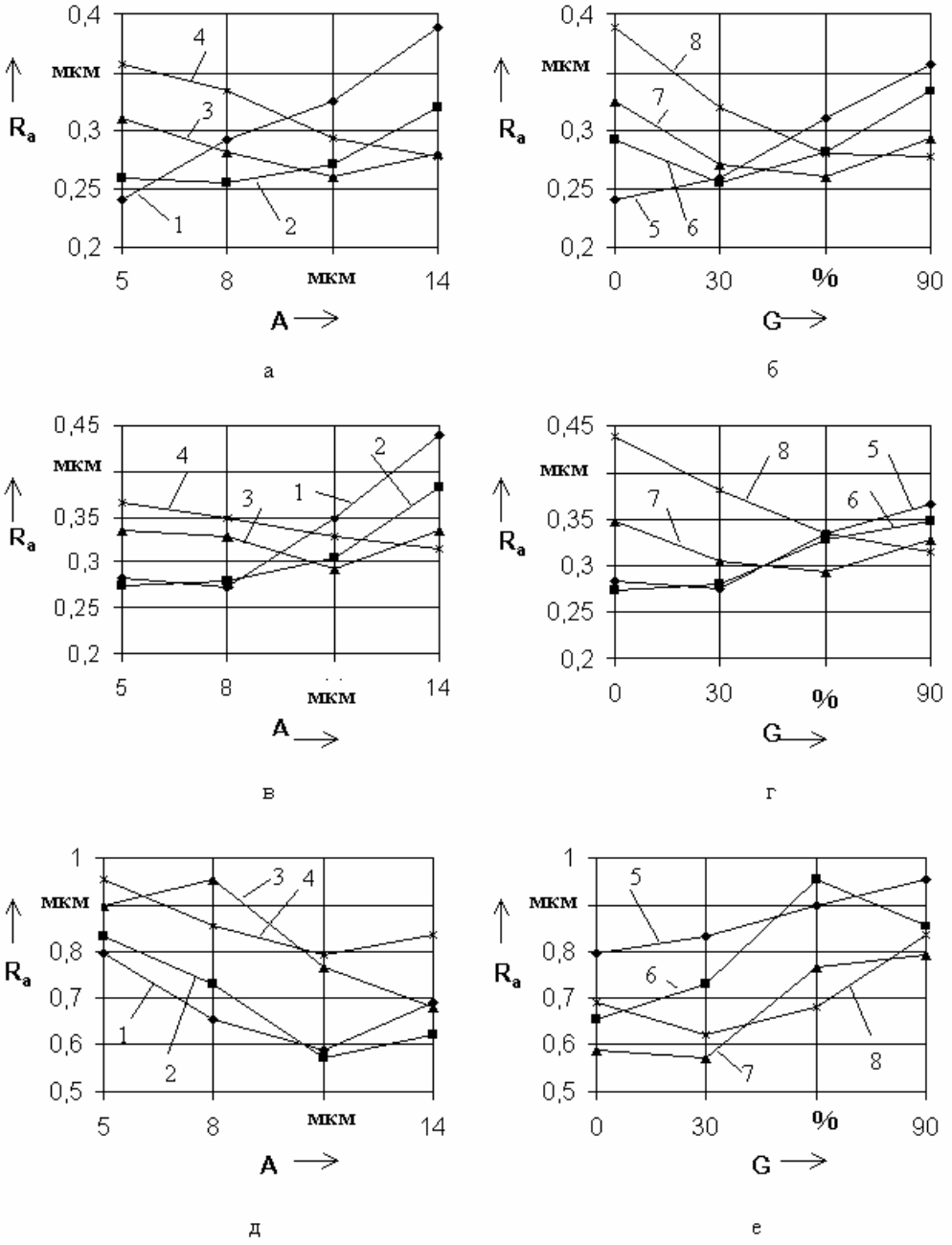


Рис. 3. Результаты экспериментального исследования влияния амплитуды УЗК и глубины модуляции на величину среднего арифметического отклонения профиля Ra. Остальные условия см. в подписи к рис.2

Наименьшее значение параметра шероховатости Ra при обработке заготовок из стали 95Х18ШТ без модуляции наблюдалось при амплитуде УЗК А=5 мкм. При АВ с наложением УЗК, модулированных по амплитуде синусоидальным сигналом с глубиной модуляции 30% наблюдалось уменьшение Ra при увеличении амплитуды колебаний с 5 до 8 мкм. При дальнейшем увеличении амплитуды наблюдалось увеличение Ra (см. рис.3 а, кривая 2).

Аналогичная картина наблюдалась при АВ с глубиной модуляции 60%, только в этом случае наименьшее значение параметра Ra наблюдалось при амплитуде 11 мкм (см. рис.3. а, кривая 3). При АВ с глубиной модуляции 90% параметр Ra уменьшался во всем диапазоне изменения амплитуды УЗК (см. рис.3 а, кривая 4).

Таким образом, график зависимости среднего арифметического профиля поверхности обработанной заготовки от амплитуды УЗК носит экстремальный характер и может быть разделен на два характерных участка. При изменении амплитуды УЗК в пределах первого участка наблюдается уменьшение параметра Ra. Это объясняется тем, что с увеличением амплитуды УЗК увеличивается контактное давление, вызывающее увеличение интенсивности пластической деформации микронеровностей. По мере увеличения амплитуды УЗК увеличивается глубина внедрения и растет площадь контакта инструмента и обрабатываемой заготовки. Как известно, в процессе пластической деформации поверхностный слой металла заготовки сильно упрочняется. Все это увеличивает сопротивление поверхности пластической деформации и уменьшение параметра шероховатости Ra с увеличением амплитуды УЗК замедляется. При определенном значении амплитуды УЗК происходит почти полное сглаживание микронеровностей. При дальнейшем увеличении амплитуды УЗК избыточная деформация поверхностного слоя, сопровождающаяся увеличением количества дефектов в поверхностном слое металла, появлением микротрещин, вызывает увеличение Ra. Приведенные рассуждения справедливы и в случае обработки заготовок из других материалов (см. рис.3. в, д).

При АВ заготовок из стали 95Х18ШТ без модуляции УЗК наблюдалось уменьшение микротвердости поверхности обработанной заготовки при увеличении амплитуды УЗК с 5 до 14 мкм (рис.4). Это объясняется возрастанием количества дефектов кристаллической решетки, в том числе микротрещин, вызванных значительной пластической деформацией поверхностного слоя. Наибольшая микротвердость поверхностного слоя заготовок, обработанных без применения модуляции УЗК, наблюдалась при амплитуде УЗК 5 мкм (см. рис. 4. а, кривая 1).

При выглаживании с глубиной модуляции 30% (см. рис.4. а, кривая 2), отмечено увеличение микротвердости поверхности обработанных заготовок при увеличении амплитуды УЗК с 5 до 8 мкм. Вероятно, это объясняется уменьшением среднего значения амплитуды УЗК при амплитудной модуляции, в результате чего уменьшается глубина внедрения инструмента и контактное давление, а следовательно, степень пластической деформации. Дальнейшее увеличение амплитуды УЗК приводит к уменьшению микротвердости поверхности вследствие появления дефектов в поверхностном слое из-за избыточной деформации. Результаты экспериментальных исследований показали, что качественная зависимость H_{100} от амплитуды для различных значений глубины модуляции одинакова и носит экстремальный характер (см. рис.4. а, кривые 3, 4). С увеличением глубины модуляции наибольшее значение микротвердости наблюдается при больших значениях амплитуды УЗК. Сделанный вывод справедлив и при обработке заготовок из других материалов (см. рис. 4. в, д). В отличие от обработки заготовок из стали 95Х18ШТ, где наибольшее значение микротвердости поверхности наблюдалось

при амплитуде УЗК 5 мкм, при обработке заготовок из стали 40Х наибольшее значение микротвердости отмечено при обработке с амплитудой УЗК 8 мкм. Это явление может быть объяснено тем, что статическая сила при алмазном выглаживании заготовки из стали 40Х была меньше силы, обеспечивающей наибольшую микротвердость поверхности. (По результатам первого этапа экспериментов было определено, что рекомендуемое значение статической силы, обеспечивающей наибольшую микротвердость поверхности – 40 Н. Однако, в целях сравнения эффективности модуляции при обработке различных заготовок производилась обработка заготовок из стали 40 Х со статической силой 30Н).

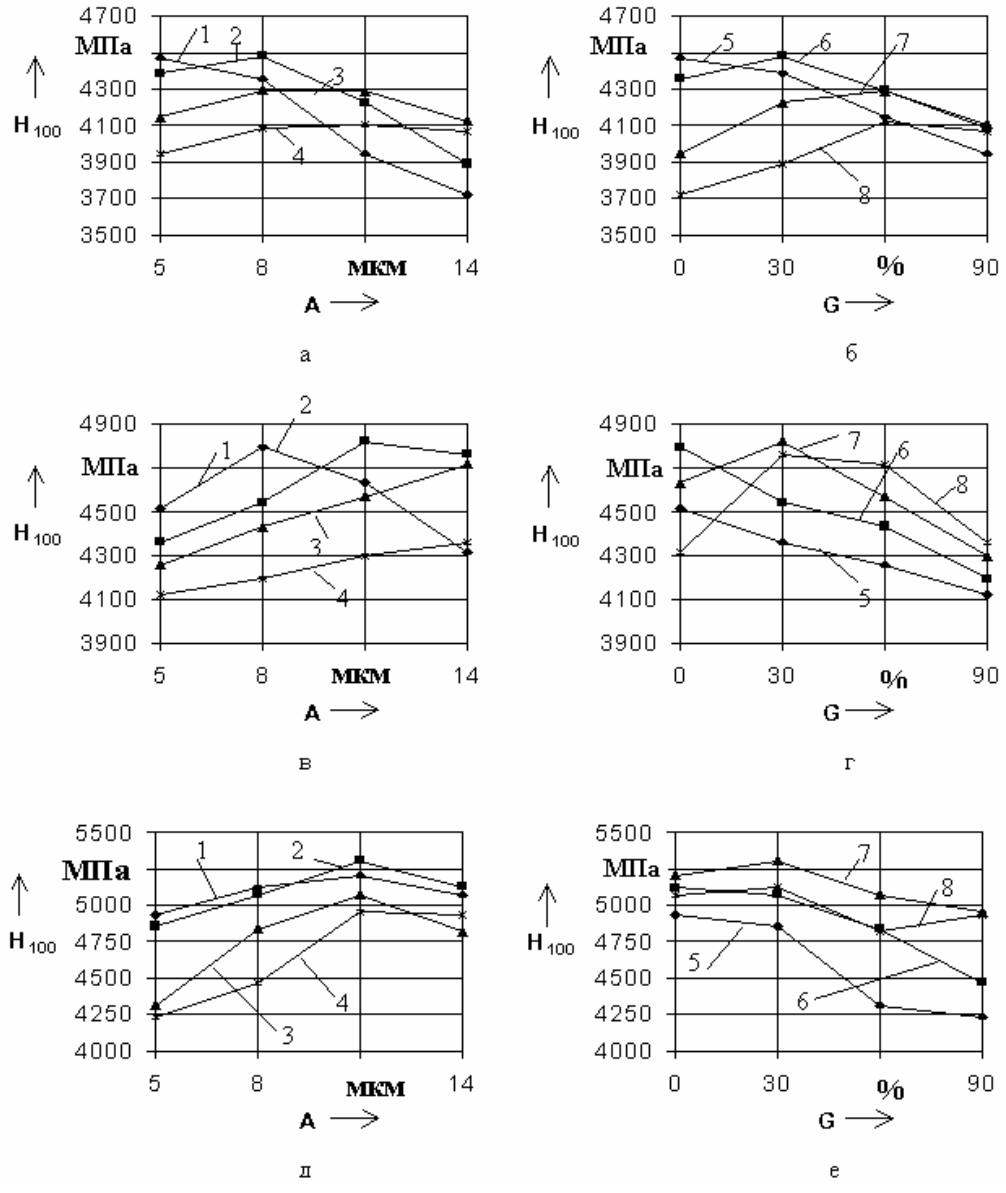


Рис.4. Результаты экспериментального исследования влияния амплитуды УЗК и глубины модуляции на микротвердость поверхностного слоя H100. Остальные условия см. в подписи к рис.2

Обработка заготовок из титанового сплава ВТ3-1 осуществлялась без приложения статической силы, поэтому с увеличением амплитуды УЗК микротвердость поверхности увеличивалась (см. рис. 4. д). С увеличением глубины модуляции наблюдалось уменьшение микротвердости поверхности при всех значениях амплитуды УЗК (см. рис. 4. е).

Для определения влияния модуляции УЗК на глубину наклепа производилось исследование изменений микротвердости по глубине поверхностного слоя (рис. 5, 6).

С увеличением амплитуды УЗК глубина наклепа увеличивается. В результате АВ без модуляции глубина наклепа составила 0,18-0,20 мм при АВ с амплитудой 8 мкм и 0,24-0,26 мм при амплитуде УЗК 14 мкм (см. рис.5, кривая 1 и рис.6, кривая 1). Наряду с этим, увеличение амплитуды УЗК с 8 до 14 мкм привело к уменьшению микротвердости поверхностного слоя с 4355 МПа до 3721 МПа. В результате алмазного выглаживания без модуляции наибольшая микротвердость наблюдалась на глубине 0,07 мм. Это явление вызвано разупрочнением поверхностного слоя вследствие избыточной пластической деформации.

Применение модуляции УЗК способствовало увеличению микротвердости поверхности. Так, при обработке с амплитудой УЗК 8 мкм и глубиной модуляции 30% отмечено увеличение микротвердости поверхности по сравнению с обработкой без модуляции с 4355 до 4483 МПа при сравнительно одинаковой глубине наклепа 0,18 – 0,2 мм (см. рис. 5, кривая 2).

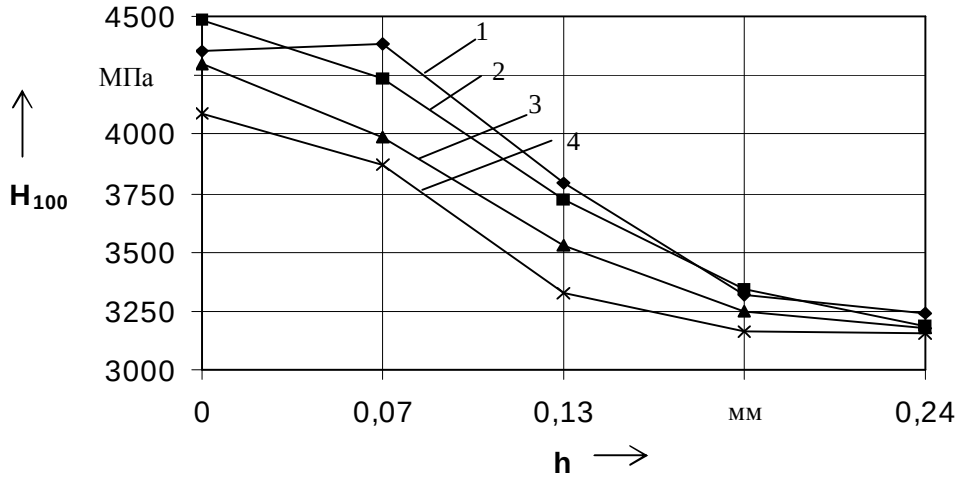


Рис.5. Изменение микротвердости H_{100} по глубине поверхностного слоя обработанной заготовки из стали 95Х18ШТ: 1 – G=0%; 2 – G=30%; 3 – G=60%; 4 – G=90% (P=30 Н; V_s=0,036 мм/об; V= 40м/мин; R=1,5 мм; А=8 мкм)

При выглаживании с амплитудой УЗК 14 мкм и глубиной модуляции 30% наблюдалось увеличение микротвердости поверхности по сравнению с обработкой без применения модуляции с 3721 до 3886 МПа. При этом глубина наклепа незначительно уменьшилась с (0,24-0,26) до (0,22-0,24) мм (см. рис. 6, кривая 2). При алмазном выглаживании с амплитудой УЗК 14 мкм и глубиной модуляции 60% наблюдалось увеличение микротвердости поверхности по сравнению с АВ без применения модуляции с

3721 до 4150 МПа при этом глубина наклепа составила (0,22-0,24) мм (см. рис.6, кривая 3).

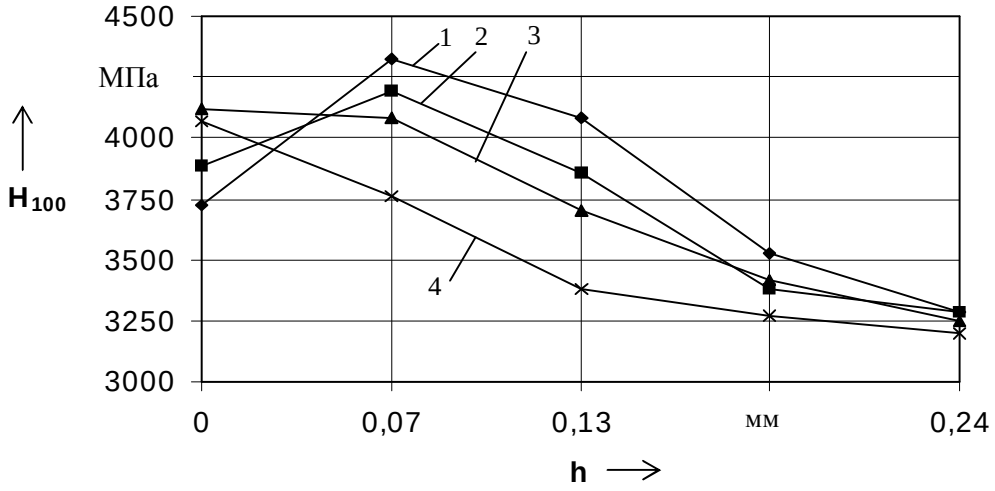


Рис. 6. Результаты экспериментального исследования распределения микротвердости H_{100} по глубине поверхностного слоя обработанной заготовки из стали 95Х18ШТ: 1 – G=0%; 2 – G=30%; 3 – G=60%; 4 – G=90% (P=30 Н; V_s=0,036 мм/об; V= 40м/мин; R=1,5 мм; A=14 мкм)

Таким образом, увеличение амплитуды УЗК способствует увеличению глубины наклепа, при этом одновременно наблюдается уменьшение микротвердости поверхности. Использование УЗК, модулированных по амплитуде, способствует увеличению микротвердости поверхности при обработке с большими амплитудами УЗК, при незначительном уменьшении глубины наклепа. Следовательно, модуляция УЗК способствует увеличению глубины наклепа при незначительном уменьшении микротвердости поверхности обработанной заготовки.

Наибольшая величина сжимающих остаточных напряжений наблюдалась при обработке с амплитудой УЗК А=14 мкм и глубиной модуляции G=30% и составляла 570 МПа. При уменьшении амплитуды УЗК уменьшается интенсивность пластической деформации, в результате чего уменьшается величина остаточных напряжений. При обработке с амплитудой УЗК А=8 мкм наибольшая величина остаточных напряжений наблюдалась при обработке без модуляции и составляла 480 МПа. Уменьшение величины остаточных напряжений при обработке с амплитудой УЗК 14 мкм без модуляции может быть объяснено явлением перенаклепа. Таким образом, применение модулированных УЗК способствует увеличению остаточных напряжений в поверхностном слое обработанной заготовки на 18%.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что в процессе алмазного выглаживания с наложением ультразвуковых колебаний, модулированных по амплитуде синусоидальным сигналом, увеличивается глубина наклепа и величина сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое обработанных заготовок. При этом не наблюдается значительного уменьшения микротвердости, а также увеличения среднего арифметического отклонения профиля поверхности обработанной заготовки. Все это способствует повышению качества поверхностного слоя и эксплуатационным свойствам детали из различных материалов.

Список литературы: 1. Смелянский В.М. Механическое упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 2002.– 300 с. **2.** Заремба Л.Н. Красильников В.А. Введение в нелинейную акустику. - М.: Наука, 1966. – 519 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩЕНИЯ

Киселев М.Г., Степаненко Д.А. *(БНТУ, г. Минск, Беларусь)*

Mathematical model for prediction thickness of sprayed coatings on surfaces of revolution is suggested in the paper. The model is based on adaptive integration of deposition rate function. Increment of coating thickness for each revolution of article is defined by mapping deposition pattern produced in the plane normal to the gun axis onto the surface of article. The mapping is based on the area magnification factor and preserves deposit volume for corresponding small areas of the plane and surface. Procedure for synthesis of material feed rate control law providing production of coating with uniform thickness is developed.

В данной статье рассматривается процесс напыления покрытий на изделия, ограниченные поверхностями вращения. Важным показателем покрытий изделий со сложными криволинейными поверхностями является равномерность их толщины. Поэтому была поставлена задача оптимизации технологических параметров процесса напыления с точки зрения возможности получения равномерных по толщине покрытий. В данной работе предлагается решение этой задачи, основанное на применении режимов напыления с нестационарным расходом материала. На основе математической модели процесса разработана методика синтеза оптимального закона изменения расхода материала во времени.

Введем неподвижную систему координат *xyz* с осью аппликат, совпадающей с осью симметрии поверхности. Поверхность изделия может быть задана в этой системе координат уравнением $z = f(x, y)$ или в цилиндрических координатах $z = f_1(\rho)$, где $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$. Будем считать, что для всех точек поверхности $\rho \le R$. В процессе напыления покрытия поверхность изделия совершает вращательное движение вокруг оси аппликат с угловой скоростью ω, а распылительное устройство перемещается параллельно оси ординат от края поверхности к центру. Траектории частиц распыляемого материала будем считать прямолинейными и исходящими из общей точки (условной вершины факела распыла). Свяжем с вершиной факела подвижную систему координат $\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$ с ортами, коллинеарными ортам неподвижной системы координат. Ось распылительного устройства совпадает с осью аппликат подвижной системы координат. Скорость осаждения покрытия зададим в подвижной системе координат в плоскости, перпендикулярной оси аппликат и проходящей через точку $z = f_1(0)$. Будем называть эту плоскость базовой. В случае $f_1(0) = d$, где d – расстояние от вершины факела распыла до базовой плоскости, будет выполняться условие $z = \tilde{z}$. Будем снабжать координаты точек базовой плоскости индексом p (plane), а координаты точек поверхности – индексом s (surface). Для случая стационарного расхода материала функцию скорости осаждения покрытия зададим в виде

$$v_d(\tilde{\rho}_p) = v_{d0} \exp(-\tilde{\rho}_p^2 / \sigma^2), \qquad (1)$$

где $\tilde{\rho}_p = \sqrt{\tilde{x}_p^2 + \tilde{y}_p^2}$,

v_{d0} и σ – амплитуда и среднеквадратическое отклонение, характеризующие скорость осаждения в центре пятна распыла и его диаметр.

В случае нестационарного расхода материала амплитуда функции скорости осаждения будет зависеть от времени. Среднеквадратическое отклонение функции скорости осаждения считалось при моделировании независимым от величины расхода материала. С учетом этого допущения может быть получена зависимость

$$\mu = \pi\gamma\sigma^2 v_{d0},$$

где μ – массовый расход материала, γ – плотность напыляемого материала.

Рассмотрим произвольную точку поверхности с радиальной координатой ρ_s и начальной угловой координатой φ_{s0} и разобьем общее время распыления T на N временны́х интервалов длительностью Δt_i, $i = \overline{1, N}$. Наиболее простым является разбиение с фиксированным шагом $\Delta t_i = \Delta t$, однако при подобном разбиении моделирование процесса напыления требует значительных затрат машинного времени. Более рациональной является временна́я дискретизация с адаптивным шагом, зависящим от скорости осаждения [2]. При малой скорости осаждения шаг дискретизации может быть достаточно большим, в то время как при большой скорости он должен быть достаточно мал. Представим шаг дискретизации в виде

$$\Delta t_i = \Delta t \cdot g(v_d(\tilde{\rho}_{pi}) / v_{d0}),$$

где $\tilde{\rho}_{pi} = \tilde{\rho}_p(t_i)$, $t_i = \sum_{j=1}^{i} \Delta t_j$, $g(\xi) = m\exp(-\xi \ln m)$, $m > 1$.

Для каждого момента времени t_i определим координаты (x_s, y_s) и $(\tilde{x}_s, \tilde{y}_s)$ рассматриваемой точки поверхности в неподвижной системе координат и системе координат распылительного устройства. Координата z_s остается на протяжении всего процесса напыления постоянной и равной $f_1(\rho_s)$. Определение координат может быть осуществлено из элементарных геометрических соображений, которые здесь не рассматриваются.

В силу прямолинейности траекторий частиц координаты $(\tilde{x}_p, \tilde{y}_p)$ точки базовой плоскости, принадлежащей той же траектории, что и рассматриваемая точка поверхности, могут быть определены по формулам

$$\tilde{x}_p = \tilde{x}_s d / z_s, \quad \tilde{y}_p = \tilde{y}_s d / z_s.$$

Далее необходимо установить соответствие между скоростью осаждения покрытия в точке $(\tilde{x}_p, \tilde{y}_p)$ базовой плоскости и в точке $(\tilde{x}_s, \tilde{y}_s, z_s)$ поверхности изделия. Если рассмотреть малый элемент $d\Sigma_p(\tilde{x}_p, \tilde{y}_p)$ базовой плоскости, то траектории частиц будут отображать его в малый элемент $d\Sigma_s(\tilde{x}_s, \tilde{y}_s, z_s)$ поверхности изделия. В силу закона сохранения вещества будет выполняться условие

$$v_{dp} d\Sigma_p = v_{ds} d\Sigma_s, \qquad (2)$$

где v_{dp} и v_{ds} – скорость осаждения для соответствующих элементов базовой плоскости и поверхности изделия.

Величина v_{dp} определяется значением функции (1) в точке $\tilde{\rho}_p = \sqrt{\tilde{x}_p^2 + \tilde{y}_p^2}$, а величина v_{ds} подлежит определению. Как следует из уравнения (2), для отыскания величины v_{ds} необходимо определить коэффициент отображения площадей

$$K(x_s, \tilde{x}_s, y_s, \tilde{y}_s, z_s) = \frac{d\Sigma_p}{d\Sigma_s}.$$

Для этого воспользуемся зависимостью, приведенной в работе [1]:

$$K(x_s, \tilde{x}_s, y_s, \tilde{y}_s, z_s) = \frac{d^2}{z_s^2}\left(\frac{\tilde{x}_s n_x(x_s, y_s) + \tilde{y}_s n_y(x_s, y_s)}{z_s} + n_z(x_s, y_s)\right).$$

Здесь (n_x, n_y, n_z) – компоненты единичной нормали к поверхности изделия в рассматриваемой точке.

Для функции $f(x, y)$ с непрерывными в точке $(0, 0)$ первыми производными при $x_s = y_s = 0$ выполняются условия

$$n_x = n_y = 0,\ n_z = 1,\ z_s = d$$

и коэффициент отображения площадей принимает значение $K = 1$.

Приращение толщины покрытия в рассматриваемой точке за k-ый оборот изделия может быть определено по формуле

$$\Delta_k h(\rho_s) = \int_{\tau_{k-1}}^{\tau_k} K^{-1}(x_s, \tilde{x}_s, y_s, \tilde{y}_s, z_s) v_d(\tilde{\rho}_p) dt, \qquad (3)$$

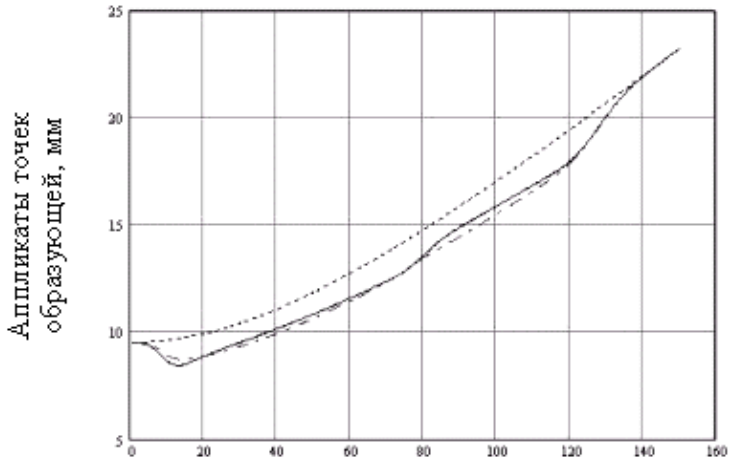
где $\tau_k = \frac{2\pi k}{\omega}$ при $k = \overline{0, N_r}$, N_r – число полных оборотов изделия за время распыления, $\tau_k = T$ при $k = N_r + 1$.

Если в выражении (3) заменить интеграл суммой по квадратурной формуле прямоугольников, то получим

$$\Delta_k h(\rho_s) = \sum_i K^{-1}(x_{si}, \tilde{x}_{si}, y_{si}, \tilde{y}_{si}, z_s) v_d(\tilde{\rho}_{pi}) \Delta t_i, \qquad (4)$$

где $x_{si} = x_s(t_i)$, $\tilde{x}_{si} = \tilde{x}_s(t_i)$, $y_{si} = y_s(t_i)$, $\tilde{y}_{si} = \tilde{y}_s(t_i)$. Суммирование производится по значениям индекса i, для которых $\tau_{k-1} \le t_i \le \tau_k$.

Таким образом, для случая стационарного расхода материала толщина покрытия может быть определена путем суммирования приращений толщины, рассчитанных по формуле (4). Пример результатов расчета для поверхности, заданной уравнением $z = \sqrt{\alpha(x^2 + y^2) + d^2}$, приведен на рисунке 1.

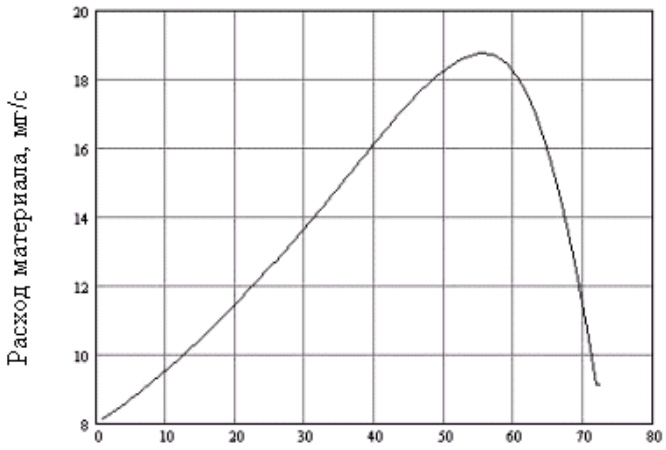


Радиальная координата, мм

Рис. 1

Расчет выполнен для следующих значений параметров: $d = 9{,}5\ мм$, $\alpha = 0{,}02$, начальное значение амплитуды функции скорости осаждения $v_{d0} = 0{,}017\ мм/с$, $\sigma = 4{,}127\ мм$, $\omega = 10\ рад/с$, $v_g = 1{,}75\ мм/с$. Образующая исходной поверхности изображена штриховой линией. Сплошной линией изображена форма образующей после напыления. Для наглядности толщина покрытия увеличена в 100 раз. Как следует из анализа рисунка, полученное покрытие характеризуется значительной неравномерностью толщины.

Для оптимизации процесса напыления определим систему весовых коэффициентов, равных отношению максимального приращения толщины в течение оборота за время распыления к максимальному приращению толщины для текущего оборота. Эти весовые коэффициенты могут быть связаны с временны́ми отсчетами функции расхода материала. Как показал анализ многочисленных примеров, напыление с нестационарным расходом материала, определяемым построенной системой весовых коэффициентов, обеспечивает значительное снижение неравномерности толщины покрытия. В качестве примера на рисунке 1 штрихпунктирной линией изображена форма образующей после напыления с оптимизированным расходом материала. На рисунке 2 изображен расчетный график зависимости расхода материала от времени.



Время, с

Рис. 2

При расчете было принято значение плотности напыляемого материала $\gamma = 8{,}9\ мг/мм^3$ (никель).

Достоинство предлагаемого принципа управления процессом напыления, основанного на использовании нестационарного расхода материала, состоит в возможности получения равномерных по толщине покрытий при простой кинематике относительных перемещений поверхности и распылительного устройства.

Список литературы: 1. Conner D.C., Greenfield A., Atkar P.N., Rizzi A.A. and Choset H. Paint deposition modeling for trajectory planning on automotive surfaces // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2005. Vol. 2, No. 4. Pp. 381-392. **2.** Goejen J.G., Miller R.A., Brindley W.J. and Leissler G.W. A simulation technique for predicting thickness of thermal sprayed coatings: NASA Technical Memorandum TM-106939, 1995.

МЕТАЛУРГІЯ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.

Кисіль В.В., Жуков В.Р. (*Донецька облдержадміністрація, м. Донецьк, Україна*), Дьомін В.П., Кисіль О.В., Коваленко В.І. (*ДонНТУ, м. Донецьк, Україна*)

The general characteristic of metallurgical field of Donetsk region, output volume of the basic kinds of metal production and energy carrier expenses for their manufacture are represented. The analysis according to kinds of smelting and pouring volume of steel production dynamics at machine of billet continuous casting was carried out.
The major directions of metallurgical plants development with the purpose of their metal production competitiveness increasing were displayed.

Металургійний комплекс, до складу якого входять металургійні, коксохімічні, вогнетривкі флюсодобувні підприємства, а також підприємства кольорової металургії та трубних і металевих виробів є базовим для економіки області. Він забезпечує більше половини загального обсягу промислового виробництва регіону та майже половину випуску в Україні чавуну, сталі, прокату чорних металів, більше 50 відс. коксу і 25 відс. сталевих труб.

На підприємствах металургії та металообробки зосереджено майже 20 відс. основних засобів промисловості і чверть промислово-виробничого персоналу Донецької області. Металургія є основою експортного потенціалу регіону – на неї припадає біля 70 відс. обсягу експорту області. Понад 80 відс. металургійної продукції експортується більш ніж у 50 країн світу.

Чорна металургія області складається з трьох металургійних комбінатів: ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча», ВАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь», ВАТ «Макіївський металургійний комбінат», сімох металургійних заводів, двох підприємств по виробництву металевих виробів а також Харцизького трубного заводу . На підприємствах чорної металургії області у 2005 році працювало близько 130 тис. чоловік, а обсяги виробництва продукції у грошовому вигляді перевищили 75 відс. від загального обсягу виробництва усього металургійного комплексу.

Структуру металургійного комплексу Донецької області наведено на рис. 1.

Металургійними підприємствами області у 2005 році від загальнодержавного обсягу виробництва вироблено 44,8 відс. чавуну (13778 тис.т), 46,2 відс. сталі (17863 тис.т) та 47,6 відс. готового прокату (15507 тис.т). Від загального обсягу виробництва

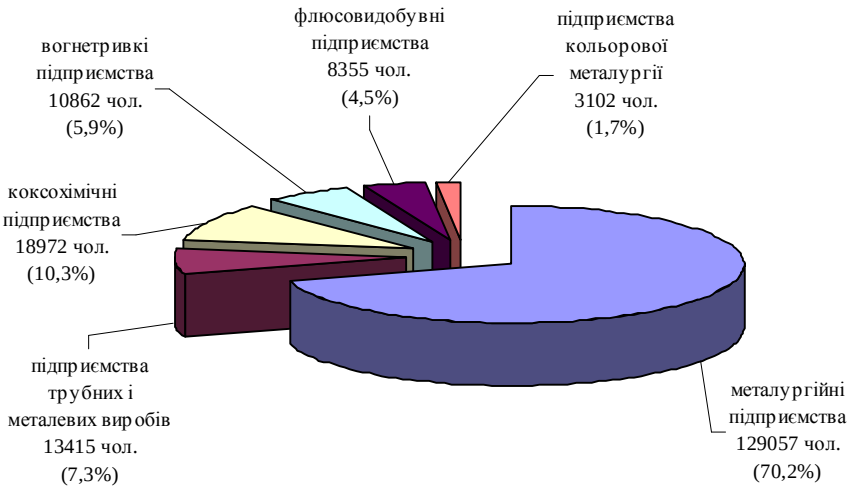


Рис.1. Структура металургійного комплексу Донецької області за чисельністю працюючих

сталі конвертерним способом вироблено 57,0 відс. (10171 тис.т), мартенівським – 38,5 відс. (6880 тис.т), виплавлено електросталі – 4,5 відс. (812 тис.т), розлито на машинах безперервного лиття заготівок (МБЛЗ)– 55,4 відс. (9904 тис.т) У порівнянні з минулим роком обсяг сталі, яка розливається на МБЛЗ, збільшився на 10,6 відс.

Приріст виробництва, що тривав у металургійному комплексі України з 1999 по 2004 рік, у 2005 році змінився незначним спадом, що пов'язано з погіршенням кон'юнктури світового ринку металопродукції. У 2005 році на підприємствах металургії і оброблення металу області обсяги виробництва продукції у порівнянних цінах зменшилися на 7,3 відс. (у 2004 році приріст обсягів виробництва металопродукції у порівняних цінах до рівня 2003 року складав 11,8 відс.).

У 2005 році потенціал з виробництва чавуну, сталі і прокату металургійними підприємствами області використовувався на 76-89 відс., коксу – на 76 відс. (рис. 2).

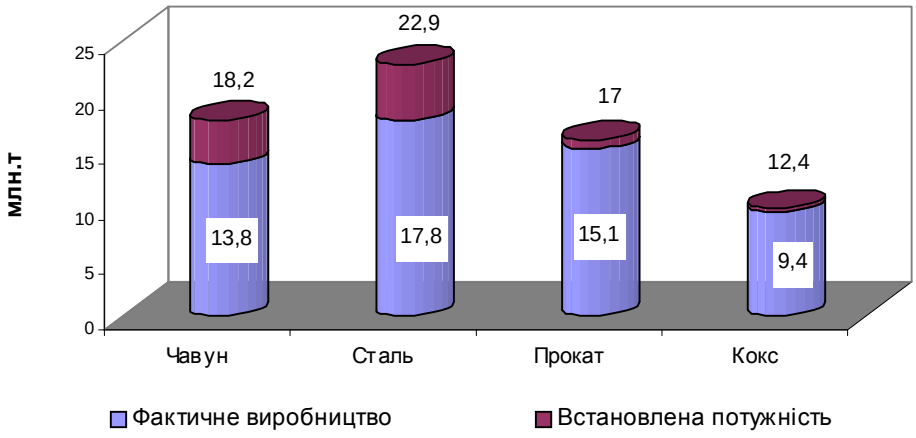


Рис. 2. Встановлені потужності підприємств чорної металургії Донецької області та їх фактичне використання у 2005 році

У 2005 році у порівнянні з 1999 роком збільшився обсяг виробництва конвертерної сталі з 6308 до 10171 тис.т або на 61,2 відс., а обсяг сталі, яка розливається на МБЛЗ збільшився з 4277 до 9904 тис.т, тобто більше ніж удвічі.

Структуру готового прокату, що виробляється металургійними підприємствами Донецької області, наведено на рис.3. В структурі готового прокату переважає частка заготівки (загалом вона складає 39,0 відс.), товстий лист (24,3 відс.) та гарячекатаний лист (16,5 відс.), а обсяги виробництва сортового прокату не перевищують 10 відс.

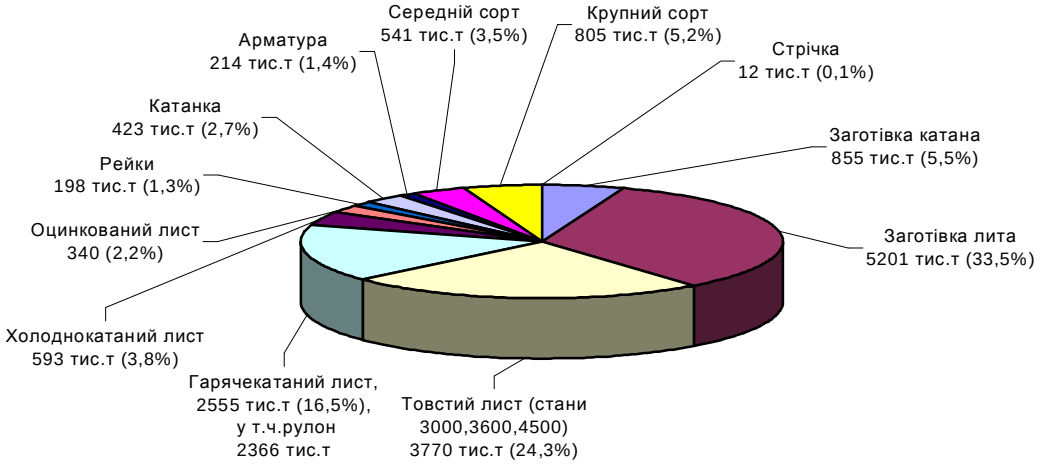


Рис.3. Структура готового прокату, який вироблено металургійними підприємствами Донецької області у 2005 році (усього – 15507 тис.т.)

Експорт готового прокату у 2005 році склав 82,5 відс. від його загального обсягу виробництва. Левову частку експорту готового прокату (47,2 відс.) складає заготовка (сортова і сляби), а частка товстого листа і гарячекатаного листа дорівнює 23,6 та 18,5 відс. відповідно (Рис. 4).

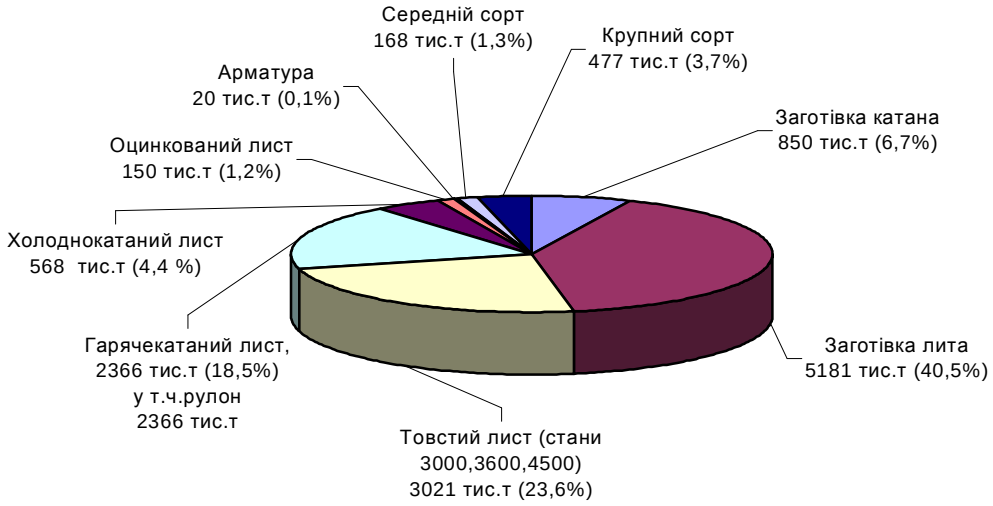


Рис. 4. Структура експорту готового прокату (за видами) у 2005 році
(усього – 12801 тис. т)

На жаль, слід відзначити, що фізичний і моральний знос основних виробничих фондів металургійних підприємств залишається досить значним (62-65 відс.), структура сортаменту металопрокату також недосконала: переважає частка заготовки (40 відс.), недостатня частка легованого металу, тонкого листа, відсутнє виробництво жерсті.

Динаміку виробництва основних видів металопродукції наведено на рис. 5.

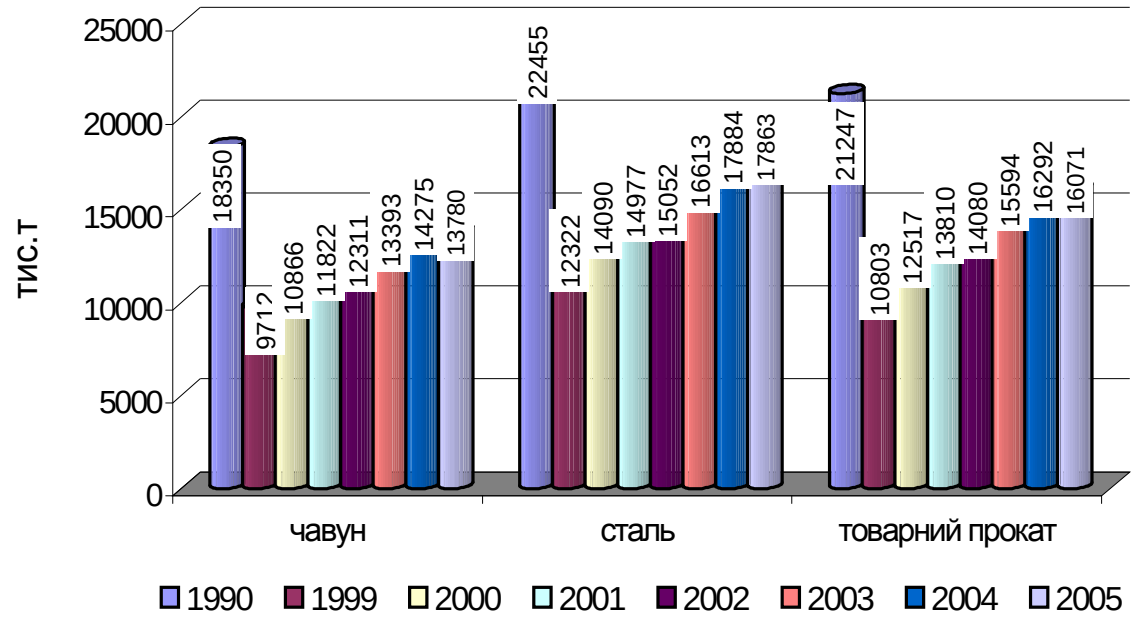


Рис. 5. Динаміка виробництва чавуну, сталі і прокату на металургійних підприємствах Донецької області

Динаміку середньодобового виробництва основних видів металопродукції наведено на рис. 6.

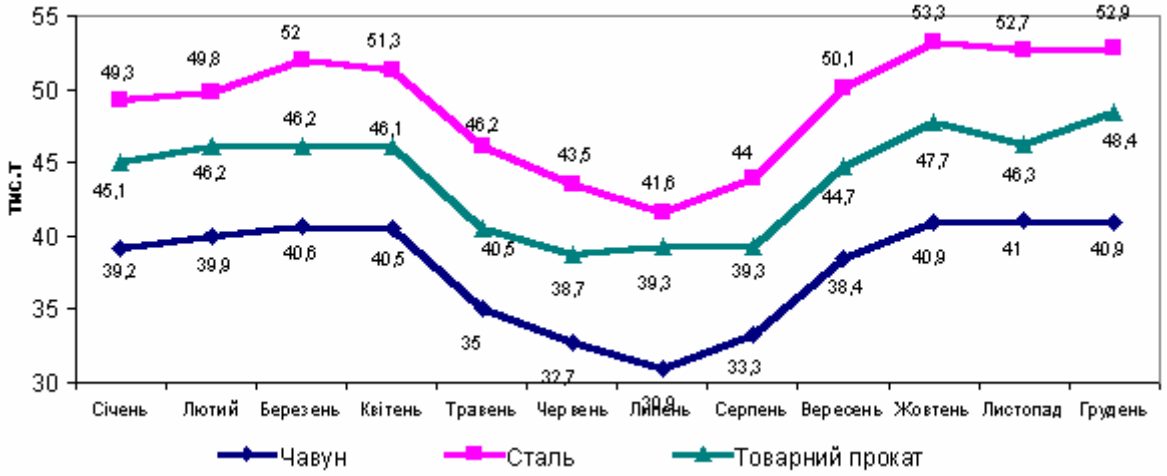


Рис. 6. Динаміка середньодобового виробництва чавуну, сталі і прокату на підприємствах металургії у 2005 році

Основною причиною спаду виробництва у 2005 році, пік якого припав на червень – серпень минулого року, була несприятлива для українських метало-виробників кон′юнктура світового ринку металопродукції. "Китайський фактор" вже кілька років є визначальним для розвитку металургійної галузі. Так, спочатку різке збільшення попиту у Китаї допомогло галузі вийти з кризи, а потім зростання власного виробництва у цій країні створило загрозу надвиробництва металопродукції на світовому ринку. З імпортера (у 2004 році було завезено 13 млн. т прокату) Китай перетворився в експортера (у 2005 році вивезено понад 7 млн. т).

Зміна тенденцій на світовому ринку, що збіглася за часом з ревальвацією гривні і підвищенням цін практично на всі складові собівартості металопродукції (сировину, паливно-енергетичні ресурси, залізничні тарифи), негативно відзначилася на фінансово-економічному стані металургійних підприємств.

За підсумками 2005 року фінансовий результат від звичайної діяльності металургійних підприємств у порівнянні з 2004 роком зменшився майже на 30 відс. Майже половину суми загального фінансового результату забезпечила прибуткова робота ВАТ "Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча".

Незважаючи на погіршення фінансово-економічного стану металургійні підприємства з метою збереження зовнішніх ринків збуту металопродукції і недопущення експансії імпортної металопродукції на внутрішній ринок (з огляду на темпи прискореного вступу до СОТ) продовжать у 2006 році реалізацію довгострокових програм з технічного переозброєння.

На впровадження заходів Програми розвитку металургійного комплексу області у 2006 році планується інвестувати 1,3 млрд.грн..

Основні напрямки розвитку підприємств металургійного комплексу на 2006 рік:

- інтенсивне технічне переозброєння та реконструкція застарілих виробництв, впровадження передової техніки і технологій, які відповідають кращим досягненням світової практики і забезпечать конкурентоспроможність продукції підприємств гірничо-металургійного комплексу на світовому ринку;
- впровадження заходів по енергозбереженню, у т.ч. здійснення економічних, технологічних та організаційних заходів по мінімізації витрат природного газу та поліпшенню екологічних умов у районах розміщення підприємств металургійного комплексу;
- збільшення у структурі експорту питомої ваги готової продукції, що позитивно вплине на фінансовий стан підприємств.

На сьогоднішній день практично вичерпані організаційно-технічні заходи, які могли б забезпечити новий рівень економії паливно-енергетичних ресурсів. Потрібні значні фінансові ресурси та тривалий час для впровадження програм технічного переозброєння, в яких основна увага приділяється енергозберігаючим заходам.

Для забезпечення стабільної роботи промислових підприємств у 2006 році необхідно на державному рівні вжити заходів щодо недопущення різкої зміни вартості сировини і електроенергії, підвищення тарифів на залізничні перевезення, ревальвації гривні, а також створити сприятливі законодавчі умови для проведення технічного переоснащення та модернізації основних виробничих фондів.

Головною метою розвитку металургійного комплексу на 2006 рік є забезпечення подальшого зростання обсягів виробництва і реалізації продукції для задоволення потреб внутрішнього ринку, зменшення питомих витрат енергоносіїв на виробництво продукції за рахунок реалізації програм з енергозбереження і технічного

переозброєння. і, таким чином, підвищення конкурентоспроможності та утримання досягнутих позицій на світовому ринку металопродукції.

АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т.
(ОмГТУ, СКГУ, г.Омск, г.Петропавловск, Россия, Казахстан)

The Algorithm of the Signals Classification was presented. This Instrument was designed for the Automatic's Signals Recognition. A great number of signals were divided into the some groups with the helping of the Identification Scales. The Signals were combined into groups with according to the Signal -Noise Relation.

Одним из факторов обеспечения высококачественной и эффективной работы автоматизированных систем управления, контроля и диагностики является точное измерение величины, отражающей реальное состояние объекта, структурная схема которого представлена на рис.1 [1], где пунктиром выделен первичный преобразователь (датчик), а ν - управляющее воздействие, y – переменная, отражающая реакцию объекта на управляющее воздействие, $M(t)$ - возмущающее воздействие, $H(t)$ - помеха измерения.

Выходная переменная измеряется первичным измерительным преобразователем (датчиком) и равна

$$y^* = y + M(t) + H(t), \qquad (1)$$

где y^* - измеренное значение выходной переменной y.

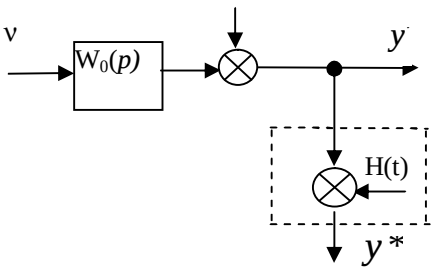


Рис. 1. Структурная схема одноканального объекта.

Основными факторами возмущающего воздействия, например, в машиностроении являются: колебания глубины резания L, твердости D материала заготовки, переменная жесткость j_{TC}, различная режущая способность h_3 инструмента. Их постоянное изменение значений возмущающих факторов приводит к тому, что $M(t) = (L, D, j_{TC}, h_3, \mathbf{K})$ является случайной величиной, а при превышении некоторых критических значений автоматизированная система работает в неустановившемся режиме. Помеха измерения $H(t)$ является также случайной величина, поскольку является результатом внутренних (флуктуации, фон) и внешних (вибрации, влияние факторов окружающей среды, шумы) воздействий.

Для высокоэффективного и качественного функционирования автоматизированных систем необходимо уменьшать влияние помех $H(t)$ и возмущающих факторов $M(t)$. Наилучшим образом подавление помех осуществляется в измерительных системах, которые умеют адаптироваться к виду и характеру помехи. В подобных, интеллектуальных системах перед измерением производится предварительная классификация входных сигналов с целью их автоматического разделения на некоторое количество классов, объединяющих, попавшие в них реализации, по определенному качествен-

ному признаку. Например, сортировка сигналов на три категории: случайные сигналы, периодические сигналы и их смеси с различным отношением сигнал-шум.

В данной работе описана методика построения алгоритма автоматической классификации сигналов, основанная на теории идентификационных шкал, что является альтернативой спектрального и развитием фрактального анализа сигналов.

Теория идентификационных шкал обосновывает возможность построения порядковых шкал как для распределений мгновенных значений (РМЗ) [2,3] сигналов, так и для распределений их временных интервалов (РВИ) [4]. Идентификационные шкалы (ИШ) с математической точки зрения отображают множество чисел, например, временной ряд наблюдений, объема N, в одно число – идентификационный параметр (IdP), с присоединением к нему (посредством логического вывода) качественной характеристики в виде имени распределения (I). Имена распределений и, связанные с ними, численные оценки идентификационных параметров образуют реляционную базу данных (БД). Управление такой БД состоит в пересортировке первоначального списка имен и их фильтрации. При упорядочивании чисел (IdP) автоматически ранжируются имена (I) и, соответственно, те свойства объекта или процесса, которые эти имена и числа представляют.

Таким образом, в ИШ происходит объединение технологии измерения и технологии БД для решения задач распознавания образов. На рис.2 представлен базовый алгоритм классификации сигналов по идентификационным параметрам распределений.

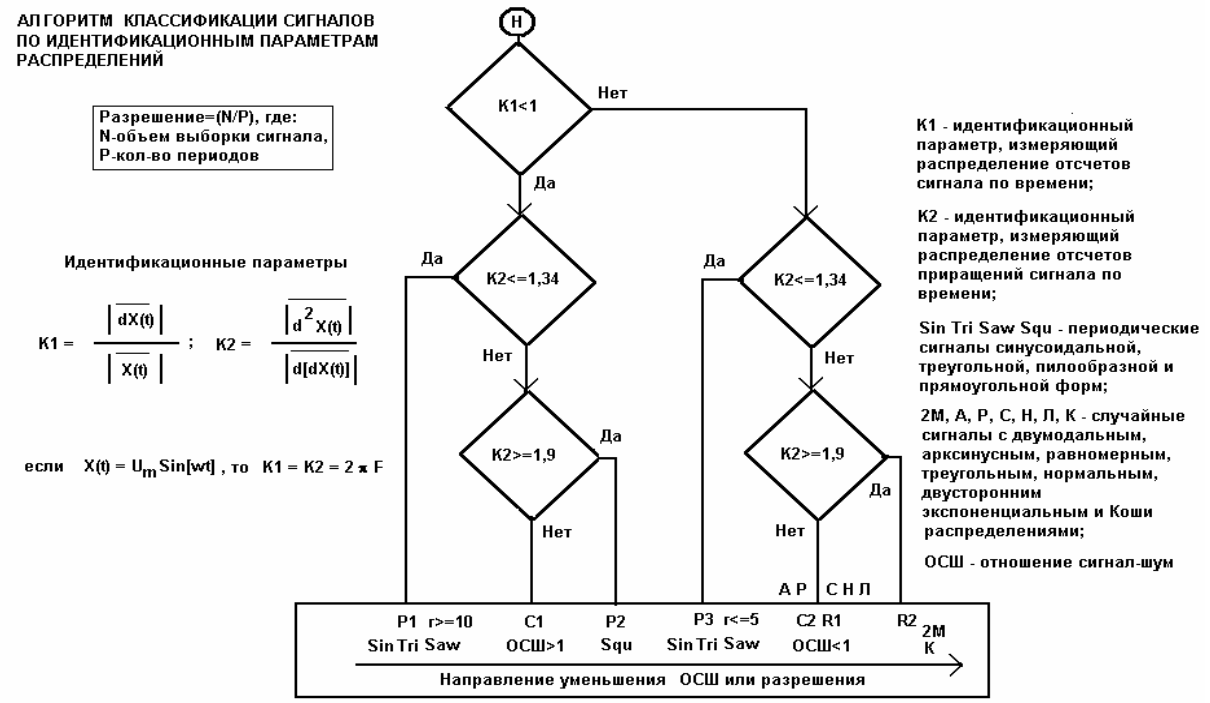


Рис. 2. Базовый алгоритм классификации сигналов

Математические модели и физический смыл идентификационных параметров алгоритма классификации сигналов представлены в таблице 1.

На основе данных моделей был разработан виртуальный прибор (ВП), в котором исходный, непрерывный во времени сигнал X(t) представляется, после аналого-

цифрового преобразования, в виде дискретной выборочной реализации, объема N, и записывается в файловом формате в память компьютера. Все, необходимые для определения идентификационных параметров, вычислительные операции реализуются на программном уровне.

Процедура классификации выполняется логическим анализатором (ЛА) - реляционной БД, записями которой являются имена файлов выборочных реализаций сигналов, а полями – имена идентификационных параметров (K1, K2). В ячейки БД (на пересечении строк и столбцов) записываются численные оценки идентификационных параметров. Анализ сочетаний значений идентификационных параметров позволяет определить – по какому из 6-ти направлений (P1, P2, P3, C1, R1, R2) фильтруется данная запись. Каждое направление имеет свой собственный адрес, образованный путем перечисления единиц и нулей, соответствующих выполнению условий (Да → «1», Нет → «0») при прохождении алгоритма (рис.1) от входа до выхода. Разрядность адреса определяет «длину пути» прохождения анализа: чем больше разрядность адреса, тем более «точно» определяется некоторое свойство сигнала.

Если в БД имеется множество записей, идентификационные параметры которых полностью покрывают диапазоны возможных значений IdP{0≤(K1, K2)≤2}, то такую БД будем называть *представительной*. Сигналы, на основе анализа которых формируется представительная БД, называются *эталонами* БД. Рассмотрим технологию использования алгоритма.

Таблица 1. Модели идентификационных параметров

№ п/п	Имя IdP	Обозначение IdP	Физический смысл IdP	Математическая модель
1	Коэффициент вариабельности	K-1	Измерение среднего значения относительной скорости сигнала	$K_1 = \frac{\left\|\overline{\Delta X(t)}\right\|}{\left\|\overline{X(t)}\right\|}$
2	Коэффициент вариабельности	K-2	Измерение среднего значения относительного ускорения сигнала	$K_2 = \frac{\left\|\overline{\Delta[\Delta X(t)]}\right\|}{\left\|\overline{\Delta[X(t)]}\right\|}$

На **первом этапе** формируется эталонная БД, состоящая из списка сигналов, состояние которых охватывает максимально возможный диапазон в направлении эволюции этих сигналов - от периодических до случайных. Затем, путем применения стандартных операций упорядочения и фильтрации записей по идентификационным параметрам, выявляются закономерности в структуре созданной БД. В табл.2 для примера показан фрагмент БД, соответствующий реализации двух условий (K1<1 → Да, K2<=1,34 → Да, адрес направления P1→ 11) алгоритма.

Второй этап состоит в распознавании образцов сигналов, которые отсутствуют в начальной БД, путем измерения идентификационных параметров исследуемого образца сигнала, и прослеживается адрес, по которому этот сигнал будет отфильтрован алгоритмом. Анализ выходного состояния БД (табл.2), состоящей из 114 эталонов, показывает, что:

- По направлению P1 фильтруются периодические сигналы синусоидальной (Sin), треугольной (Tri) и пилообразной (Saw) формы с числом периодов от 1 до 10000, что соответствует разрешению r>=10 (N=100000). Эта часть БД представляет идеальное (желаемое) ее состояние.

- Отклонения от идеальности проявляются в наличии «посторонних» записей, представляющих сигналы смесей типа gaus+tri-100-(500-400-300), где первое число 100 определяет количество периодов сигнала, а числа в скобках – отношение сигнал-шум (ОСШ). Указанную оценку ОСШ можно интерпретировать как критерий перехода сигнала из класса смесей в класс периодических сигналов.
- Возможность фильтрации «посторонних» записей связана с введением дополнительного условия по идентификационному параметру, отличному от K1, K2.

Величины K1, K2 можно рассматривать как проекции двухкомпонентного идентификационного вектора на плоскости X0Y и, следовательно, использовать для решения задач идентификации векторные понятия модуля и фазы. Например, для синусоидального и прямоугольного (типа меандр) сигналов идентификационные векторы описываются уравнениями:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}\\ K(\sin) &= K_{\sin}\exp(jj_{\sin}) = p\,\frac{2\sqrt{2}F}{N}\exp(jp/4)\\ \mathbf{r}\\ K(squ) &= K_{squ}\exp(jj_{squ}) = \frac{4F}{N}\exp(jp/2) \end{aligned} \qquad (2)$$

где: F≥1 – число периодов на интервале наблюдения N.

Таблица 2. Фрагмент сортированной по параметру K1 БД (первые 4 столбца) и список имен сигналов (вторые 4 столбца), отфильтрованных алгоритмом по направлению P1.

№	File Name	K-1	K-2	№	File Name	K-1	K-2
17	squ-1	0,00002	1,00002	48	tri 1	0,00008	0,00004
34	sin 1	0,000063	0,000063	34	sin 1	0,000063	0,000063
48	tri 1	0,00008	0,00004	49	tri 10	0,0008	0,0004
61	saw 1	0,00008	1,00002	35	sin 10	0,000628	0,000628
35	sin 10	0,000628	0,000628	50	tri100	0,008	0,004
46	cos 10	0,000628	0,000628	36	sin100	0,006283	0,006283
60	saw 10	0,0008	1,00011	51	tri1000	0,08	0,040001
74	gaus+squ-100-500	0,006237	1,901749	37	sin1000	0,062852	0,062792
36	sin100	0,006283	0,006283	52	tri10000	0,666665	0,50001
75	gaus+squ-100-400	0,006801	1,887415	38	sin10000	0,618031	0,618042
73	lapl+squ-100-500	0,006975	1,887164	89	gaus+tri-100-500	0,008399	0,934698
76	gaus+squ-100-300	0,007743	1,868228	17	squ-1	0,00002	1,00002
59	saw100	0,007992	1,001011	61	saw 1	0,00008	1,00002
50	tri100	0,008	0,004	60	saw 10	0,0008	1,00011
89	gaus+tri-100-500	0,008399	0,934698	59	saw100	0,007992	1,001011
90	gaus+tri-100-400	0,008909	1,100704	58	saw1000	0,079197	1,010111
72	lapl+squ-100-300	0,00897	1,853853	90	gaus+tri-100-400	0,008909	1,100704
102	gaus+saw-100-	0,009592	1,649344	57	saw10000	0,720003	1,111123

	500						
77	gaus+squ-100-200	0,009625	1,840981	91	gaus+tri-100-300	0,010086	1,296536

Расположение направлений и симметрия структуры алгоритма позволяют выделить общее направление (при движении слева – направо) эволюции сигналов от чисто периодических к случайным. В качестве упорядочивающего фактора выступает отношение сигнал-шум для смесей или разрешение для периодических сигналов.

Иерархичность классификационной структуры алгоритма отражает взаимосвязь ее компонент, а «горизонтальная» упорядоченность служит подтверждением фундаментальной закономерности – эволюции сигналов в направлении от детерминированности (периодические сигналы) к хаосу (случайные сигналы).

Поскольку классификационные признаки алгоритма являются *измеримыми величинами*, то и вся модель становится объективной и относительно независимой от интуитивных соображений создателей других подобных классификаторов.

Практическое применение предложенного алгоритма связано с созданием «интеллектуальных» виртуальных приборов (ВП), автоматически выбирающих (в зависимости от формы входного сигнала) алгоритмы обработки. В частности, разработана информационно-измерительная установка с ВП для диагностики работоспособности поворотных червячных редукторов типа РЧ-120 со скрещивающимся расположением валов, позволяющая определять дефекты: износ зубца, механическое ослабление и несоосность валов. Установка внедрена на АО «ПЗТМ» (Республика Казахстан) .

Список литературы: 1. Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического регулирования: Учебное пособие.– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.– 364с. **2.** Кликушин Ю.Н. Нечеткая идентификация формы распределения вероятностей.- М.: Измерительная техника, №9, 1992, с.4-7. **3.** Кликушин Ю.Н. Классификационные шкалы для распределений вероятности Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 11 (ноябрь), 2000 г. **4.** Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Модель роста популяции в задаче автоматической классификации сигналов.- Омский Научный Вестник, ОмГТУ, Омск, №4(33), 2005, с.160-163.

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЧПУ НЦ-31М

Клышко А.Н.[1] , Потеряхин В.Б.[2] , Тараненко В.[3] ,Свиць А.[3] *([1]«Маяк-Сервис», [2]СевНТУ, Севастополь, Украина, [3] ИТСИ, Политехника Любельска, Польша)*

The necessity substantiation of existing turning machine park modernization is made in given clause. The considered new programmed numerical control system that allows minimizing expenses connected to equipment service life prolongation. Its characteristics and functionalities are resulted.

Последние годы развития экономики в странах СНГ демонстрируют неуклонный рост, при этом машиностроение по-прежнему остается ведущей отраслью промышленности. Поэтому особенно актуальным для предпринимателей становится вопрос о техническом перевооружении своих предприятий. Как известно, парк металлообрабатывающего оборудования в большинстве стран СНГ выработал амортизационный ресурс на 70%, а коэффициент обновления техники в среднем не превышает 0,3%.

Объем выпуска станочного оборудования тоже снизился против дореформенного периода (1990 г.) в 10-12 раз. Рынок же требует постоянного обновления продукции станкостроения. У ведущих зарубежных фирм это происходит в течение 5-7 лет (по 18-20% в год), а у нас — в течение 18-20 лет (по 0,5-2,5% в год). Негативные последствия старения оборудования становятся все более ощутимыми. Но для того, чтобы развивать производство на современном техническом и технологическом уровне, необходимы значительные средства, которыми располагают далеко не все предприятия. В то же время структурная перестройка промышленности высвободила большое количество работоспособного оборудования, которое поддается восстановлению, ремонту и модернизации. Это оборудование значительно — на 50-70% — дешевле нового, а его рабочий ресурс составляет примерно 70% от рабочего ресурса нового станка. Таким образом, вложив значительно меньшие средства, предприятие получает возможность сохранить и развивать производство с тем, чтобы со временем накопить средства для закупки нового.

Большинство токарных станков с ЧПУ производства СССР комплектовались системой ЧПУ «Электроника НЦ-31». Отсутствие в настоящий момент комплектующих и запасных частей к НЦ-31 в комплексе с довольно большим износом, и как следствие большим количеством сбоев и отказов, сделало эту популярную систему довольно неудобной в эксплуатации. Несмотря на это, простота программирования, небольшие габариты и привычки персонала, останавливают многих пользователей на пути замены ЧПУ «Электроника НЦ-31» на современные системы (например, NC-210, WL или FMS). Кроме того, такая замена является более дорогостоящей и требует проведения комплекса работ по изменению электрической схемы станка, а также переобучения технического персонала.

Эти аргументы вызвали необходимость создания системы ЧПУ на новой элементной базе и аналогичной НЦ-31 по интерфейсу и программному обеспечению. Таким образом, было создано ЧПУ НЦ-31м (модернизированное) предназначено для замены штатного устройства НЦ-31 в токарных металлорежущих станках производства бывшего СССР различных типов. Данное устройство выполнено на современной импортной элементной базе, работает под управлением оригинального программного обеспечения НЦ-31 различных версий, имеет дополнительные сервисные функции, более надежную герконовую клавиатуру, светодиодные индикаторы большого размера и яркости, небольшие габариты, вес и энергопотребление. Устройство производится в двух версиях – базовой (16 входов, 16 выходов сигналов электроавтоматики) и расширенной (48 входов, 32 выхода + дополнительные опции) и состоит из двух печатных плат. На одной расположены клавиатура, система индикации, ячейки процессора, оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), адаптера магистрали и таймера (АМТ). На второй плате располагаются модули контроллера электроавтоматики (КЭ), контроллер измерительных преобразователей (КИП) для связи с круговыми оптическими датчиками, контроллер привода (КП) с цифро-аналоговыми преобразователями. Обе платы оснащены разъемами СНП58 для подключения к станку. В системе используется оригинальное программное обеспечение НЦ-31 (версии ПЗУ 369, 370 + ПЗУ АМТ) и имеет технические характеристики приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика программного обеспечения НЦ-31

№ п/п	Характеристика	Значение
1.	Оси управления	2 + шпиндель
2.	Объем ПЗУ (Flash)	128KB
3.	Объем ОЗУ (энергонезависимое)	8KB
4.	Объем ПЗУ (EPROM)	8KB
5.	Каналы связи с датчиками	4
6.	Количество входов	16 / 48
7.	Количество выходов	16 / 32
8.	Интерфейсы	RS-232 (опционально IrDA)
9.	Напряжение питания	5В+-5%
10.	Потребляемый ток	2А макс
11.	Вес	1,2 кг

Система может работать со всеми версиями оригинального ПО «Электроника НЦ-31», кроме того, в ПЗУ содержится код микросхем памяти с платы АМТ (несколько вариантов с возможностью программного выбора) для станков с расширенными функциями электроавтоматики (например, 1В340Ф30, 16А20Ф3). Ввод и вывод управляющих программ производится по последовательному интерфейсу RS-232 (для персонального компьютера, DNC-терминала или переносного модуля памяти) или RS-485 (для построения сети).

Имеется функция сохранения параметров и управляющей программы из ОЗУ в EPROM с последующей обратной загрузкой в случае необходимости. Встроенный программный терминал позволяет при подключении к PC по RS-232 для контроля и диагностики, получать доступ ко всем программно доступным ресурсам (ОЗУ, регистрам ввода-вывода, ЦАП и т.д.). НЦ-31м может работать с круговыми датчиками как с 15В питанием (ВЕ-178А), так и с 5В питанием (ВЕ178А5, ЛИР-158).

Предлагаемое решение по замене системы ЧПУ позволяет при незначительных материальных затратах в короткий реанимировать устаревший токарный парк, использовать накопленный производственный опыт по работе на ЧПУ НЦ-31, и нет необходимости тратиться на подготовку специалистов. Таким образом, вложив значительно меньшие средства, предприятие получает возможность сохранить и развивать производство с тем, чтобы со временем накопить средства для закупки нового оборудования. Все это делает подобный подход востребованным на вторичном рынке оборудования.

Список литературы: 1. Программное управление станками: Учебник для машиностроительных вузов/ В.Л. Сосонкин, О.П. Михайлов, Ю.А. Павлов и др. / Под ред. В.Л. Сосонкина – М.: Машиностроение, 1981. – 393с. **2.** Руководство по ксплуатации устройства ЧПУ НЦ-31. **3.** Руководство по эксплуатации 1В340Ф30РЭ. Станок токарный модели1В340Ф30.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДГОТОВКЕ НЖЕНЕРОВ

Клюева Е.В., Беляковский В.П., Иванов В.И., Антипенко Е.И. ***(ТГУ, ПГТУ, ПГТУ, ПГТУ, г.Тольятти, г.Мариуполь, Россия, Украина)***

General in development innovate both for an industry, and for formation(education) the transition from material technologies to information is. In this connection one of a perspective direction of pedagogical activity is the development of scientific - pedagogical problems of preparation of the experts.

Конкурентоспособность образовательного учреждения определяется степенью удовлетворения потребностей заказчика, созданием педагогических инноваций, способных удовлетворять потребности в условиях рыночных отношений и информатизации общества, что порой является единственным способом выживания как учебного учреждения, так и всех субъектов образовательного процесса. В связи с этим студенты и научно-педагогические кадры должны быть подготовлены к проектированию собственной инновационной деятельности, результатом которой является интеллектуальная собственность.

Общим в развитии инновации как для промышленности, так и для образования является переход от материальных технологий к информационным. В связи с этим одним из перспективных направлении педагогической деятельности является разработка научно-педагогических проблем подготовки специалистов и поиск основных путей методологического построения педагогической системы, выявления и усовершенствования реального педагогического процесса по подготовке научно-педагогических кадров в сфере инновационной деятельности.

Одной из нерешенных проблем является поиск многообразия форм реализации подготовки инженера к инновационной деятельности в процессе профессионального обучения. Инновационная деятельность связана как с педагогическими нововведениями, так и с решением разнообразных конструкторских, технологических задач, с проектированием, изобретательской и рационализаторской деятельностью, техническим творчеством. Поэтому он должен владеть широким крутом современных технологических знаний и умений, обладать развитым творческим мышлением для решения поставленных перед ним задач.

Информационные и коммуникационные технологии направлены на совершенствование обучающих средств и инструментов, использование которых помогает формировать не только знания, умения, навыки, но и развивать личность, совершенствовать информационные технологии обучения, становясь самостоятельной методической системой инновационной деятельности.

Особенное значение применения средств информационных технологий имеет в инновационной деятельности на этапах сбора информации, изучения и передачи опыта, поисков аналогов и прототипов, например, с помощью глобальной сети Интернет. Внедрение новых информационных технологий позволяет совершенствовать методологию и стратегию отбора содержания, методов и организационных форм инновационной деятельности, соответствующих задачам развития личности в современных условиях информатизации общества.

Особенно привлекательны дидактические возможности современных глобальных компьютерных сетей для обучения общетехническим дисциплинам. Однако лишь в последнее время опубликованы первые теоретические работы, целью которых

является разработка методических подходов к организации дистанционного обучения прикладной механике на базе компьютерных телекоммуникации. [1].

Специфика обучения и дальнейшей профессиональной деятельности студента требует поиска иных подходов к повышению технической грамотности и творческого развития личности будущих инженеров.

Современные психологи одним из основных средств творческого развития личности считают творческие задачи.

Творческие задачи, основанные на содержании какого-либо естественнонаучного предмета по своей природе больше соответствуют реальным проблемам, решаемым учеными. Это проявляется в том, что такие задачи часто имеют несколько вариантов решения. Причем студенты, как и ученые, должны найти несколько вариантов решения, определить критерии оценки их перспективности и сделать вывод о целесообразности того или иного варианта.

Использование творческих задач для педагогических целей, в отличие от психологических, имеет свою специфику, связанную с направленностью этих задач на формирование у обучаемых опыта творческой деятельности [2].

Если базировать творческие задачи на содержании какого-либо курса, изучаемого студентами, то процесс их решения требует не просто воспроизведения знаний учебного материала, а способности использовать эти знания при разработке нового способа решения задачи.

Таким образом, творческие задачи могут выступать в качестве средства обучения, позволяющего формировать знания студентов на новом качественном уровне.

Предлагаемая методика состоит в том, что, отобрав ряд изобретений, касающихся той или иной тематики, можно выделить из их описания аналоги и прототипы, которые и будут являться задачами для дальнейшего совершенствования. А в некоторых случаях сами изобретения также могут выступать как аналоги и прототипы. Таким образом, имея базу данных изобретений по определенной тематике, автоматически получаем базу данных творческих задач, построенных на их основе [3].

Таким образом, создав базу данных спроектированных по определенному классу тем задач, преподаватель имеет возможность формулировать эти задачи студентам, не сообщая технического решения. После того как студенты предоставят свои варианты технических решений, можно предложить для сравнения контрольное решение – соответствующее авторское свидетельство или патент. Учитывая, что уровень техники постоянно развивается, а изобретения, послу жившие основой для проектирования задач, могли быть запатентованы пять -шесть лет назад, то не исключено, что могут появиться студенческие решения, которые будут лучше, чем контрольные. В этом случае можно говорить о патентоспособности решения и о защите авторских прав.

Алгоритм проектирования творческих задач выглядит следующим образом:

1. Выбирается изобретение.
2. Выделяются аналоги и прототипы.
3. В методических целях отбрасываются номера авторских свидетельств или патентов.
4. Выписывается задача, формулируются недостатки.
5. Составляется техническая система, данные о которой включают служебное назначение, недостатки, формулировку вопроса.

В сборник учебных творческих задач, построенных на основе изобретений, включены базовые задачи с решениями, касающимися различных тем в порядке возрастания их сложности [4].

Студентам предлагалось выбрать из базы данных ФИПС изобретение или полезную модель, подходящую к теме изучаемого курса, изучить его описание, затем студентам необходимо было выделить и выписать аналоги и прототипы технического решения, используемого в изобретении и указать недостатки того или иного технического решения. Используя выделенные недостатки и приемы устранения технических противоречий, студенты формировали список наводящих вопросов, с помощью которых можно преобразовать эти недостатки в задачи, например:

- как обеспечить то или иное действие?
- кто будет производить это действие?
- что требуется для обеспечения того или иного действия?
- сколько это будет стоить?
- зачем и кому нужно это действие?

Практика обучения студентов разных групп подтвердила, что подобные упражнения помогают студентам легче освоить условия проблемного обучения, преодолеть психологические барьеры, поверить в свои творческие ВОЗМОЖНОСТИ, повышают интерес к изучению предмета, вызывают интерес к творчеству.

Выбирая критерии оценки эффективности предложенной методики, исходили из определения эффективности учебной работы.

На основании этого необходимо четко определить нормы творческой деятельности студента, которые приведут к развитию творческих способностей. Сформулировано три признака готовности к творческой деятельности:

- владение технической грамотностью (умение выбирать из базы данных рефераты, соответствующие теме изучаемого предмета, способность разобраться в устройстве, его принципе действия и недостатках);
- умение сформулировать ПС и задачу;
- умение выявлять физические, химические и др. эффекты, применяемые при решении задач.

Содержание и методика использования Интернет-технологий для повышения творческой подготовки способствует формированию у студентов изобретательской и компьютерной грамотности, способствуют осознанному применению полученных теоретических естественно-математических знаний при решении технических задач, встречающихся в процессе обучения. Они также стимулируют интерес к творчеству как в пределах изучаемого предмета, так и в целом.

Список литературы: 1. Борель Е.А. Совершенствование структуры курса технической механики/ Е.А. Борель, Н.А. Чумачкина. / Педагогика высшей и средней специальной школы. Межвед. сб. Университетское. - Мн., 1991. - Вып. 5. - С. 101. **2.** Клюева Е.В., Беляковский В.П., Иванов В.И., Антипенко Е.И. Информационные технологии в профессиональном образовании "Рената". - Мариуполь. 2002. - 124 с. №. **3.** Клюева Е.В. Методика проектирования и решения учебных творческих задач на основе изобретений по дисциплине "Прикладная механика" для студентов профессионально-педагогических вузов. "Атриум". - Тольятти. 2001. - 24 с. **4.** Клюева Е.В. Сборник учебных творческих задач на основе изобретений по дисциплине "Прикладная механика" для студентов профессионально-педагогических вузов. "Атриум". - Тольятти. 2001. - 24 с.

ПРЕПОДАВАТЬ НА ФРАНЦУЗСКОМ ЯЗЫКЕ? ЭТО НЕ ТАК ПРОСТО…

Клягин Г.С. *(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

Dans l'enseignement bilingue, il y a les professeurs qui enseignent LE français et ceux qui enseignent EN français. La réflexion qui suit souligne l'importance – et la spécificité – du travail de ces enseignants, insuffisamment aidés et reconnus.

В случае двуязычного преподавания в высшем учебном заведении работают преподаватели, которые преподают французский язык и те которые преподают на французском языке. В докладе приведены размышления о важности и, особенно, о специфичности работы этих последних преподавателей, часто оказывающихся без достаточной помощи и признания.

Преподавать французский язык как иностранный или как язык со специфической целью в двуязычных учебных подразделениях? Без труда можно констатировать, что речь идет о следующем: у нас имеются необходимые инструменты, пособия, учебники, книги, журналы, методы; в большинстве случаев эти преподаватели прошли профессиональное изучение в университетах или в другом месте, французского языка иностранного. Но преподавать в учебных заведениях биологию, математику, химию, физику, общеинженерные и профессионально ориентированные дисциплины и т.д. *НА* французском языке, это немного сложнее, особенно, когда русский преподаватель работает с русскоязычными студентами или когда украинский преподаватель преподает украинским студентам в Украине. Конечно же, эти преподаватели «не лингвистических дисциплин» имеют различную компетенцию во французском языке (изучение языка на специальных курсах, стажировка во франкоговорящей стране, только обучение в школе и в вузе и т.д.), но их главная особенность в том, что они не обучались на французском языке, получая свою профессию преподавателя биологии, математики, химии, физики,…

Кроме того, у них отсутствует в достаточном количестве аутентичная документация, методики, которые помогали бы им выполнять эту особенную специфическую работу - преподавать свою дисциплину НА французском языке, в СВОЕЙ стране, студентам СВОЕЙ страны.

И тем не менее, вся специфичность, отличие, богатство, даже престиж двуязычных подразделений вузов фундаментально зиждется на работе этих преподавателей. Без них, без этих преподавателей «не лингвистических дисциплин», никаких не было бы никаких двуязычных подразделений…

Почему преподавать *НА* французском языке?

Необходимо напомнить веские причины того, почему в последнее время рядом с хорошо обеспеченным и солидно структурируемым изучением французского языка, образование *НА* французском языке в Донецком национальном техническом университете приобрело существенное значение и стало востребованным. Использование французского языка ***как языка образования, как особого языкового инструмента***, чтобы глубже изучать содержание дисциплин, очевидно, является превосходным средством поддерживать этот французский язык, его тестировать, подвергать его испытанию. Это функциональное, оперативное проведение в жизнь знаний и навыков, это способ оценки, нахождения истины. Мы считаем, что эти лингвистические выгоды очевидны и вполне доказаны.

Но имеются и другие преимущества: использовать французский язык, документы и французские учебники параллельно с обычными дидактическими инструментам на родном языке, чтобы преподавать или изучать содержание той или иной дисципли-

ны, - это менять и разнообразить методологические и дидактические подходы, это благоприятствовать развитию абстракции и концептуализации (второй язык, является намного более абстрактным, чем первый, который более загружен эмоциональностью). И затем, это также возможность повторно вникнуть в гносеологию этой дисциплины и таким образом, благоприятствовать концептуальным построениям. Наконец, как можно не видеть, что использование этих двух лингвистических кодов (вместо единственного), чтобы познавать, помогает в осуществлении культурных открытий, в познании особенностей каждого языка и т.п.

Модулировать методологические принципы.

Специальная литература достаточно компактна в том, что касается возможных методологий, применимых к образованию на двух языках. Отметим здесь несколько вопросов, которые кажутся неизбежными, даже если полученные ответы на них могут привести к изменению установившихся положений.

• Неизбежно приходится изменять концепцию относительно содержания дисциплины, такую, как она принята в родной стране, по сравнению с содержанием аналогичной дисциплины во Франции. Но эта новое, отличающееся содержание не означает простого смешения, добавления, замены или интегрирования изучаемого материала. Каждая двуязычная программа, согласно месту и моменту времени, может отражать различные решения, чтобы "скрещивать" содержание и центральную идею двуязычного образования, - обучения *НА* двух языках, - в рамках выбранных дисциплин. Можно говорить о макрочередовании при обозначении глав, тем или сюжетов, которые будут изучены либо на одном языке, либо на другом.

• Таким же образом необходимо совместно рассматривать и методологические подходы, используемые обычно в обоих языках, сравнивая учебники, учитывая педагогические и культурные традиции стран, соответствующих обоим языкам обучения. Именно здесь находится источник культурного богатства, результатов анализов, интеллектуальных открытий.

• Преподавать на двух языках означает также, что оба языка вездесущи в обучении и нет необходимости в переформулировках, в изменении содержания анализа и синтеза на обоих языках, благоприятствующих концептуализации; мы можем говорить, таким образом, лишь о микрочередовании.

• Преподаватель нелингвистических дисциплин должен уметь к тому же поддержать тесные профессиональные отношения с преподавателями французского языка. При этом возможны многочисленные формы совместной работы, как на уровне подготовок, так и на этапе оценки результатов.

• Двуязычное образование должно было бы чаще вести к практике «педагогики разработки проектов», включая в себя сравнительные подходы и сравнительные исследования на обоих языках, выходя на двуязычные методы производства и даже имея в виду быстрый переход на многоязычие, так как это позволяет присоединить естественным образом к этим проектам другие языки (английский язык и т.д.). Эти некоторые принципиальные вопросы, кратко оговоренные выше, заслуживают дальнейшего развития, но важно их не скрывать, зная, что ответы на них могут быть различными в соответствии с местными условиями и человеческими ресурсами.

И наконец, нужно поставить еще один вопрос (и здесь решающую роль могут играть национальные приоритеты) - все ли дисциплины согласуются с двуязычными изучением? Наш ответ утвердительный. Имеются только выгоды при изменении перечня предметов, изучаемых на двух языках на протяжении всего периода образования: список дисциплин, манера говорить по-французски широко меняются в действительно-

сти от одной дисциплины к другой, отсюда различные оттенки, добавления, ценная взаимная дополняемость…

Необходимые условия, чтобы преуспеть.

Эти принципы и специфическая практика, которую надо вырабатывать, иногда изобретать, не появляются сами по себе, поэтому ясно, что надо особым образом поощрять преподавателей нелингвистических дисциплин двуязычных факультетов (подразделений), и делать намного больше, чем смогли это сделать до сих пор. Необходимо помогать этим преподавателям повышать постоянно их компетенцию и оттачивать практику во французском языке с помощью любых видов и способов непрерывного повышения квалификации (стажировки, специальные курсы, пребывание во франкоговорящей стране). Необходимо подумать также о первоначальном образовании (обучении) будущих преподавателей нелингвистических дисциплин, и именно в этом случае формулировка "bivalence - двувалентность" (по опыту Германии) может оказаться полезной…

Можно было бы также, очень быстро, институционировать профессиональные обмены в рамках соответствующих должностей (как для преподавателей иностранных языков), позволяя преподавателям нелингвистических дисциплин находиться достаточно длительное время в классах (группах студентов) в странах другого языка. Доступ к документации на французском языке, через Интернет, мог бы быть более систематизированным, облегченным, регулироваться. Образовательные семинары по этой тематике были бы полезны.

Важная и необходимая роль.

Давайте повторим это еще раз: преподаватель нелингвистической дисциплины, преподающий на французском языке, не получает до сих пор в большинстве вузов достаточного уважения. А ведь именно благодаря нему существуют в вузе двуязычные подразделения. Преподаватель нелингвистической дисциплины не должен быть единственным заинтересованным лицом, солдатом вспомогательных войск на службе преподавания французского языка. Пора признать его огромный вклад в успехи двуязычных подразделений вуза и помогать ему эффективно совершенствовать свою квалификацию для выполнения своей важной миссии: слишком часто в настоящее время он работает в одиночестве …

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННЫХ ПРОЧНОСТНЫХ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОКСИДНЫХ МИКРОПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ

Комаров А.И. *(ИМИНМАШ НАНБ, г. Минск, Беларусь)*

The influencing of carbon nano-size materials on grows and properties of oxide-ceramic coatings obtained by microarc oxidizing on aluminium alloys are investigated. It is shown that the introducing of carbon nano-size materials results in increase of growth rate of oxide-ceramic coating, its heightened wear resistance and lift capability in conditions of dry and boundary friction.

В современном машиностроении широко используются детали пар трения, изготовленные из сплавов алюминия, в том числе методом литья из силуминов. Применение литья из сплавов алюминия снижает трудоемкость, повышает коэффициент использования металла, обеспечивает высокую технологичность, снижает вес конструкций,

что особенно актуально. Однако область применения алюминиевых сплавов в узлах триботехнического назначения ограничивается их невысокой износостойкостью. Для обеспечения работоспособности таких узлов используются различные методы упрочнения, в том числе вставки из чугунов и сталей, которые усложняют конструкцию, повышают вес деталей, что снижает эффективность использования алюминиевых сплавов, и, кроме того, не всегда обеспечивают высокую износостойкость. В этой связи остро стоит задача повышения износостойкости трибосопряжений из алюминиевых сплавов.

Эффективным технологическим приемом в этом направлении, используемым в различных отраслях промышленности, является нанесение на трущиеся поверхности узлов машин и механизмов покрытий, среди которых весьма перспективным является метод микроплазменного оксидирования (МПО), обеспечивающий формирование на поверхностях изделий из алюминиевых сплавов оксидокерамических покрытий, обладающих повышенной твердостью, износостойкостью, высокой термической и химической стабильностью [1]. Однако, широкое использование МПО в промышленности осложняется сравнительно продолжительным процессом формирования оксидокерамического покрытия с толщиной, достаточной для обеспечения работоспособности упрочненного слоя в течение всего срока эксплуатации. В этой связи повышение эффективности процесса микроплазменного оксидирования изделий из сплавов алюминия весьма актуально. В [2] показано, что эта задача может быть решена применением углеродных наноматериалов при формировании покрытий. В настоящей работе представлены результаты по влиянию углеродных наноразмерных компонентов на интенсивность формирования покрытия на алюминиевых сплавах с различным химическим составом, его структуру и свойства.

Методика исследования. Исследования процессов формирования оксидокерамических микроплазменных покрытий проводились на алюминиевых литейных сплавах с различным содержанием кремния и деформируемых сплавах (табл. 1), широко применяемых для изготовления узлов трения и механизмов различного назначения.

Микроплазменная обработка образцов осуществлялась в режиме анодно-катодной поляризации при напряжениях 360-380 В, плотности тока от 15 до 50 А/дм^2 в силикатно-щелочном электролите, включающем 2 г/л КОН, 3,5 г/л Na_2SiO_3 и добавки углеродных наноматериалов (УНМ). В качестве УНМ использовались ультрадисперсная алмазо-графитовая шихта (УДАГ) и ультрадисперсные алмазы (УДА), концентрация которых в базовом электролите варьировалась от 0,5 до 5,0 г/л [2]. Продолжительность процесса микроплазменного оксидирования составляла 45 мин. С целью получения более широкой информации о влиянии углеродных нанокомпонентов на триботехнические свойства оксидокерамики в покрытие, сформированное в базовом электролите, вводились также фуллерены C_{60}.

Таблица 1. Химический состав исследуемых сплавов

Марка сплава	Массовая доля элементов, %								
	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Ni	Ti	Zn	Al
АК5М2	2,5	0,5	0,4	6,8	0,96	-	0,13	-	ост
АК10	-	0,2-0,4	0,2-0,5	8,0-11,0	-	-	-	-	ост

АК12М2МгН	1,5-3,0	0,8-1,3	0,30-0,60	11,0-13,0	-	0,8-1,3	0,05-0,20	-	ост
КС-740	1,5-2,5	0,5-1,3	0,6-1,0	16,0-18,0	0,7	-	-	-	ост
В95	1,4-2,0	1,8-2,8	0,2-0,6	0,5	0,5	0,1	-	5,0-7,0	ост
Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,8	0,5	0,5	0,1	0,1	-	ост

Изучение микроструктуры и фазового состава оксидокерамических покрытий осуществлялось методами металлографического и рентгенофазового состава. Распределение микротвердости по глубине покрытия определялось на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,98 Н. Триботехнические испытания проводились на машине трения, работающей по схеме возвратно-поступательного перемещения образца. Сравнительные испытания оксидокерамики выполнялись в режиме граничного трения в паре с закаленной сталью 65Г при скорости перемещения контртела 0,1 м/с. Давление в зоне фрикционного контакта составляло 2-32 МПа. В процессе испытания регистрировались значения коэффициента трения, износ покрытия и контртела после цикла испытаний измерялся по потере массы с последующим пересчетом в линейный износ.

Результаты и их обсуждение. Как следует из полученных результатов, введение в базовый электролит углеродных наноматериалов оказывает значительное интенсифицирующее воздействие на процесс микроплазменного оксидирования (рис.1). Так, при проведении микроплазменного процесса в базовом электролите скорость формирования оксидокерамики на сплаве АК5М2 составляет υ=0,8 мкм/мин. Введение в электролит углеродных наноразмерных компонентов сопровождается ростом величины υ как в случае УДАГ, так и УДА. При этом, как видно из рис. 1, больший эффект влияния на процессы МПО достигается при использовании ультрадисперсной алмазографитовой шихты. В этом случае скорость роста покрытия достигает значений 3,5 мкм/мин, тогда как при использовании УДА - 2,7 мкм/мин. Повышенный эффект воздействия УДАГ на интенсивность протекания микроплазменных процессов можно связать с более высокой химической активностью неалмазных форм углерода по сравнению с алмазом [3].

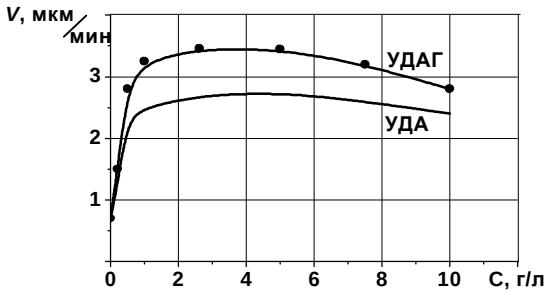


Рис.1. Скорость роста покрытия в зависимости от концентрации УНМ в электролите

В частности, температура сгорания алмаза в кислороде превышает 1070К, тогда как графит воспламеняется при 960К. Кроме того, при температуре выше 870К графит взаимодействует с водой с выделением водорода ($H_2O+C \rightarrow CO+H_2$). Наряду с этим при нагреве водород выделяется и из самого графита. Последующая реакция соединения водорода с кислородом носит экзотермический характер и сопровождается, как известно, большим тепловым эффектом, что значительно повышает интенсивность процессов образования покрытия.

Добавка УНМ в электролиты приводит к значительному росту (в 2,5-3 раза) толщины покрытия и при микроплазменном оксидировании других алюминиевых сплавов, тем самым обеспечивая сокращение времени формирования покрытий (рис. 2).

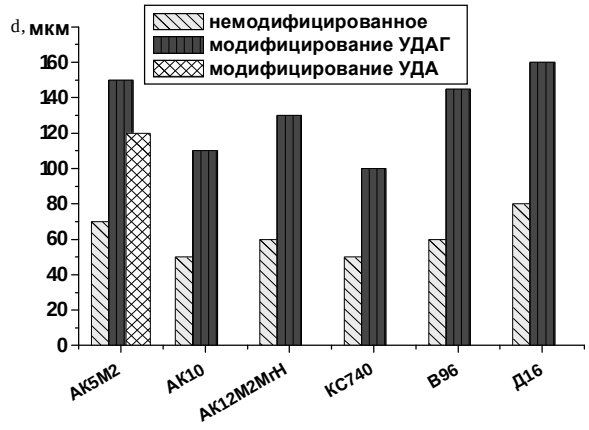


Рис. 2. Влияние УДА, УДАГ на толщину

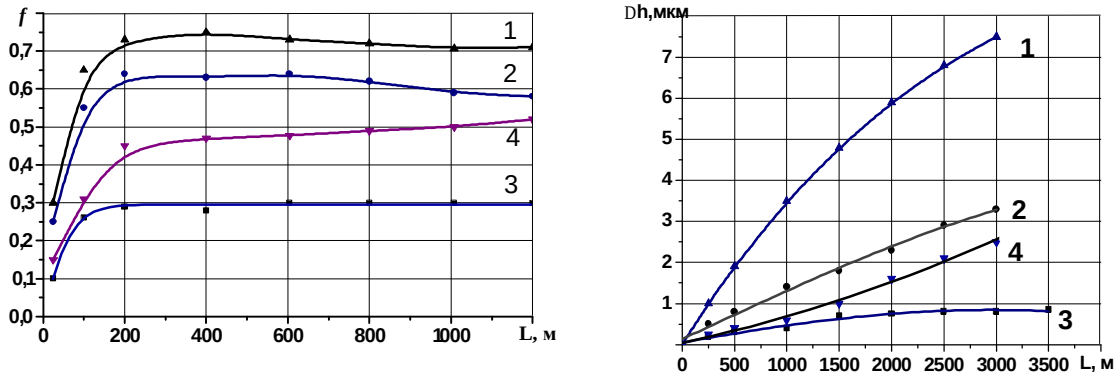
Одновременно с этим углеродные наночастицы модифицируют покрытие, встраиваясь в него. Это подтверждается результатами спектрального анализа, согласно которым содержание углерода в покрытии составляет 1,9%. Как следует из результатов металлографических исследований, модифицирую-щее воздействие частиц наноалмаза и нанографита проявляется, в формировании мелкодисперсной однородной структуры покрытия с низкой пористостью. При этом в покрытии возрастает содержание корунда α-Al_2O_3, достигающее на силуминах, являющихся трудным объектом для МПО-упрочнения, 60-70 об.%. Этот уровень α-Al_2O_3 сопоставим с содержанием этой фазы (80-85 об.%) в покрытии на деформируемых сплавах типа Д16.

Дисперсная структура модифицированной оксидокерамики и высокое содержание корунда обеспечивают повышенные ее физико-механические свойства. Так, для модифицированных углеродными наноматериалами оксидокерамических покрытий, сформированных на всех исследуемых сплавах, регистрируется заметный прирост микротвердости (табл. 2).

Одним из наиболее важных эффектов модифицирования оксидокерамических микроплазменных покрытий углеродными наноматериалами является существенное повышение триботехнических свойств оксидокерамики, сформированной на узлах трения из сплавов алюминия. Как следует из триботехнических испытаний немодифицированного покрытия, коэффициент трения f в режиме без смазочных материалов (СМ) при контактном давлении p=3 МПа на начальных стадиях в паре со сталью возрастает до 0,70-0,75, с оксидокерамикой – 0,50-0,60 (рис. 3а). Затем процесс трения переходит в стадию установившегося изнашивания, на которой значение f практически не изменяется, намечается лишь слабая тенденция к его снижению. Интенсивность линейного изнашивания I_h на стадии приработки в условиях трения без СМ составляет $3{,}6 \cdot 10^{-9}$, на стадии установившегося трения снижается до $2{,}8 \cdot 10^{-9}$ (рис. 3б).

Таблица 2. Микротвердость модифицированных УДАГ покрытий на сплавах алюминия

Сплав	*АК5М2*	*АК10*	*АК12М2МгН*	*КС740*	*Д16*	*В96*
Максимальная микротвердость, ГПа	*19,5*	*14,0*	*16,0*	*11,0*	*22,0*	*17,0*
Прирост микротвердости, ГПа	*2,5*	*2,8*	*2,0*	*1,5*	*4,0*	*3,5*



а б

Рис. 3. Зависимость коэффициента трения (а) и линейного износа (б) немодифицированной (1, 4) и модифицированной (2, 3) оксидокерамики от пути трения в паре со сталью (1, 2) и оксидокерамикой (3, 4) при p = 3МПа

Модифицирование покрытия УДАГ приводит к уменьшению коэффициента трения, который в условиях без СМ для пары покрытие-сталь устанавливается на уровне 0,58-0,65. Более низкие значения коэффициента трения, равные 0,28-0,30, достигаются в случае сопряжения покрытие-покрытие (рис. 3а). Процесс граничного трения модифицированной оксидокерамики по стали приводит к снижению коэффициента трения до значений 0,08 – 0,09, которые сохраняются в достаточно большом диапазоне нагрузок вплоть до контактного давления p=32 МПа. Модифицированное покрытие обладает также более высоким сопротивлением изнашиванию ($I_{h=}$ $1{,}1\cdot10^{-9}$) по сравнению с немодифицированным (рис. 3б). Из результатов испытания следует, что износостойкость и несущая способность покрытия, содержащего частицы наноалмазов и нанографита, возрастают в 2,5–3 раза и в 3-4 раза соответственно.

Значительное повышение триботехнических характеристик оксидокерамики достигается при модифицировании ее фуллеренами C_{60}. Износостойкость в этом случае возрастает в 9 раз, несущая способность более чем в 4 раза, коэффициента сухого трения снижается на 30-40 %, в условиях ограниченной смазки обеспечиваются высокие антифрикционные свойства.

Заключение. Использование углеродных наноматериалов позволяет значительно интенсифицировать процессе микроплазменного анодно-катодного оксидирования алюминиевых сплавов, что проявляется в повышении толщины покрытий в зависимости от химического состава сплавов в 1,5-3 раза, а следовательно, сокращении продолжительности образования покрытий. При этом обеспечиваются повышение износостойкости трибосопряжений с оксидокерамическими элементами в условиях сухого трения в 2,5-3 раза, граничного – 5-9 раз, несущей способности в 3-4 раза, твердости в 1,3-1,5 раз.

Список литературы: 1. Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Борисов А.М., Крит Б.Л. Микродуговое оксидирование // Приборы. – 2001.- Т. 15.- № 9.-С. 13-23. **2.** Комаров А.И. Повышение эффективности упрочнения деталей пар трения из гетерогенных алюминиевых сплавов микроплазменной обработкой в электролитах, содержащих углеродные наоматериалы. А/р к.т.н. Минск.-2005.-25 с. **3.** Глинка Н.Л. Общая химия. – М.: ИТЕГРАЛ-ПРЕСС, 2004.-727 с.

КІНЕТИКА НАКОПИЧЕННЯ МІКРОПОР У СТАЛІ 15ХМ ПІД ЧАС ПОВЗУЧОСТІ

Кондир А.І., Паздрій І.П., Романишин Б.М., Гладиш П.В.
(Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна)

A detailed analysis of creep strain results and microstructure examinations with the aim of an estimation of microdeterioration by pores during testing for low alloyed 15KhM steel have been undertaken. It is shown that taking into account of microdeterioration level for uniaxial stress state the useful relative lifetime achieves up to 0,80-0,82 from time to rupture.

В металі елементів конструкцій енергетичного обладнання за час його роботи в умовах повзучості накопичуються мікропошкодження – пори, ланцюжки пор, мікротріщини. Високотемпературна пошкоджуваність є складним процесом, який розпочинається вже на початкових етапах експлуатації. Руйнування теплостійких сталей має свої особливості, які пов'язані зі змінами їх структури та фазового складу за час тривалого наробітку. Тому з огляду на забезпечення надійної роботи обладнання важливо вміти оцінювати ступінь накопичення мікропошкоджень і відповідно можливу небезпеку експлуатації елементів конструкцій з метою встановлення їх допустимого ресурсу.

Вивчення процесу накопичення структурних пошкоджень у сталях високотемпературних паропроводів під час експлуатації показало, що перші мікропори з'являються за умов, що відповідають другій стадії повзучості [1]. З часом процес накопичення мікропор поширюється, і на третій стадії повзучості окремі з них досягають умовного діаметра від 1 до 4 мкм, що дозволяє виявляти їх засобами оптичної мікроскопії.

Металографічний аналіз, що проводиться з метою виявлення кількості і характеру накопичених в процесі експлуатації дефектів мікроструктури, на даний час є практично єдиним об'єктивним методом оцінки ресурсу деталей, які працюють в умовах повзучості. На практиці важливо вміти оцінити мікропошкодженість елемента конструкції без його вилучення з устаткування, тобто неруйнівним методом. Завдяки своїй простоті широке застосування набув якісний неруйнівний контроль мікропошкоджень металу відповідальних елементів енергообладнання за допомогою пластикових реплік [2, 3, 5]. Він полягає в проведенні операцій приготування шліфів, спеціального травлення для виявлення мікропошкоджень, зняття пластикових реплік і їх аналізі в лабораторних умовах.

Проте відносно простий та інформативний метод якісного контролю ступеня пошкоджуваності матеріалу порами не дозволяє виявити кореляційні залежності з іншими характеристиками повзучості та встановити корисні для інженерних розрахунків співвідношення, які могли б бути використані для оцінки ресурсу елементів конструкцій.

Водночас кількісні методи металографії дозволяють проводити оцінку ступеня пошкодження металу порами за такими показниками як об'ємна частка пор та частка границь зерен, що ушкоджені мікропорами. Методами металографії показано, що структура та морфологічні особливості мікропошкоджень від повзучості на лабораторних шліфах та пластикових репліках практично співпадають [3].

У цій роботі ставиться за мету дослідити кінетику накопичення мікропор у теплостійкій сталі 15ХМ рядових плавок зі структурою, одержуваною після нормалізації від 920 °С та відпуску за 640 °С з охолодженням на повітрі після обох операцій. Важливим також видається встановлення ступеня відповідності якісних і кількісних параметрів мікропошкодження порами між собою та з відносною тривалістю випробувань на повзучість.

Випробування на повзучість згідно з вимогами стандартів проводили за 510 °С та початкових напружень від 196,2 МПа до 255,1 МПа на плоских зразках з розмірами 10×15×100 мм. Випробування періодично переривали, і за збільшень від 500 до 1000 разів засобами стереометричної металографії [4] вимірювали накопичену за час експерименту об'ємну частку пор *f*, яку обрали за міру пошкодження структури сталі. Для виявлення мікроструктури металу і ступеня мікропошкоджень металографічні дослідження проводили на ділянках зразків площею 80-100 мм^2, які багатократно (не менше 6-8 разів) полірували та хімічно контрастували 4%-ним розчином нітратної кислоти в етиловому спирті за методикою, поданою в роботі [3].

Відповідність ресурсу працездатності або періодичності планового контролю до ступеня деградації структури сталі із застосуванням методів оптичної мікроскопії якісно оцінювали згідно з нормативними вимогами [2, 5]:

– бал 1 – мікропори відсутні;

– бал 2 – наявні окремі мікропори розміром до 2 мкм у кількості від 1 до 5 у полі зору мікроскопу;

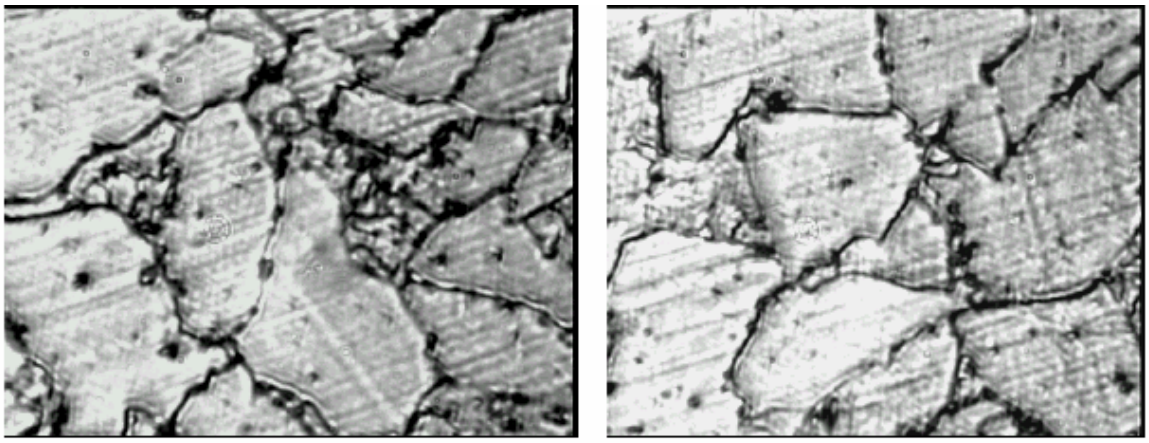
– бал 3 – понад 10 мікропор без переважальної орієнтації;

– бал 4 – значна кількість мікропор з переважаючою орієнтацією;

– бал 5 – наявні ланцюжки мікропор.

Об'ємну частку пор, накопичену за час випробувань, визначали точковим методом, який вважають найпридатнішим для оцінки об'ємного складу матеріалу, що містить такі високодисперсні структурні об'єкти як мікропори [4]. Кількість вимірювань відносно фіксованого значення достовірності очікуваної похибки 0,05 % з імовірністю визначення об'ємної частки мікропор 0,9 дискретно змінювали на підставі попередніх розрахунків згідно з рекомендаціями, наведеними в монографії [4].

На рис. 1 показані типові структури зразків сталі 15ХМ, які в значній степені ушкоджені мікропорами. Мікроструктурні дослідження показують, що початково мікропори накопичуються в тілі зерен легованого фериту. Карбіди за час випробувань укрупнилися і розташовуються переважно на границях зерен; тут же утворюються мікропори. Останні за великої тривалості експерименту зливаються у ланцюжки.



а б

Рис.1. Мікроструктури сталі після випробувань на повзучість за 510 °С та напруження 196,2 МПа тривалістю: а –18009 год.; б – 36945 год.; ´ 500

Надійне виявлення пошкодження мікропорами за допомогою світлової

мікроскопії внаслідок малого їх розміру та незначної об'ємної частки практично стає можливим за значень останньої понад 0,1 % (об.).

На рис. 2 для трьох значень початкового напруження наведено результати вимірювань об'ємної частки пор залежно від відносної довговічності t/t_{p} . Точність визначення об'ємної частки пор за $t/t_{\text{p}} > 0{,}9$ суттєво втрачається, тому це значення було обране за гранично допустиме. За $t/t_{\text{p}} = 1$ вимірюваний параметр набуває значення об'ємної частки пор поблизу місця руйнування f_{p} .

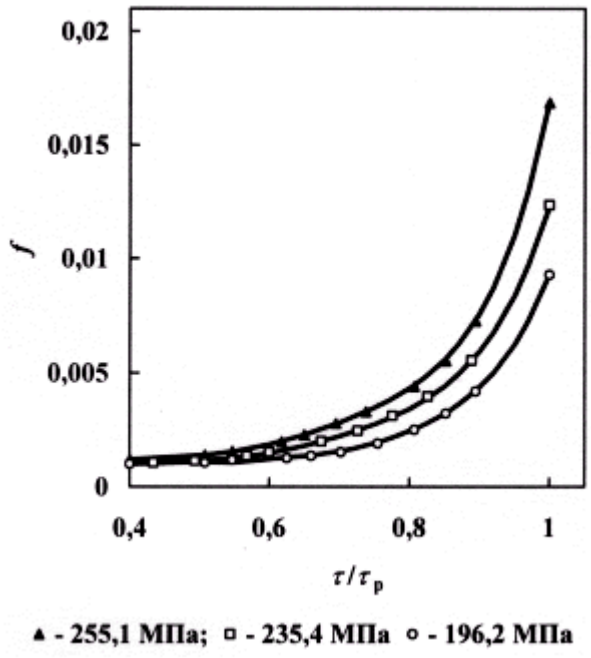


Рис. 2. Зміна об'ємної частки пор під час повзучості сталі 15ХМ

Аналіз кривих розподілу об'ємної частки пор залежно від часу випробувань показав, що відносний параметр деградації структури, розрахований за ступенем мікропошкодження порами f/f_{p} для різних значень початкового напруження змінюється дуже подібно (рис. 3). На наведеному графіку вирізняються три характерні стадії накопичення пошкоджень структури внаслідок пороутворення: повільного $\left(t/t_{\text{p}} < 0{,}70\right)$, поступово зростаючого $\left(0{,}70 < t/t_{\text{p}} < 0{,}85\right)$ та швидкого $\left(t/t_{\text{p}} > 0{,}85\right)$. Точку перетину прямолінійних ділянок, що відповідає відносній тривалості випробувань $0{,}81\,t/t_{\text{p}}$, визначали засобами регресійного аналізу, беручи за умову одержання найменшої середньоквадратичної похибки. Отже можна вважати, що інтенсивне зростання ступеня пошкодження сталі 15ХМ під час випробувань в умовах одновісного напруженого стану настає, коли тривалість випробування досягає 0,80-0,82 від розрахункового часу до руйнування.

Одночасно з кількісним вимірюванням об'ємної частки мікропор проводили якісну оцінку ступеня мікропошкодження за п'ятибальною шкалою. Орієнтовно другий бал мікропошкодження за сталої температури випробувань 510 °С, але залежно від на-

пруження, відповідає концентрації пор 0,10-0,25 % (об.), третій – 0,25-0,30 % (об.), четвертий та п'ятий – понад 0,40 % (об.).

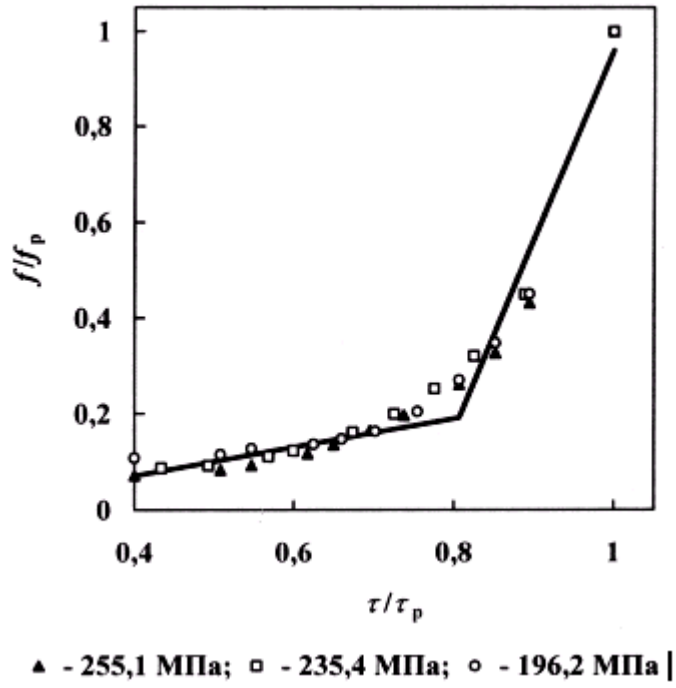


Рис. 3. Зміна відносного параметра деградації структури за ступенем мікропошкодження порами під час повзучості

Водночас за другого балу відносна ступінь пошкодження мікропорами менша за 0,15 (на рис. 3 – стадія повільного зростання цього параметра до $\left(t/t_{\text{р}} < 0{,}70\right)$); третього – 0,15-0,20 з $\left(0{,}70 < t/t_{\text{р}} < 0{,}85\right)$; четвертого – понад 0,30 $\left(t/t_{\text{р}} > 0{,}85\right)$. Отже між якісними і кількісними параметрами мікропошкодження порами можна виявити відповідність, так само як і з відносною тривалістю випробувань на повзучість. Таку взаємну узгодженість надалі можна використати для моделювання поведінки матеріалів у реальних умовах експлуатації елементів конструкцій теплоенергетичного устаткування. Звертає на себе увагу те, що відносний параметр пошкодження структури за сталої температури випробувань практично не залежить від величини початкового напруження і змінється з відносною тривалістю випробувань відповідно на стадіях повільного та швидкого накопичення дефектів структури згідно з рівняннями:

$$f/f_{\text{р}} = 0{,}29\,t/t_{\text{р}} - 0{,}05\,; \qquad \textbf{(1)}$$

$$f/f_{p} = 3{,}96\,t/t_{\text{р}} - 3{,}01\,. \qquad \textbf{(2)}$$

Отримані результати щодо розвитку і поширення пороутворення безпосередньо пов'язані з деформаційним пошкодженням під час повзучості: пластичне деформування сприяє зародженню мікропор, наприклад, унаслідок утворення порогів на рухомих дислокаціях за їх взаємодії з іншими дислокаціями та зародження вакансій під час їх руху з порогами. Кінетично цей процес відповідає першій стадії деградації структури. З

часом домінуючою стає міграція таких вакансії разом з термічними до границь зерен та їх коагуляція. На стадії швидкого накопичення структурних пошкоджень вакансії збільшуються до умовного діаметра 3,0±1,5 мкм й зливаються у ланцюжки, з яких з часом утворюються мікротріщини. Тому поява надлишкових відносно термічних вакансій, викликаних пластичним деформуванням, визначає швидкість росту мікропор. Наявність пор також прискорює повзучість внаслідок релаксації напружень, стоку вакансій до них та границь зерен тощо. Звідси випливає практичний висновок про можливість оцінки ступеня розвитку одного процесу за характеристиками іншого. Зокрема, ступінь пошкодження металу можна оцінювати за результатами експлуатаційних досліджень характеристик повзучості елемента конструкції, а саме вимірюванням ступеня пластичної деформації.

Внаслідок того, що повзучість є результатом перебігу різних фізичних явищ, які взаємно пов'язані, неможливо описати процес у рамках якоїсь однієї моделі. Для розв'язку такої задачі використовують рівняння феноменологічного типу, у яких з найбільшою точністю враховано сумарний ефект впливу головних фізичних процесів деградації під час повзучості [1, 6, 7]. Виявлена залежність між відносною тривалістю випробувань та ступенем деградації структури створює передумови для раціонального вибору методів сумування відносних працездатностей. На нашу думку, допоки концепція оцінки ступеня пошкодження жароміцних (теплостійких) матеріалів остаточно не визнана, потребують подальшого вивчення такі методи оцінки залишкового ресурсу, що поєднують і відносний показник довговічності, і структурний фактор деградації. Перевагою такого підходу до розв'язання задачі оцінки залишкового ресурсу є те, що фактично враховується ступінь мікропошкодження матеріалу порами. Проте постає задача вибору правильного співвідношення значення відносної довговічності та деформаційного (з певною часткою за рахунок утворення пор) пошкодження.

У вітчизняній та зарубіжній практиці відомі випадки експлуатації елементів конструкції зі значним ступенем мікропошкодження (з ланцюжками пор) упродовж двох років після їх виявлення [3], тому проблема оцінки залишкової довговічності пароенергетичного устаткування в залежності від кількості і характеру розподілу мікропор в металі потребує спеціального перегляду.

Висновки. Встановлена відповідності якісних і кількісних параметрів мікропошкодження порами між собою та з відносною тривалістю випробувань на повзучість. Інтенсивне зростання ступеня пошкодження сталі під час випробувань в умовах одновісного напруженого стану настає, коли тривалість випробувань досягає 0,80–0,82 від часу до руйнування. Запропоновані феноменологічні рівняння, які пов'язують ступінь пошкодження структури сталі 15ХМ з відносною тривалістю випробувань.

Список літератури: 1. Березина Т.Г., Бугай Н.В., Трунин И.И. Диагностирование и прогнозирование долговечности металла теплоэнергетических установок. – К.: Техніка, 1991. – 118 с. **2.** ОСТ 34-70-690-96. Металл паросилового оборудования электростанций / Методы металлографического анализа в условиях эксплуатации. – М.: ВТИ, 1997. – 47 с. **3.** Пастернак В.П., Гладиш П.В. Прогнозування ресурсу згинів високотемпературних паропроводів за результатами дослідження їх мікропошкоджень ня // Налагоджувальні, експериментальні та науково-дослідні роботи ВАТ "ЛьвівОРГРЕС". – Львів, 2004. – С. 253-257. **4.** Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1970. – 376 с. **5.** ГКД 34.20.507-2003 / Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2003. – 508 с.

6. Odquist F.K.G. Mathematical Theory of Creep and Creep Rupture: 2-nd editoin. – Oxford: Clarendon press, 1974. – 540 p. **7.** Работнов Ю.Н. Ползучесть елементов конструкций. – М.: Наука, 1966. – 752 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Копп В.Я., Чуб О.П. *(СЕВНТУ, Севастополь, Украина)*

Analytical expressions, which are useful for some readjusted automated production system (RAPS) mathematical optimization problem statements to increase work efficiency of these systems are adduced. Potential refusal and readjustment time losses in RAPS were taken into account

Переналаживаемым автоматизированным производственным системам (ПАПС) присущи все признаки, характерные для сложных систем: наличие единой цели функционирования, сложность реализуемых системой функций и поведения системы, взаимодействие системы с внешней средой и функционирование в условиях воздействия случайных факторов, нерегулярность во времени воздействия входной нагрузки и др. Все многообразие действующих факторов и реакцию системы на них интегрально оценивают следующими основными показателями: производительностью, коэффициентом готовности, гибкостью и экономической эффективностью (ГОСТ 4.368-85). Основным резервом повышения производительности в условиях мелкосерийного производства является сокращение простоев системы. Отказы оборудования, а также необходимость проведения частых переналадок являются главными причинами простоев системы.

Одной из важных задач, возникающих при совершенствовании автоматизированных переналаживаемых систем, является нахождение наилучшего по определенному критерию варианта обслуживания данных систем. Так имеющиеся резервы могут направляться на устранение простоев по отказам (на ремонт оборудования), либо на осуществление переналадок. При этом соответствующие длительности простоев возможно уменьшить, но это, в свою очередь, повлечет за собой вложение средств на оплату работ по устранению отказов, либо осуществлению переналадок.

Известно, что критерием выбора оптимального решения при параметрическом синтезе переналаживаемых автоматизированных производственных системы (ПАПС) с учетом ее надежности и переналадок служит минимум приведенных затрат [1]:

$$E_н K_0 + C + У_г + У_п + У_{сз} \to \min , \qquad (1)$$

где $E_н$ - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K_0 - капитальные вложения; C - текущие затраты на повышение надежности и гибкости системы; $У_г$, $У_п$, $У_{сз}$ - математическое ожидание денежного выражения годового ущерба от отказов и переналадок соответственно ПАПС, потребителей и смежных звеньев.

Указанные в (4.1) ущербы $У_г$, $У_п$, $У_{сз}$ при объединении составляющих (ПАПС, потребители, смежные звенья) в единую систему, могут быть заменены обобщенным ущербом У. При решении ряда задач оптимизации ПАПС составляющие $У_п$, $У_{сз}$ и K_0 в (1) могут не учитываться, если они являются постояными величинами.

Тогда задача сводится к определению минимума

$$C + У \to \min . \qquad (2)$$

Следует отметить, что ущерб У от оказов и переналадок тем меньше, чем выше коэффициент готовности системы и меньше время переналадок, что очевидно. Однако, как правило, на практике решаются и другие задачи, вытекающие из приведенного выше выражения: одна составляющая в (2) принимается за критерий оптимизации, а другая используется в качестве ограничения. Т.е. решаются задачи условной оптимизации. Они формулируются следующим образом:

- повышение производительности переналаживаемых автоматизированных производственных систем на основе оптимального распределения ограниченных ресурсов;
- минимизация суммарных вкладываемых средств, обеспечивающих заданный уровень производительности в условиях переналаживаемого автоматизированного производства

Производительность ПАПС с учетом влияния переналадок и отказов для дальнейшего решения задач оптимизации [2]можно представить как количество годной продукции в единицу времени:

$$П = \frac{1}{T_p + T_o(C_o) + T_п(C_п)},$$

где T_p - время работы системы без простоев; $T_o(C_o)$, $T_п(C_п)$ - времена простоев системы соответственно из-за отказов и переналадок системы, зависящие от количества вложенных средств C_o, $C_п$ на мероприятия по их снижению.

Время работы T_p переналаживаемой системы по модели [2, 3] определяется следующим образом. По известным математическим ожиданиям $M\alpha_{1i}$ времени обслуживания i-й партии продукции, вероятности поступления продукции i-го вида $P_i=n_i/\sum_{i=1}^{m} n_i$ (n_i - размер партии i-го вида, $i=\overline{1,m}$).

$$T_p = \frac{\prod_{i=1}^{m}\left(\frac{M\alpha^p_{1i}}{P^p_i}\right)}{\sum_{p=1}^{m}\prod_{i=1,i\neq p}^{m}\left(\frac{M\alpha^p_{1i}}{P^p_i}\right)}. \qquad (3)$$

В (3) и других выражениях, содержащих в знаменателе сумму "неполных" произведений, (образующихся поочередным вычленением сомножителей, составляющих "полное" произведение в числителе) используется вспомогательный индекс p, который опускается при описании входящих параметров.

Время $T_o(C_o)$ определяется как разность времени обслуживания с учетом простоев по отказам T_{po} и T_p.

$$T_o(C_o) = T_{po} - T_p.$$

Согласно результатам, приведенным в [2, 3], T_{po} в общем случае определяется как

$$T_{po} = \frac{\prod_{i=1}^{m}\left(\frac{M\alpha^{p}_{1i}\left(M\alpha^{p}_{2i} + M\beta^{p}_{2i}\right)}{P^{p}_{i} \cdot M\alpha^{p}_{2i}}\right)}{\sum_{p=1}^{m}\prod_{i=1,i\neq p}^{m}\left(\frac{M\alpha^{p}_{1i}\left(M\alpha^{p}_{2i} + M\beta^{p}_{2i}\right)}{P^{p}_{i} \cdot M\alpha^{p}_{2i}}\right)}, \quad (4)$$

где $M\alpha_{2i}$ и $M\beta_{2i}$ - математические ожидания времен наработки на отказ и восстановления ПАПС при обслуживании различных видов продукции, $i = \overline{1,m}$.

Если времена наработки на отказ и восстановления не зависят от вида продукции, то (4) преобразуется к виду

$$T_{po} = \frac{\left(M\alpha_2 + M\beta_2\right)}{M\alpha_2} \cdot \frac{\prod_{i=1}^{m}\left(\frac{M\alpha^{p}_{1i}}{P^{p}_{i}}\right)}{\sum_{p=1}^{m}\prod_{i=1,i\neq p}^{m}\left(\frac{M\alpha^{p}_{1i}}{P^{p}_{i}}\right)}, \quad (5)$$

где $M\alpha_2$ и $M\beta_2$ - математические ожидания времен наработки на отказ и восстановления ПАПС.

Тогда

$$T_o(C_o) = \left[\frac{\left(M\alpha_2 + M\beta_2\right)}{M\alpha_2} - 1\right] \cdot \frac{\prod_{i=1}^{m}\left(\frac{M\alpha^{p}_{1i}}{P^{p}_{i}}\right)}{\sum_{p=1}^{m}\prod_{i=1,i\neq p}^{m}\left(\frac{M\alpha^{p}_{1i}}{P^{p}_{i}}\right)}. \quad (6)$$

Время $T_п(C_п)$ при известных $M\alpha_{ij}$- математическом ожидании времени переналадки с i-й на j-ю партию, вероятностях разрежения потока деталей $P_{ij} = 1/(m-1)$, $P_{\Sigma i} = 1/m$ (m - количество видов продукции) равно математическому ожиданию случайной величины времени переналадок [2, 3]

$$T_п(C_п) = \frac{\prod_{i=1}^{m}\left(\frac{1}{P^{f}_{\Sigma i}} \cdot \frac{\prod_{j=1,j\neq i}^{m}\left(\frac{M\alpha^{pf}_{ij}}{P^{pf}_{ij}}\right)}{\sum_{p=1}^{m}\prod_{\substack{j=1,j\neq i,\\ j\neq p}}^{m}\left(\frac{M\alpha^{pf}_{ij}}{P^{pf}_{ij}}\right)}\right)}{\sum_{f=1}^{m}\prod_{i=1,i\neq f}^{m}\left(\frac{1}{P^{f}_{\Sigma i}} \cdot \frac{\prod_{j=1,j\neq i}^{m}\left(\frac{M\alpha^{pf}_{ij}}{P^{pf}_{ij}}\right)}{\sum_{p=1}^{m}\prod_{\substack{j=1,j\neq i,\\ j\neq p}}^{m}\left(\frac{M\alpha^{pf}_{ij}}{P^{pf}_{ij}}\right)}\right)}. \quad 7)$$

В (7) кроме индекса p, используется и вспомогательный индекс f, для образования внешней суммы "неполных" произведений в знаменателе, индекс p необходим здесь для образования "неполных" произведений вложенных сумм. Эти индексы опускаются при описании входящих параметров.

Обозначим выражение

$$\frac{\prod_{j=1,j\neq i}^{m}\left(\frac{M\alpha_{ij}^{pf}}{P^{pf}{}_{ij}}\right)}{\sum_{p=1}^{m}\prod_{\substack{j=1,j\neq i,\\ j\neq p}}^{m}\left(\frac{M\alpha_{ij}^{pf}}{P^{pf}{}_{ij}}\right)} = M\alpha_i ,$$

где $M\alpha_i$ математическое ожидание времени переналадки изделия i-го типа на другие из m. Тогда (7) преобразуется к виду

$$T_п(C_п) = \frac{\prod_{i=1}^{m}\left(\frac{1}{P^{f}{}_{\Sigma i}}\cdot M\alpha^{f}{}_{i}\right)}{\sum_{f=1}^{m}\prod_{i=1,i\neq f}^{m}\left(\frac{1}{P^{f}{}_{\Sigma i}}\cdot M\alpha^{f}{}_{i}\right)}. \qquad (8)$$

Пусть $C_{пi}$ $(i=\overline{1,m})$ - размеры вкладываемых средств на сокращение потерь из-за переналадок при изготовлении m различных видов продукции, а C_0 - на сокращение потерь времени из-за отказов.

Известно [4], что при вложении средств с увеличением затрат скорость увеличения отдачи уменьшается, а начиная с некоторой величины, остается на прежнем уровне. Для случая вложения средств на сокращение длительности простоев из-за отказов и переналадок системы данная закономерность иллюстрируется рисунком 1.

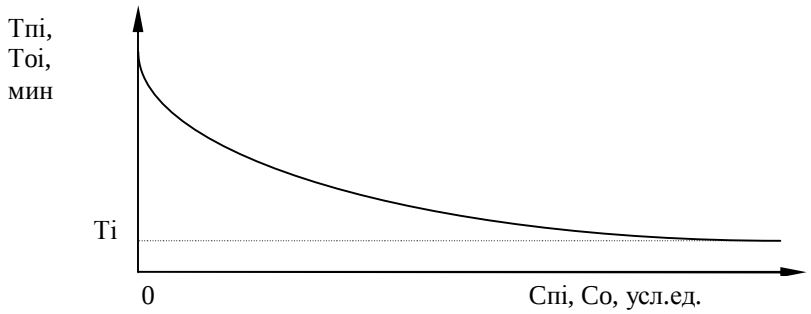


Рис. 1. Зависимость простоев системы из-за отказов To и переналадок Tпi от количества вкладываемых средств Cпi, Co

Приведенная зависимость строится следующим образом: на основе экспериментальных данных получают взаимосвязь приращения вкладываемых средств и соответствующего изменения времен потерь, последовательно увеличивая количество вложенных средств и фиксируя при этом значения времен простоев.

Исходя из этого, для аппроксимации реальной зависимости простоев из-за переналадок i-го вида продукции от вкладываемых средств, можно использовать экспоненциальную функцию следующего вида:

$$T_{пi}(C_{пi}) = a_{пi} + k_{пi}\cdot e^{-\lambda_{пi}C_{пi}}, \quad i=\overline{1,m}; \qquad (9)$$

где $\lambda_{пi}, k_{пi}, a_{пi}$ - постоянные коэффициенты, определяемые при аппроксимации методом наименьших квадратов [5], а $C_{пi}$ - средства, вкладываемые на сокращение простоев при переналадке.

Аналогично для зависимости времени восстановления системы от вкладываемых средств

$$T_o(C_o) = a_0 + k_o \cdot e^{-\lambda_o C_o}, \quad (10)$$

где λ_o, k_o, a_0 - постоянные коэффициенты, определяемые при аппроксимации, а C_o - средства, вкладываемые на сокращение времени восстановления.

Экспоненциальная функция выбрана в качестве аппроксимирующей, так как является монотонной, что соответствует реальному объекту.

На основе изложенного подхода может решаться ряд оптимизационных задач, связанных с проектированием и эксплуатацией ПАПС. Разработанная методика пригодна для оптимизации различных переналаживаемых систем механосборочного производства, в том числе и имеющих сложную, иерархическую структуру. Системы могут состоять из совокупности технологических модулей, а в случае использования временного резервирования - объединенных посредством накопительных элементов, или же рассматриваться совместно с потребителями и смежными звеньями. В любом случае, для оптимизации достаточно получить для системы произвольной структуры значения времен наработки на отказ, восстановления, обслуживания и переналадки.

Список литературы: 1. Повышение эффективности гибкого сборочного производства: Методическое пособие для проведения практических занятий по дисциплине «Моделирование автоматизированных технологических процессов и производств». – К.: Знание, 1991. – 24 с. **2.** Чуб О.П., Копп В.Я. Статистическая оценка параметров автоматизированных производственных систем переналаживаемого производства// Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр./ Севастоп. гос. техн. ун-т, 2000. - Вып.3.- С. 89-94. **3.** Копп В.Я., Чуб О.П., Обжерин Ю.Е. Математическая модель оценки влияния переналадок и отказов на производительность ГПС// Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр./ Севастоп. гос. техн. ун-т, 1999. - Вып.1.- С. 39-45. **4.** Блауг М. Экономическая мысль в ретроспективе. - М.: Дело ЛТД, 1994. – 536 с. **5.** Инженерное обеспечение гибкого производства и изделий радиоэлектроники/ С.Д. Кретов, В.М. Литвинов, Я.Е. Львович и др. - М.: Радио и связь, 1989. – 208 с.: ил.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Кошкин К.В., Романчук Н.П., Яни А.Ю. (НУК им. адм. Макарова, ОАО «Damen Shipyards Okean», г. Николаев, Украина;)

Advantages of CALS-technology are discussed and demonstrated. The analysis of organization of production planning at shipbuilding, its business-processes and information systems which support these processes were done. Reengineering of process 'Production planning' was done. Influence of its optimization and information integration for rise the efficacy of shipbuilding is proved.

На сегодняшний день украинское судостроительное производство значительно отстает от западных производителей. Отсутствие полной автоматизации всех процессов жизненного цикла постройки судна приводит к следующим проблемам: возникновение информационного хаоса, коммуникационных барьеров; неэффективность процессов и взаимодействия между участниками ЖЦ. Вследствие этих проблем снижаются времен-

ные и материальные издержки, степень удовлетворения потребности заказчиков, а результатом является снижение конкурентоспособности судостроения.

Судостроительное производство достаточно трудоемкое. Для повышения конкурентоспособности необходимо внедрение и использование современных технологий и стратегий организации производства. Для повышения уровня судостроения следует начинать с управления процессами. Это реализуется с помощью технологии CALS, задача которой состоит в непрерывном развитии и поддержки ЖЦ [2, 3].

Применение CALS - технологий для автоматизации процессов ЖЦ постройки судна позволяют расширить области деятельности предприятий за счет кооперации с другими предприятиями, повысить эффективность бизнес-процессов, обеспечить заданное качество продукции в интегрированной системе поддержки ЖЦ путем электронного документирования всех процессов и процедур.

Прозрачность и управляемость процессов повышается путем создания единого информационного пространства предприятия. Для создания единого информационного пространства предприятия необходимо осуществление совместного использования информации в процессах, выполняемых в ходе ЖЦ продукта, которое базируется на применении информационной модели изделия (ИМИ) [2].

Для реализации этой задачи необходима информационная интеграция всех процессов, что может быть достигнуто с помощью оптимизации бизнес-процессов предприятия.

Проведение оптимизации сразу всех процессов жизненного цикла постройки судна экономически и психологически неэффективно. Рационально начинать с тех процессов, которые являются основными в судостроении и деятельность которых оказывает влияние на все процессы ЖЦ. «Планирование производства» происходит параллельно с остальными процессами ЖЦ, информация на выходе «Планирования производства» используется на всех этапах ЖЦ.

Целью работы является анализ процесса «Планирование производства» ОАО «Damen Shipyards Okean» и проведение на его основе оптимизации для повышения эффективности этого процесса.

Для создания единого информационного пространства предприятия необходимо обеспечить автоматизацию всех подпроцессов «Планирования производства», предварительно проведя их оптимизацию с использованием такого средства как реинжиниринг. Идеология реинжиниринга достаточно обширна [4, 5]. В работе понятие реинжиниринг рассматривается как перепроектирование бизнес-процессов с целью повышения эффективности информационной системы всего судостроительного предприятия.

Применение принципов реинжиниринга позволит эффективно перестроить процесс организации труда. Постоянное совершенствование системы управления судостроительными процессами – одно из главных слагаемых высокоэффективной работы судостроительным производством в целом.

Первым шагом реинжиниринга является идентификация процесса, которая осуществляется с помощью 3 критериев [5]:

1. Дисфункциональность.

Осуществление процесса «Планирование производства» сопряжено с наибольшими трудностями. Обмен информацией между отделом управления снабжением, отделом подготовки производства, отделом заключения контрактов, отделом менеджеров проекта, отделом технической подготовки производства, отделом регулирования трудозатрат и отделом планирования осуществляется на «бумажном уровне»; модули автоматизированной системы управления предприятием используются не все, что при-

водит к увеличению сроков выполнения соответствующих работ, нерациональному расходу ресурсов, лишним трудозатратам, порождает дополнительный источник ошибок; данные, необходимые для планирования производства и построения интегрированного графика постройки (график выпуска РКД, график снабжения, график постройки, бюджет), вычисляются вручную и заносятся в базу данных системы управления проектами с одного рабочего места.

2. Значимость.

Отлаженный механизм действия процесса «Планирование производства» определяет деятельность всего судостроительного предприятия ОАО «Damen Shipyards Okean». Благодаря ему, происходит своевременное определение потребности в материалах, комплектующих, трудовых ресурсах и компонентах, время окончания и начала работ по заказу в целом и по отдельным узлам. Исходные данные, которые требуются для этого процесса, прямо или косвенно поставляют почти все подразделения; на данном этапе осуществляется работа с производствами разных типов и данными от многих подразделений. Информационное взаимодействие между отделами показано на рисунке 1.

Рис. 1. Информационные потоки между отделами

3. Осуществимость.

Планирование производства может быть перепроектирован в данный момент наиболее успешно, потому что на предприятии есть ИС, которые позволяют полностью автоматизировать эти процессы. Такие как Primavera, IT-предприятие.

На втором этапе реинжиниринга следует определить руководителя процесса и команду, которая будет проводить и сопровождать реинжиниринг.

Руководитель процесса - начальник отдела планирования.

Команда - производственный планировщик, проектный планировщик, координатор по закупкам, технический руководитель проекта.

Следующий этап реинжиниринга - перепроектирование процесса. При перепроектировании бизнес-процесса используется способ вертикальное сжатие процесса, суть которого заключается в следующем: предоставление исполнителям права принимать самостоятельные решения, вследствие чего расширяются полномочия и повышается

роль каждого из сотрудников в работе предприятия, что приводит к уменьшению времени задержек, снижению стоимости продукции и услуг, ускорению реакции на запросы клиентов.

В таблице 1 показана декомпозиция процесса «Планирование производства», определены исполнители каждого подпроцесса, информационные потоки и системы, которые содержат в себе средства и инструменты, способствующие информационной интеграции подпроцессов.

Таблица 1. Декомпозиция процесса «Планирование производства»

Подпроцесс	**Руководитель**	**Входные данные**	**Выходные данные**	**Информационные системы**
Разработка поэтапного графика	Производственный планировщик	Предконтрактные документы, внутренняя документация	Контракт, поэтапный график	Primavera Enterprise, IT-предприятие
Построение производственного графика	Проектный планировщик	Внутренняя документация, контракт	Производственный график	Primavera Enterprise, Tribon
Построение графика закупок	Координатор по закупкам	Внутренняя документация, контракт	График закупок	Primavera Enterprise, IT-предприятие
Построение графика поставки документации	Технический руководитель проекта	Внутренняя документация, контракт	График поставки документации	Primavera Enterprise
Построение интегрированного графика постройки	Проектный планировщик	Производственный график, график закупок, график поставки документации	Интегрированный график постройки	Primavera Enterprise
Выявление узких мест	Проектный планировщик	Интегрированный график постройки	Предложения по оптимизации узких мест	Primavera Enterprise, IT-предприятие, Tribon
Создание цеховых графиков	Производственный планировщик	Интегрированный график постройки	Цеховые графики	Primavera Enterprise, Tribon
Планирование портфеля заказов	Производственный планировщик	Поэтапные графики высокопотенци-альных проектов	Портфель заказов	Primavera Enterprise

Из таблицы 1 видно, что информационные потоки процесса «Планирование производства» могут осуществляться с помощью информационных систем, которые есть на ОАО «Damen Shipyards Okean».

Система управления ресурсами (ERP) оперирует теми же данными, с которыми работают конструкторы, технологи и планировщики – информацией об изделиях, материалах и комплектующих, технологических маршрутах и производственных мощностях, поэтому для создания непрерывного конструкторско-производственного цикла нужно объединить ERP-систему IT-предприятие и систему конструкторской и технологической подготовки в рамках единой информационной системы. Интеграция CAD/CAM/CAE системы и ERP способствует:

- повышению эффективности планирования процессов заказа комплектующих, управления работой складов;
- автоматизации оперативного планирования, учета и управления производственной деятельностью предприятия;
- эффективному управлению качеством продукции и загрузкой производственных мощностей, управления материальными, техническими и финансовыми потоками.

Так как для составления графиков используется информация, которая содержится в системе IT-предприятие, то необходима ее интеграция с Primavera Enterprise.

Так как CAD/CAE/CAM-система Tribon, система управления проектами Primavera Enterprise, автоматизированная система управления предприятием IT-предприятие полностью соответствуют концепции открытых систем, то их можно объединить в единую информационную систему предприятия (рис.2), что реализует единое информационное пространство предприятия в соответствии с технологией CALS.

Рис. 2. Диаграмма потоков данных информационной системы

Заключительным этапом реинжиниринга процесса «Планирование производства» является проведение стандартизации и документирования. Документирование про-

цессов позволяет принимать меры, необходимые для достижения запланированных результатов и постоянного улучшения этих процессов.

В ISO 9001:2000 приведен ряд требований к оформлению документации по процессам [1]. В целом нормативная документация по процессам включает в себя:

- карты процессов;
- блок-схемы процессов;
- описания процессов в любой приемлемой форме;
- процедуры;
- рабочие и должностные инструкции.

При этом стандарт не регламентирует правила документирования, позволяя использовать различные типы документов: графические, визуальные, электронные

Приступая к описанию бизнес-процессов, необходимо выделить из них ключевые и описать все взаимосвязи. Для каждого процесса создается графическое описание взаимодействия подпроцессов и процедур с указанием входящих и исходящих потоков. Для этого можно использовать привычные средства визуализации (блок-схемы) или любые технологии моделирования бизнес-процессов, потоков данных и логики взаимодействия информационных потоков (IDEF0, IDEF3, DFD, UML и т. д.). Для описания бизнес-процесса используется IDEF0 (Integrated Definition Function Modeling). Эта методология успешно применяется в самых различных отраслях, зарекомендовав себя как эффективное средство формализованного описания, проектирования, анализа и улучшения деловых процессов сложных систем.

Для построения должностных и рабочих инструкций необходимо выделить подразделения и должности, которые будут ответственны за эти процедуры.

Стандарт ISO 9001:2000 также требует, чтобы в документах руководства по качеству были указаны следующие параметры: кем подготовлен документ, кем проверен, кем утвержден; даты создания, проверки, утверждения. Кроме того, нужно указать версию документа, предыдущую версию, которую он заменил; определить область его действия, идентификатор документа (уникальный номер), количество страниц и статус (копия или оригинал). Для каждого документа или в целом руководства по качеству нужно прописать процедуры проверки, утверждения, ввода в обращение, распространения, способы хранения, порядок обновления и изъятия из обращения.

Проведен анализ основного процесса судостроения «Планирование производства», его процедур и подпроцессов, показано влияние оптимизации процесса на повышение эффективности информационной системы ОАО «Damen Shipyards Okean», изучены требования стандарта ISO 9001:2000 для оптимизации, формализации и документирования процесса.

Список литературы: 1. ГОСТ Р ИСО 9001 -2000 **2.** Кошкин К.В. Организация компьютеризованных интегрированных производств в судостроении: Монография. - Николаев: УГМТУ, 1999. - 219 с. **3.** Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции.- М.:Анахарсис, 2002.-304 с. **4.** Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов.// «Стандарты и качество», 2005 г. – 408 с. **5.** Робсон М., Уллах Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов. Практическое руководство.// 2003 г. – 222 с.

РЕФОРМИРОВАНИЕ ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ЧЕРЕЗ РЕОРГАНИЗАЦИЮ НАУКОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Кошкин К.В. (*НУК, г.Николаев, Украина*)**, Чернов С.К.** *(НПКГ «Зоря»-«Машпроект», г. Николаев, Украина)*

In this paper the problems of strategical development of military-industrial establishment in post-Soviet countries are investigated. It is proved, that the state enterprises restructuring of Ministry of Defense increases the efficiency of enterprises work and intensifies competitive capacity of military-industrial establishment on defense technologies market.

Проблема эффективности функционирования и путей развития военно-промышленного комплекса (ВПК) в странах постсоветского пространства, остается в центре внимания практически всех органов государственной власти, коллективов ведущих производственных и научных организаций. Объясняется это тем, что сохранения и укрепления ВПК непосредственно влияет не только на военную безопасность страны, но и на экономику, внешнюю политику, социальную стабильность, темпы научно-технического прогресса, а также позволяет учесть многие важнейшие национальные интересы [6].

Характеризуя состояние современного военно-промышленного комплекса стран постсоветского пространства (на примере Украины и России) остановлюсь на основных «болевых точках».

Первое — экономический потенциал и загрузка. По сравнению с советским периодом ВПК резко сократился. Но и в сокращенном виде ВПК загружен, оценочно, только в среднем на 20% от общего объема продукции, которую он потенциально мог бы выпускать. Примером может служить то, что украинская промышленность выпустила за последние пять лет только 22 самолета [8].

Второе — доля военной продукции, поставляемой в собственные Вооруженные Силы. Если раньше основную долю продукции ВПК составляли поставки военной техники для собственных Вооруженных Сил государства (СССР), то сейчас эта доля снизилась до 17% (Россия) и до 10% (Украина). Остальное — производство на экспорт (более 37%). Так распределен весь объем (чуть более 54%) военной продукции в общем производстве ВПК. Остальные около 46% производимой продукции имеют гражданское назначение, но здесь доля экспорта (11%) существенно ниже, чем доля продукции ВПК (35%), потребляемой в самих странах производителях.

Нетрудно увидеть, что, основываясь на программе вооружения, пусть даже идеальной, которая в последние годы занимала в среднем менее 3% от потенциальных мощностей, предприятия ВПК объективно не могут составить для себя достаточно достоверный долгосрочный план развития. Некоторое увеличение объема госзаказа, о котором так много говорится, проблему тоже не решает.

Следующая особенность современной экономической ситуации — это структура собственности предприятий ВПК. Так в России из их общего количества приблизительно только 40% остались государственными, еще 30% являются акционерными организациями с долевым участием государства, а 30% — без участия государства. Собственники-частники вряд ли всегда станут руководствоваться только общенациональными интересами и плановыми предначертаниями государства, не сулящими, возможно, такой прибыли, какую им хочется получать.

Предложенный выше краткий анализ выявляет такие принципиально новые проблемы стратегического планирования, которые ни при каких обстоятельствах не могли

быть предусмотрены разработчиками прежней методологии программно-целевого управления развитием экономики.

И еще один вопрос связан со структурой размещения технологий на предприятиях. Безусловно, высокие технологии в ВПК еще имеются. Но эти технологии, в основном, — разработки еще советского периода нашей истории, либо более поздние, но опирающиеся на научный фундамент советской науки. А этот задел иссякает. Умышленно или нет, но так называемое «недофинансирование» расходов на национальную оборону более всего коснулось именно сферы НИОКР. Мало того: в годы построения у нас «рыночной» экономики неуклонно снижался планируемый объем госзаказа. Уменьшался и уровень фактического финансирования.

В этих условиях намеченное спасение ВПК путем реструктуризации, не подкрепленной новыми знаниями и технологиями, а также путем возврата к плановым предначертаниям может свестись к очередной безуспешной реорганизации. И более того [4], само по себе выделение «ядра» — еще не гарантия успеха. Ведь при неритмичном и неполном финансировании госзаказа оказывается, что именно тому предприятию, которое попало в список якобы привилегированных и получило госзаказ, может от этого стать не лучше, а хуже, поскольку известно много случаев, когда государство отказывалось оплачивать уже выполненные по его заказу работы.

Полезно напомнить, что в рыночной среде функционирование предприятий осуществляется в условиях существенно большей неполноты информации и неопределенности протекания экономических процессов. Принятие решений требует специальных навыков рационального хозяйствования и применения современных инструментов управления проектами. Однако большинство предприятий, созданных централизованной административно-плановой системой, не только не имеют достаточного опыта самостоятельного принятия управленческих решений, но и до сих пор крайне слабо обеспечены методическими рекомендациями и эффективным инструментарием для работы в условиях неопределенности и риска.

Рассмотрим опыт других государств с рыночной экономикой, понимающих роль и значение научно-технологической базы и использующих эту базу в интересах страны. Несмотря на скудость сырьевых ресурсов, Япония, например, смогла выделить (по данным 1996 года) на НИОКР 82 млрд. долларов против 180 млрд. долларов в США и 5,5 млрд. долларов в России. Данные приведены в пересчете национальных валют по паритету покупательной способности [3]. При этом японское государство не является основным источником средств, выделяемых в Японии на НИОКР. Доля государственных инвестиций была весьма заметной: 21,7%, но главное состояло в том, что с помощью цивилизованных экономических средств в финансирование НИОКР были вовлечены внебюджетные средства. В итоге основную часть средств (73%) инвестировали фирмы, остальное (5,2%) — частные вузы, колледжи, НИИ. Совсем мало (0,1%) — иностранные заказчики.

Следующий аспект проблемы — исполнители НИОКР. В Японии ситуация такова: 71% исследований выполняют лаборатории, входящие в состав самих фирм, 14% — вузы и колледжи, 5% — частные НИИ и только 10% от общего объема НИОКР выполняют государственные НИИ. Однако такое распределение исследовательских сил отнюдь не означает, что работы имеют только прагматический характер. На фундаментальные исследования расходуется ежегодно до 15% средств. И это объяснимо. Полноценные фундаментальные исследования требуют дорогостоящего оборудования и поэтому дороги. Порой и риск их высок. Но все компенсируется высочайшей отдачей. И фирмы при поддержке государства идут на риск.

Модель реформирования серии украинских предприятий, которые входили в перечень объектов стратегического назначения для страны принесла национальному газотурбостроению ощутимую пользу. Так на недавно созданном предприятии «Зоря»-«Машпроект» реализована оригинальная модель слияния конструкторского бюро с производственным объединением, которая основана на принципах проектного управления с использованием новшеств во взаимодействии фундаментальной науки с прикладными разработками и производственной системой. Внедрены схемы информационно-делового обмена с ключевыми кафедрами ведущих вузов Украины (Националный университет кораблестроения, Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», Запорожский национальный технический университет), используется комплексная программа подготовки научных кадров для научно-производственного комплекса. Создание новых изделий осуществляется путем реинвестирования прибыли, полученной от реализации смежных проектов, коммерционализация новых разработок осуществляется с учетом оценки неопределенности и возможных рисков. За последние 5 лет объем капиталовложений увеличился в 4,46 раза, создано дополнительно более 1000 рабочих мест, увеличилась заработная плата в среднем на 20%. Объем научной продукции вырос на 193 млн. гривень, объем реализованной серийной продукции вырос в 1,34 раза.

Таким образом, создание научно-производственных комплексов с системой управления проектами разработок (НИОКР) является действенным механизмом повышения эффективности управления предприятий военно-промышленного комплекса.

Тем не менее, в числе наиболее важных задач, требующих безотлагательного решения, можно особо выделить создание современных действенных механизмов стратегического планирования, управления и контроля; обеспечение внутренней консолидации ВПК, избавление его от структурной избыточности; повышение экономической отдачи от используемой государственной собственности.

Для успешного решения перечисленных и ряда других проблем необходима обоснованная программа интеграции ВПК в рыночную инфраструктуру, повышения его экономической привлекательности. Развитие комплекса, качественный рост его эффективности и конкурентоспособности возможны лишь на основе внедрения современных рыночных инструментов управления [7].

Нынешнее состояние и условия функционирования военно-промышленного комплекса Украины характеризуются следующими основными факторами:

— отсутствием или минимальным объемом бюджетного финансирования по государственному оборонному заказу;

— значительным ограничением самостоятельности в деятельности предприятий на внешнем рынке со стороны государства, обладающего запретительными прерогативами в части номенклатуры экспортируемой продукции и услуг, а также состава зарубежных контрагентов;

— повышенными накладными расходами серийных предприятий отрасли из-за необходимости содержания расчетных (под полноценный государственный оборонный заказ) производственных мощностей;

— устойчивой тенденцией морального старения продукции из-за недостатка средств на НИОКР при высоком уровне конкуренции на внешнем рынке;

— превалирующим значением экспортных продаж продукции, услуг и лицензий для поддержания жизнедеятельности и развития предприятий ВПК;

— постоянным снижением научно-технического и производственного потенциала отрасли из-за недостаточного уровня оплаты высококвалифицированного труда, ее задержки, а также низкой социальной обеспеченности персонала.

Наряду с перспективными направлениями стабилизации и восстановления ВПК таких как: установление оптимальных цен, переход к ресурсосберегающим технологиям, укрепление конверсионной составляющей, развитие экспорта военной продукции, перестройка структуры собственности и т.д. [1,2], необходимо уделить особое внимание интеграции производственных систем, выпускающих серийные изделия с институтами, конструкторскими бюро и научно-производственными предприятиями, занимающимися НИОКР.

В заключение следует отметить, что курс подъема отечественной экономики через повышение эффективности функционирования военно-промышленного комплекса и стратегически важных объектов страны, новые знания и высокие технологии, несомненно, является актуальным, правильным и своевременным.

Список литературы: 1. Багриновский К.А., Бендиков М.А., Хрусталев Е.Ю. Современные методы управления технологическим развитием. — М.: Росспэн, 2001. — 272 с. **2.** Багриновский К.А., Хрусталев Е.Ю. Как сохранить и приумножить оборонно-промышленный потенциал?//Российский экономический журнал. — 1997. — № 1. **3.** Денисов Ю.Д. «Экономика, основанная на знаниях», — настоящее и будущее Японии/В сб. Японский опыт для российских реформ. Выпуск первый. — М.: Диалог-МГУ, 1998. **4.** Николаев Ю.А., Цымбал В.И., Шунин О.П. Приоритеты в развитии ВПК: как их определить?//Обозреватель–Observer. — 1998. — № 1. **5.** Перевалов Ю. Конверсия в России: несбывшиеся надежды//Вопросы экономики. — 1999. — № 7. **6.** Хрусталев Е.Ю., Цымбал В.И. Экономические проблемы обеспечения военной безопасности России. — М.: ЦЭМИ РАН, 2000. **7.** Цымбал В.И., Хрусталев Е.Ю. Вперед, к новым провалам?//Независимое военное обозрение. — 2001. — №38. — 12—18 октября. **8.** Шандра В. Создать 5 млн. дополнительных рабочих мест за пять лет - посильная задача //Зеркало недели. – 2005. - №18.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ АЭС С ПОЗИЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ

Кравец С.Б. *(ВИ(ф) ЮРГТУ(НПИ), г. Волгодонск, Россия)*

Analysis results of available structures of NPP pipeline valves are given in the report as for assurance of its seismic stability. It is proved based on 20 dimensional types of the valves with different kinds of drives that the connection sequence of some elements, which are seismic stable individually, the seismic unstable system as the whole can be obtained in some cases. The ways for formation of effective seismic stable structures of the pipeline valves are suggested.

Трубопроводная арматура широко применяется во многих отраслях промышленности. Но наиболее жесткие требования к ней с точки зрения обеспечения сейсмостойкости предъявляются только в области атомной энергетики.

Основным нормативным документом, регламентирующим требования к арматуре атомных станций, является ОТТ-87 - "Общие технические требования к арматуре для оборудования и трубопроводов АЭС" [1]. В соответствии с этим документом оценка прочности арматуры при сейсмических воздействиях проводится следующим образом: на патрубках арматуры задаются ускорения 30 м/с^2 в обоих горизонтальных направлениях и 20 м/с^2 в вертикальном направлении, а при наличии у арматуры дистан-

ционного привода в его центр масс прикладывается ускорение 80 м/с^2. Сейсмостойкость арматуры оценивается при условии ее крепления за патрубки. Подобным образом проводятся и испытания на сейсмостойкость: арматуру жестко закрепляют за патрубки, а затем на вибростенде задают вышеуказанные ускорения, контролируя при этом ее напряженно-деформированное состояние.

В настоящее время, несмотря на то, что большая часть арматуры, в основном с пневмо- и электроприводами, представляет собой сложные механические устройства, сопоставимые по стоимости с технологическим оборудованием, сложилось устойчивое стереотипное мнение, что арматура является небольшим конструктивным элементом технологической системы АЭС, не заслуживающим особого внимания, такого, какое уделяется технологическому оборудованию. Поэтому, когда появилось требование обеспечения сейсмостойкости, разработчики пошли по классическому пути, оставив в силе подходы, существовавшие при проектировании общепромышленной арматуры, лишь добавляя в исходные нагрузки сейсмические воздействия. Следствием этого подхода стало то, что для обеспечения сейсмостойкости не создавалась принципиально новая эффективная конструкция, а лишь значительно увеличивались толщины патрубков арматуры, обеспечивая прочность как от действия давления и эксплуатационных нагрузок, так и от сейсмических воздействий.

Следует отметить тот факт, что если с точки зрения обеспечения прочности при действии избыточного давления порядок соединения и расположения оборудования, трубопроводов и арматуры не имеет значения, то при сейсмических воздействиях, соединяя два элемента, сейсмостойких по отдельности, мы можем получить не сейсмостойкую систему.

Для проверки вышеуказанного замечания выполним расчеты для представителей арматуры с различными типами привода. Так как вся рассматриваемая арматура поставляется без опорных конструкций, то при обосновании ее сейсмостойкости рассмотрим расчетную схему, приведенную на рис.1.

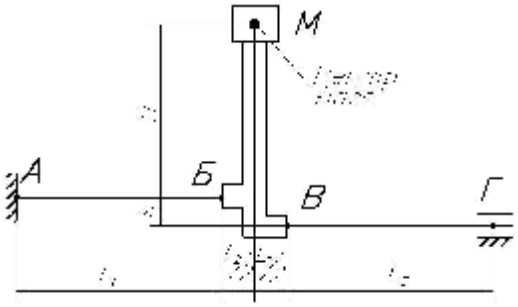


Рис. 1. Расчетная схема

Вторая опора выбрана скользящей потому, что для трубопровода необходимо обеспечить свободу температурных удлинений и снизить нагрузки самокомпенсации. Так как жесткость присоединяемых трубопроводов намного меньше, чем арматуры, то арматуру будем считать абсолютно жесткой. Материал всех элементов – сталь 08Х18Н10Т.

В соответствии с требованиями ОТТ-87 к центру масс привода с массой m, мы должны приложить ускорение $a = 80$ м/с^2, что соответствует инерционной нагрузке $F = ma$, приложенной в центре масс. С целью упрощения расчета примем в рассмотрение лишь эту нагрузку. Остальные нагрузки, повышающие общую нагруженность, учитывать не будем. Так как вся рассматриваемая арматура соответствует требованиям

ОТТ-87 и, следовательно, является сейсмостойкой, то ее прочность при сейсмических воздействиях оценивать не будем.

Расстояние между опорами будем определять из условия опорожняемости трубопровода, приведенного в [2]. Напряжение кручения будем определять в точке А. Результаты выполненных расчетов приведены в таблице.

Таблица 1. Касательные напряжения в заделке трубопровода

Тип	Dy	Присоед. тр-д	Длина пролета, м	Вес армат., кг	Прогиб тр-да, мм	Вес привода, кг	Вылет привода, мм	Касательные напряжения, МПа
Арматура с ручным приводом								
У26362	50	57*4	8,3	13,0	10,0	13,0	270,0	15,6
Арматура с электроприводом								
К326370	10	14*2	0,6	37,5	0,6	28,0	570,0	2770,1
К326370	15	18*2,5	1,0	37,0	1,1	28,0	570,0	1328,3
У26362	50	57*4	6,4	46,0	7,6	28,0	430,0	53,6
К326362	50	57*4	6,5	43,5	7,7	28,0	575,0	71,6
НГ26524	50	57*4	4,0	158,0	4,8	93,0	890,0	368,2
ПТ26273	80	87*4	8,9	85,0	10,4	30,0	610,0	33,2
У26362	100	108*5	10,1	164,0	11,9	75,0	580,0	41,0
С26360	100	108*5	9,9	174,0	11,6	75,0	925,0	65,4
ПТ26273	100	108*5	10,4	150,0	12,4	75,0	720,0	50,9
933-150-ЭВ	150	159*9	12,0	423,0	9,9	131,0	1220,0	39,5
ПТ26273	150	159*9	12,0	239,0	7,2	131,0	810,0	26,2
МА11075	300	325*12	12,0	700,0	1,7	93,0	1520,0	6,0
ПТ11075	600	630*12	12,0	1725,0	0,5	210,0	2480,0	5,7
Арматура с пневмоприводом								
С96547	50	57*4	3,6	190,0	4,1	142,0	670,0	423,3
С96547	80	87*4	3,6	780,0	4,2	588,0	1320,0	1408,0
С96547	100	108*5	5,4	810,0	6,4	590,0	1300,0	722,8
С26517	100	108*5	6,6	524,0	7,9	210,0	1540,0	304,8
Л13075	200	219*11	12,0	730,0	5,2	420,0	1300,0	57,3
Л13075	300	325*12	12,0	1650,0	2,9	1150,0	1515,0	74,1

Оценку прочности арматуры выполним по допускаемым напряжениям, определенным в соответствии с требованиям норм [3, 4]. Для нашего случая допускаемое напряжение равно $(t_s)_s$ = 112 МПа.

Как видно из представленных в таблице результатов расчетов арматура с ручным приводом не оказывает существенного влияния на уровень сейсмической нагруженности трубопровода в месте заделки.

Использование электроприводной арматуры с условными проходами Dy10÷15 с креплением за патрубки вряд ли можно назвать целесообразным, так как даже для ве-

совых нагрузок расстояние между опорами не превышает одного метра. Напряжение в заделке трубопровода с условным проходом Dy50 в случае арматуры, работающей на высоких параметрах (НГ26524), превышает допускаемое, а для остальной - условие прочности выполняется. При дальнейшем повышении условного прохода вклад веса и вылета центра масс электропривода в сейсмическую нагруженность снижается и напряжения в заделке не превышают допускаемых $(t_s)_s$ = 112 МПа.

Для пневмоприводной арматуры условия прочности при кручении в заделке начинают выполняться лишь для арматуры с условными проходами от Dy200 и выше.

Эскизы основных типов рассмотренной арматуры приведены на рис. 2-4.

На основе анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что, следуя в русле прежних подходов и повышая искусственно прочность и материалоемкость самой арматуры, выполняя требования ОТТ-87, мы не сможем ее использовать без опоры. Возникает вопрос – "Зачем проектировать подобную арматуру, имеющую тяжелый привод, без штатных, изготовленных специально для нее, опорных конструкций, если при включении в проект все равно необходимо будет устанавливать опору?". Для разрешения этих противоречий предлагается арматуру с небольшими условными проходами и имеющую вынесенные массивные приводы проектировать и изготавливать в комплекте с опорами. В этом случае исчезают повышенные требования, связанные с прилагаемым в центре масс привода ускорением $a = 80$ м/с^2, так как вылет консоли значительно уменьшается. Кроме того, изготовление арматуры с опорами непосредственно на заводе-изготовителе решает следующие проблемы:

- отпадет необходимость испытаний арматуры, жестко закрепленной за патрубки на вибростенде, ввиду того, что динамические нагрузки от веса арматуры воспринимают не ее патрубки, а опорная конструкция;
- патрубки арматуры, как и у технологического оборудования, будут испытывать нагрузки только от давления и присоединенных трубопроводов;
- поднимется качество опорных конструкций, так как в заводских условиях его обеспечить проще, чем при монтаже;
- конструкция арматуры будет оптимизирована под опорную конструкцию и исчезнут трудности монтажа.

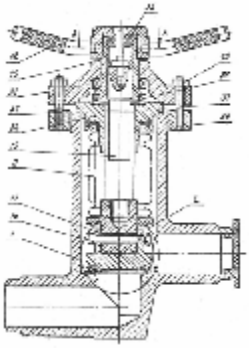


Рис.2 У26362

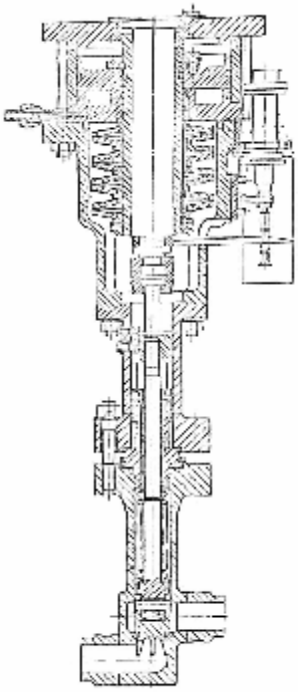


Рис.3 С96547

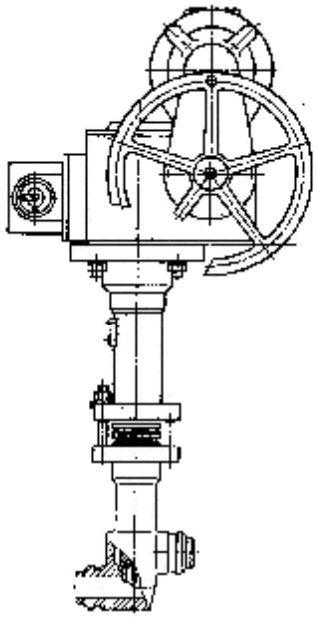


Рис. 4 НГ26524

Таким образом, с целью повышения уровня сейсмостойкости и экономии ресурсов, предлагается специальную трубопроводную арматуру атомных станций, имеющую массивные приводы, проектировать и изготавливать совместно с опорными конструкциями.

Список литературы: 1. Арматура для оборудования и трубопроводов АЭС. Общие технические требования. ОТТ-87. М. 2000. **2.** Кравец С.Б. Оценка сейсмостойкости технологических систем атомных станций. М.: Энергоатомиздат, 2005.– 170 с. **3.** Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-87)/ Госатомэнергонадзор СССР. М.: Энергоатомиздат, 1989. **4.** Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций (НП-031-01)/ Госатомнадзор России. М. 2001.

НЕОБХОДИМОСТЬ НОВЫХ ПОДХОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Кравченко П.Д. *(ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск, Россия)*

Necessity of new approaches to evaluation of machinery objects created is discussed. Any new machinery objects created should be evaluate with complex of criteria, including social, technical, economical, cultural, safety, psychological, heuristic and futurology indexes.

Современные методики оценки качества машиностроительной продукции не учитывают комплекса показателей реальной практической полезности и перспективности нового технического решения, воплощаемого в конкретном изделии или новой технологической системе машиностроения.

Все решения, воплощенные в конкретное изделие – артефакт – относятся к современному состоянию общества; критерии, согласно которым определяется перспективная полезность решения, также определяются согласно современному уровню развития общества.

Однако отдельное общество, в котором создается артефакт, развивается по общечеловеческим законам, отражающим только частные случаи общего развития человечества и Природы.

Возникает логический вопрос: насколько принятые критерии отражают объективность развития Природы, и если человек, создающий артефакт, стремится к обеспечению условий органичного вхождения его в развивающуюся систему Вселенной, то какие критерии он должен принять определяющими, базовыми? В этом заключается главная проблема оценки эффективности объектов современного машиностроения.

Поскольку личность всегда является неотъемлемой частью глобальной системы – Природы, а сама она включена в систему «человеческое общество», которая подразделяется на подсистемы «государство», «нация», «коллектив», которые, в свою очередь, характеризуются различными иерархическими уровнями отношений, то критерии оптимальности артефактов следует искать с учетом всего многообразия систем, уровней и отношений. С другой стороны, человечество и личность, находящиеся на современном уровне общества потребления, на философском уровне еще не осознали свое предназначение в перспективе гармоничного развития.

Единственный метод, который мы используем в современных условиях с обоснованными суждениями – это использование исторического анализа, с оговорками, что иногда и исторические факты искажены отдельными личностями.

Если осмелиться смотреть в будущее с экстраполяцией от предыдущих событий, то необходимо тщательно отбирать факты, и опираться только на достоверные. Использование фальсифицированных данных в таком случае может увести проектировщика в сторону от прогрессивной направленности развития, в которую создатель-проектировщик намерен включить свой артефакт.

Отсюда следует, что использование только методов исторического анализа и экстраполяции при создании перспективных артефактов является недостаточным. Следует включить в этот процесс метод эвристических поисков лучшего технического решения. Отметим, что ученые-изобретатели А.Эйнштейн, К.Э.Циолковский, С.П.Королев и многие другие в свое время смогли **предвидеть** близкие к оптимальным пути развития техники, и их решения существенно облегчили процессы создания полезных артефактов.

Использование этого метода, однако, приводит к необходимости решения проблемных задач:

- найти «генератора» эвристических идей и определить, какими качествами должна обладать эта личность;
- определить, сколько таких «генераторов» должно быть в коллективе, создающем артефакт будущего;
- определить критерии оптимальности артефакта;
- определить оптимальные условия для совместной работы «генераторов» и участников проекта;
- определить оптимальное время создания артефакта и др.

Решение указанных проблем уже является неотложной задачей в современных условиях динамично развивающегося человечества с множеством нерешенных проблем.

Прежде чем перейти к рассмотрению указанных проблем, попробуем установить коэффициент полезного действия – КПД артефакта. В общепринятом виде определение технического КПД – отношение полезной отдачи (работы) к затраченной энергии на получение этой отдачи с применением артефакта. Такая величина во всех технических проектах с различной степенью точности определяется по известным математическим формулам, определяющим технологический процесс создания артефакта и его использования.

В нашем случае мы пытаемся определить КПД объекта машиностроения в общем виде во взаимосвязи со многими параметрами, что формализовать математическими методами весьма сложно, а в настоящее время и невозможно, учитывая многообразие связей объекта с Природой.

Определим подходы к решению этой сложной проблемы.

Рассмотрим логические взаимосвязи проектировщика – создателя гармоничного артефакта – и окружающей развивающейся Природы. Естественно, все процессы и взаимосвязи рассматриваем в настоящем времени с привлечением к анализу исторических фактов и экстраполяции на будущее закономерностей, выявленных при анализе.

Рассмотрение указанной системы – настолько сложный процесс, требующий анализа громадного массива информации, что не под силу выполнить одному исследователю. Выводы его будут субъективными, приближающимися к объективности в зависимости от объема и качества информации, с одной стороны, и методов экстраполяции, соответствующих в перспективе гармоничному вхождению артефакта в развивающуюся Природу, с другой.

Однако обосновать некоторые базовые определяющие принципы возможно, используя для анализа в ограниченной области общественных отношений специфическую группу машиностроителей, в которую входят многие ученые – изобретатели.

Все машиностроители в мире объединены в специфические группы по отдельным направлениям, имеющим традиционные отличия в использовании методов проектирования, изготовления и использования артефактов в зависимости от религиозных, государственных, расовых, психологических, исторических и других особенностей. Отметим в качестве примера известное всем различие в подходах при создании космических кораблей по программам NASA и российской.

В особую специфическую группу объединены машиностроители, принимающие участие в ежегодных конференциях «Машиностроение и техносфера XXI века».

Одной из главных особенностей этой группы является ее интернациональность. Здесь представлены ученые различных школ машиностроения, за исключением пока отсутствующих на конференциях ученых – машиностроителей из США, Японии и некоторых других высокотехнологичных стран. Это, однако, не означает снижения уровня качества результатов работы этой группы, т.к., с одной стороны, Интернет позволяет пользоваться огромной массой данных всех стран с поиском скрытых особенностей «между строк», с другой стороны, не все засекреченные данные оптимальны, и коллективный разум способен, естественно, на изобретения и открытия, постоянно повышающие уровень оптимальности принимаемых решений. Заметим, что подавляющее большинство участников этих конференций являются изобретателями, представляющими большой творческий потенциал группы.

Проследим фрагментарно качественный процесс развития этой специфической группы ученых - машиностроителей.

Начиная с первой научной конференции в 1994г., основные направления качественного характера процесса развития машиностроения попытался обосновать

А.Н.Михайлов [1], на последующих ежегодных конференциях он всесторонне развил свою концепцию гармоничного развития машиностроения, основные идеи которой заложены в программе Международного союза машиностроителей. В основе концепции – развитие и воплощение в реальную жизнь прогрессивных решений ученых – машиностроителей и создание благоприятных условий для выработки приближенных к оптимальным технических решений при создании артефактов, гармонично входящих в развивающуюся Природу.

Отдельные стратегические направления концепции отражены во многих докладах участников конференций. Отметим некоторые из них, явно характеризующие активную прогрессивную направленность работы всей группы машиностроителей. Рассмотренные А.Н.Михайловым некоторые аспекты создания технологий будущего можно считать основными базовыми элементами предложенной, развиваемой и дополняемой им на всех последующих конференциях общей концепции машиностроения.

Анализ тенденции развития новых технологий и элементы структурного синтеза систем, основы теории и практики создания технологических систем высокой и сверхвысокой эффективности обстоятельно представлены в работах Н.Э.Тернюка; прогрессивность применения конверсионных технологий показана в работах Л.В.Файвищенко; значимость проблемы искусственного интеллекта в технологии машиностроения подчеркнута в работах С.В.Ковалевского, А.А.Толстикова, В.Б.Черненко; проблемы качества изделий машиностроения детально рассмотрены в работах А.Г.Суслова; практический пример применения новых технологий решения сложных проблем машиностроительных предприятий с помощью методов инженерного творчества показали С.А.Шоно, Г.В.Рубченко, Н.Л.Ярмак; ментальный прорыв при решении актуальных задач машиностроителей предложили Ж.-М.Гог, Г.С.Клягин, Н.П.Воскобойникова; трансформационные технологии управления инновационной активностью в машиностроении предложили Э.А.Карпов и Н.В.Ступницкая; концепцию оптимального технологического процесса обработки объектов тяжелого машиностроения предложил П.Д.Кравченко; японская модель управления производством и качеством продукции машиностроения показана в работе Г.С. Клягина; фундаментальные проблемы перспективного развития техносферы в XXI веке на основе детального анализа жизненных процессов в динамичной причинно-следственной системе «клетка – человек – окружающая среда – средства взаимодействия» представлены в работе Л.П.Рибака, Л.І. Сіліна, В.Д. Кіптика; систематизированно представлены основные проблемы машиностроения на рубеже XXI века в работе В.А.Шабайковича; моделирование множества целей в задачах оптимизации технических систем образно представлено в работе В.С.Брусова; альтернативность традиционных и новейших технологий анализируют Л.И.Волчкевич и Ю.В.Панфилов; новые аспекты производственных стратегий представил М.Гайдук; безопасность жизнедеятельности и неотложные задачи машиностроителей в XXI веке рассмотрены П.Д.Кравченко; взаимосвязь науки с производством и экономический механизм распространения передовой техники и технологий показал А.Г.Суслов; проблема риска в системном инжиниринге в общей оценке риска при создании объектов машиностроения рассмотрена I.E.Sandu, M.Tanase; критерий для оценки допустимого техногенного риска предложен в работе А.В.Чубенко, А.А.Топорова, А.Я.Гурнак, Е.П.Романенко, С.В.Семеренко; наукоемкие конкурентоспособные технологии в машиностроении и направления их развития представлены А.Г.Сусловым; конкурентоспособность как созидательная основа международного союза машиностроителей представлена в работе М.В.Усова, Г.Н.Александровой, Д.В.Пантелеева; приоритетные направления развития России в рамках единой техносферы и глобализации миро-

вой экономики представлены А.Г.Сусловым; оценку техногенного риска технологического комплекса предлагают А.В.Чубенко, А.А.Топоров, О.В.Алексеева; управление рисками в индустрии Франции детально представлено в работе G.S.Kliaguine; анализ применения интеллектуальных систем в проектировании машиностроительного производства представили G.Musca, E.Musca; детально обоснованная теоретическая концепция достижения максимума эффективности при приемлемом риске создания артефактов представлена А.Н.Пановым; риск-анализ менеджмента при техническом проектировании рассмотрен в работе F.Macarie, C.Drob; системное качество машиностроительной продукции в философско-терминологическом и технико-экономическом аспектах наиболее глубоко рассмотрено в работе О.В.Авдейчика; проблема повышения эффективности и качества российских наукоемких производств представлена в работе В.Ф.Безъязычного и Э.В.Киселева; прогресс развития страны обусловлен квалификацией инженеров и менеджеров, по мнению А.Данюнаса, Р.Клюкаса и О.Прентковского; некоторые аспекты прогнозирования развития современного машиностроения с конкретными высокоэффективными артефактами представили в комплексе работ ученые «НООЭКОЛОГИИ» и других организаций под руководством В.С.Зайцева-Голощапова.

Здесь не представлены десятки других научных работ [2], в различной степени отражающих процесс поиска машиностроителями оптимального пути развития различных сфер машиностроения. Указанные работы в целом подтверждают эффективность исследований согласно принятой концепции Международного союза машиностроителей.

Заметим, что ученые – машиностроители не только исследуют процессы и предлагают обоснованные технические решения многих проблем современности, а эффективно используют свои знания и умения на практике. Классическим примером в нашем случае является «спасение» весьма дорогостоящего бурового станка небольшой группой ученых под руководством проф. Шевченко Ф.Л. В последнее время наряду с увеличением количества научных докладов и повышением их качества появились конкретные высокоэффективные инженерные решения, имеющие глобальное значение, например, морская экологическая станция [3], плавучие АЭС, оптимальные способы переработки и утилизации отходов, многие вышеуказанные технологические способы получения оптимальных артефактов.

Анализируя множество указанных решений, следует отметить растущую частоту появления терминов «риск» и «риск-анализ», что свидетельствует о необходимости тщательного обоснования всех критериев эффективности артефактов с точки зрения безопасности их применения. В настоящее время опасными техногенными объектами становятся не только действующие АЭС и другие высокотехнологичные производства, но и любые виды производств и технологических процессов в системе «человек – машина – среда» (ЧМС), где недостаточно психологически подготовленный человек (непрофессионал, специалист низкой квалификации или просто не готовый к выполнению операций с высокой ответственностью) может создать аварийную ситуацию. Классическим примером является рост числа аварий на автомобильном транспорте, в большинстве которых причиной является именно непрофессионализм или психическое состояние человека. Следовательно, термин «риск» уже обязательно должен входить в список критериев, определяющих оптимальность каждого артефакта в ЧМС.

Наиболее сложной проблемой является определение степени влияния политико-экономических, социальных отношений и лиц, принимающих решения (ЛПР) в процессе создания артефакта [4]. Многие ученые – машиностроители, и особенно изобретатели, на своем опыте убедились в бесполезности, а часто и вредности, решений, прини-

маемых ЛПР. Анализ событий недавних лет в Югославии, Ираке, поведение правительства и президента США в отношении ядерной программы Ирана показывает, что международная организация ООН игнорируется государством, признающим только силу и свои правила мироустройства. Но ведь это государство вооружено воплощенной в артефакты силой мысли ученых и изобретателей всего мира. Лозунг делового мира США «время –деньги» теперь уже порочен, поскольку деньги и власть ЛПР приносят зло в виде войн, в которых гибнут безвинные люди.

На первый план выходят главные ценности – гармоничное физическое и духовное здоровье и развитие человека и человечества в Природе.

Заметим, что в отношениях внутри рассматриваемой специфической группы машиностроителей, как и в других сообществах, всегда наблюдается сильное влияние общечеловеческого свойства – зависти. Начиная с библейских времен и в настоящее время это свойство явно или неявно оказывает влияние на принятие решений. В разной степени каждый человек сравнивает свои решения с другими, но не каждый способен подняться выше собственного «Я» и объективно оценить ситуацию. Отметим, что во многих странах имеются патентные институты, в которых имеются многие изобретения, но ЛПР в этих ведомствах не принимают участия в процессе активного внедрения лучших решений в жизнь.

Мы подошли к необходимости конкретного определения степени влияния вышеуказанных факторов на эффективность работы машиностроителей, создающих артефакты. Оценивая общую эффективность работы, следует учесть и упущенную выгоду от неиспользования лучших предложенных решений. Упущенная выгода может содержать астрономические денежные суммы, миллионы спасенных жизней, а это просто неоценимо.

Для наглядности рассмотрим оценочные параметры, представленные в таблице

Таблица 1. Ориентировочная шкала оцениваемости артефактов машиностроения

№	Сфера оценки	Валидность и полнота оценки	
1	Техника	До 100%	
2	Технология	До 100%	
3	Экономика	70 – 80%...	Только на современном уровне
4	Экология - БЖД	60 – 70%...	Оценка по неполному комплексу параметров
5	Политика	20 – 30%...	Влияет на военную и космическую сферы, в меньшей степени на артефакты, определяющие производительность общественного труда
6	Социология	20 – 30%...	Учет социальных отношений только в современном мире
7	Культура	20 – 30%...	Особенности дизайна артефактов как элемента всеобщей культуры еще не определены
8	Психология	30 – 40%...	Не полностью учитываются условия ограничения доступа непрофессионалов к сложным артефактам
9	Эвристика	20 – 30%...	Объясняется чисто человеческими факторами – зависть, тщеславие, …
10	Футурология	10 – 20%...	Слабо развита сама область изучения особенностей и закономерностей жизнедеятельности чело-

			века и человечества в развитии

Предлагается оценивать уровень прогрессивности или оптимальности артефакта не только с учетом критериев техники, экономики, экологии, безопасности жизнедеятельности, но и индексов культуры, футурологии, психологии человека, социологии. Такое предложение логично: мог ли Блэз Паскаль, создавший в 1645г. первую вычислительную машину, выполнявшую всего 4 арифметических действия, предполагать, что его артефакт вместе с изобретениями телеграфа и радио преобразует посредством сети Интернета весь мир? А способствовать этому могло развитие по закономерностям, определяемым прогрессом человечества и развитием Природы согласно сочетаниям указанных критериев, в разное время по- разному определяющих скорость освоения человечеством новых артефактов.

Следовательно, в современных условиях оптимальность артефакта можно определить с условием использования исторического анализа, экстраполяции и с привлечением к процессу его создания ученых – изобретателей в качестве «генераторов идей» и экспертов. Главная проблема состоит в том, что для определения таких личностей известные критерии пока неприменимы.

Создание новых артефактов, видимо, будет проходить успешно при условии, что его свойства, параметры будут удовлетворять гармоничные потребности отдельного человека и общества в целом.

Однако в мире всегда существует Добро и Зло: сравним **мирный атом и атомная бомба.** Первый атомный реактор Энрико Ферми в декабре 1942г. подтвердил правильность научного подхода к решению проблемы использования **атомной** энергии для пользы всего человечества, но военные 6 августа 1945г. сбросили **атомную** бомбу на Хиросиму, где погибли многие тысячи безвинных людей.

При определении эффективности машиностроения как главной производительной силы в процессе гармоничного развития человечества нужны новые подходы с пересмотром и дополнением критериев, определяющих полезность артефакта в сферах техники, технологии, экономики, политики, социологии, культуры, экологии, безопасности жизнедеятельности, психологии, эвристики, футурологии.

Список литературы: 1.Михайлов, А.Н. Некоторые аспекты создания технологий будущего.//Тез. докл.науч.-техн.конф. 20-23 сентября 1994г. – Донецк: ДонНТУ, 1994. **2.** Кравченко, П.Д. Опыт работы ученых-машиностроителей и актуальные проблемы современности.//Сб.тр.междунар.науч.-техн.конф.в г.Севастополе 13-18 сентября 2004г. –Донецк:ДонНТУ,2004,Т.2 **3.** Резниченко, В.И., Зайцев В.С., Хомич В.И. Морская экологическая станция.//Сб.тр.междунар.науч.-техн.конф.в г.Севастополе 13-18 сентября 2004г. –Донецк:ДонНТУ,2004,Т.3 **4.**Кравченко, П.Д. Проблемы практического использования близких к оптимальным проектных решений//Проблемы исследования и проектирования машин/Сб.статей междунар. науч.-техн.конф.- Пенза, 2005.

СРАВНЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ МАШИН ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ С ЖЕСТКИМ И ГИБКИМ ПОДВЕСОМ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА

Кравченко П.Д., Яблоновский И.М. *(ВИС ЮРГУЭС, Волгодонск, Россия)*

The comparative analysis of constructive schemes of reloading machines with flexible rope hinge and rigid hinge of objects at an operation of fuel elements transferring in a nuclear re-

actor of type ВВЭР (a water-water power reactor) is represented. Perspectives of application of system with flexible rope hinge of objects are shown.

Перегрузка топливных элементов в атомных реакторах является одной из сложнейших операций во время эксплуатации АЭС. Для выполнения этой операции применяются специальные машины перегрузочные (МП) или перегрузочные манипуляторы [1] с весьма сложной системой управления [2], обеспечивающие надежность работы всего оборудования транспортно-технологической системы перегрузки и безопасность ее эксплуатации.

Применяемые в настоящее время МП для водо-водяных реакторов типа ВВЭР-1000 отличаются большой сложностью, многозвенностью конструктивной схемы с жестким подвесом исполнительного органа (ИО) – рабочей штанги. Вес МП составляет более 80тс, рабочей штанги – более 12тс; длина телескопической рабочей штанги – около 11м, штанга состоит из трех секций [1].

Обеспечение точности и надежности всех операций по перегрузке топливных элементов производится с применением специальной системы управления [2] – по операциям перемещения моста, тележки, рабочей штанги – для выполнения операций точного наведения ИО на объект, захвата объекта и надежного его удержания во время перемещения на заданную технологическую позицию и последующего его освобождения.

Указанные операции проводятся по безлюдной технологии, т.к. в зоне работы МП уровень радиоактивности опасен для человека. Для снижения уровня радиоактивности перегрузку топливных элементов производят «мокрым способом», под водой с раствором борной кислоты; в этом случае радиоактивность существенно снижается, но повышается сложность операции перегрузки «подводным способом» [1].

Конструкция МП выполнена по известным схемам манипуляционных роботов [3]. Следование этим схемам проектирования привело к сложным конструкторским решениям. Точность наведения рабочей штанги на объект требовалось обеспечить в пределах ±2мм. При расстояниях перемещения объекта по высоте до 10м и по горизонтали до 20м требовалось обеспечение высокой геометрической точности не только сопрягаемых подвижных поверхностей жестких длинных звеньев МП, но и подкрановых путей; особой точности требует обеспечение процесса наведения на объект по горизонтали и вертикали. Привод МП – электрический, постоянного и переменного тока.

Альтернативное решение – применение МП с гибким подвесом ИО – не рассматривалось. Вероятно, принятию решения об отказе от применения гибкого подвеса способствовало отсутствие устройств, которые могли бы поворачивать объект относительно вертикальной оси с приложением существенного крутящего момента. Метод эвристического поиска лучшего технического решения не применялся.

В настоящее время такие решения найдены.

Рассмотрим логическую схему для предварительного сравнения надежности конструктивных схем перегрузки объектов с жестким и гибким подвесом ИО для захвата объекта, представленную на рис. 1.

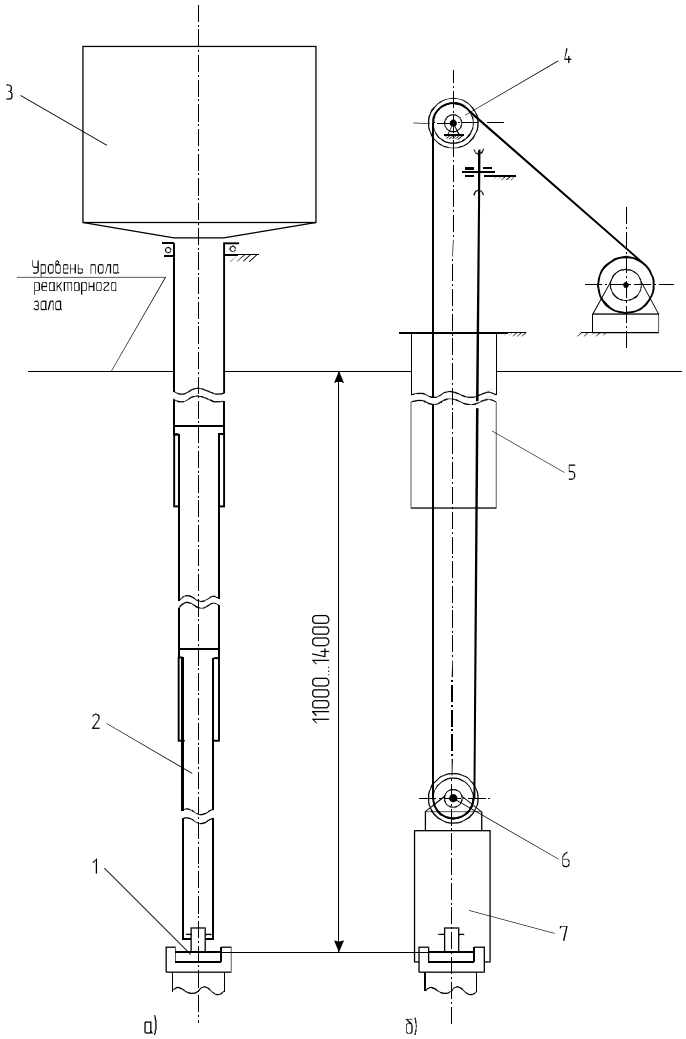


Рис. 1. Схемы жесткого *а* и гибкого *б* подвесов
исполнительных органов перегрузочной машины

Схема представляет собой объект 1 в виде крышки гермопенала, которую нужно открыть с приложением крутящего момента $M_{КР}$=1000Нм относительно вертикальной оси симметрии. На схеме рис. 1, *а* это происходит за счет поворота рабочей штанги 2 относительно вертикальной оси. Машина перегрузки 3 в этом случае получается громоздкой и массивной. С применением гибкого подвеса 4 в виде подъемной лебедки крана с двойным сдвоенным полиспастом, к нижним блокам 6 которого подвешен исполнительный орган 7, захватывающий и поворачивающий объект под действием собственного веса, система явно упрощается. Исполнительный орган 7 для других операций является сменным элементом системы. Тонкостенная трубная секция 5 служит только для страховки исполнительного органа вместе с объектом во время транспортировки.

Предварительные ориентировочные расчеты показывают, что предложенная система с гибким подвесом ИО весит не более 8тс. Это на порядок ниже применяемой системы с жестким подвесом.

Одной из основных причин отказа от гибкого подвеса было недоверие к конструкциям канатного подвеса, априори считающегося менее надежным, чем жесткая сплошная металлическая конструкция. Однако, согласно теории надежности, стальной

канат, как соединение из множества параллельных элементов, при увеличенных коэффициентах запаса, является более надежным, чем сплошная однородная металлическая конструкция. Более того, рабочая штанга, состоящая из трех последовательных элементов, уже на предпроектной стадии структурно оказывается менее надежной.

Логическая схема, представленная на рис. 1, является только исходной базовой. Для сравнения уровня надежности требуется конкретный расчет обеих схем по всем элементам.

Достоинства и недостатки обеих систем подвеса представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1. Сравнение достоинств и недостатков МП с жесткой и гибкой системами подвеса для работы с объектами

№	Параметр	Система с жестким подвесом	Система с гибким подвесом
1	Конструктивная сложность	Сложная	Простая
2	Практическая применимость	Широко применяется	Применяется редко
3	Надежность системы в целом	Обеспечивается за счет точного обеспечения требований при изготовлении и эксплуатации, что достигается с большими экономическими затратами	Обеспечивается за счет простоты конструктивной схемы. Надежность существенно выше. Расчетная
4	Точность выполнения технологических операций	Обеспечивается за счет сложной, но отработанной за длительный период эксплуатации конструктивной схемы и системы управления	Обеспечивается как простотой конструктивной схемы, так и простотой системы управления. Расчетная
5	Уровень сложности операции захвата, удержания, транспортировки и освобождения объекта	Весьма сложная, учитывая многозвенность исполнительных органов и многооперационность, связанную с многозвенностью	Простая, учитывая малозвенность системы. Требуется изобретательские решения по упрощению операций . Решения есть.
6	Требуемая точность наведения исполнительного органа на объект	±2мм, не более	±10мм
7	Вес МП	Более 80тс	Менее 8тс
8	Время перегрузки объекта	Согласно требованиям, обеспечивающим надежность и безопасность операции. Известно по результатам эксплуатации	Согласно требованиям, обеспечивающим надежность и безопасность операции. Меньше времени работы системы с жестким подвесом. Расчетное
9	Ремонтопригодность	Низкая	Высокая
10	Обеспечение надежности и безопасности	Согласно нормативным требованиям обеспечения безо-	Согласно нормативным требованиям обеспечения

	операции захвата, удержания, транспортирования и освобождения объекта	пасности работы с радиоактивными материалами	безопасности работы с радиоактивными материалами
11	Сейсмостойкость	Расчетная. До 8 баллов по шкале Рихтера	Расчетная. Возможна до 9 баллов по шкале Рихтера

При анализе параметров, представленных в таблице, требуется внимательный подход к рассмотрению каждого элемента. Если пункты 1 и 2 очевидны, то пункты 6, 7 и 8 требуется подтвердить расчетами параметров системы с гибким подвесом ИО. Пункты 3, 4 и 5 (особенно 5) также требуют строго расчетного обоснования, особенно с гибким подвесом ИО, а применение эвристических методов указывается нами как обязательный принцип при создании новой конструкции, т.к. авторами настоящей работы решения уже обоснованы и приняты, но это уровень «know-how».

Пункты 9, 10 и 11 показаны для подтверждения целесообразности рассмотрения альтернативных конструктивных схем при проектировании такой сложной системы, как перегрузка топливных элементов в реакторе.

Комплексный анализ только логической схемы, назовем ее предпроектной, показывает перспективность применения системы с гибким подвесом ИО.

Список литературы:1.Панасенко Н.Н. Сейсмостойкие подъемно-транспортные машины атомных станций // Н.Н. Панасенко, С.Г. Божко. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1987. – 208с.**2**. Шиянов А.И. Системы управления перегрузочных манипуляторов АЭС с ВВЭР // А.И. Шиянов, М.И. Герасимов, И.В. Муравьев. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 176с. **3**. Черноусько Ф.Л Манипуляционные роботы: динамика, управление, оптимизация // Ф.Л. Черноусько, Н.Н. Болотник, В.Г. Градецкий. М.: Наука, 1989. – 368с.

РАЗРАБОТКА НЕТРАДИЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРЕССИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЕПАРАЦИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Кретинин К.М., Серга Г.В. (*КГАУ, г. Краснодар, Россия*)

Separation possibility of dry materials vibrational oscillations agitators and elastic elements are shown. We call these separating working organs are screw sieves. Screw sieves provide non-standard dry materials movement forms, sieves cleaning and dry materials particles movement with large amplitude from 10 mm to 500 mm and more. A classification is developed, separation apparatus methods are created on the basis of original screw sieves constructions.

Решета являются одним из основных рабочих органов, посредством которых осуществляется сепарирование по размерам частиц не только в условиях машиностроения, но и в производстве строительных материалов, строительстве, например, при очистки сырья от примесей, фракционирования и сортирования, в горнорудной промышленности для разделения кусковых материалов на классы перед дроблением, для отмывки утяжелителей при обогащении полезных ископаемых в тяжелых средах, для обезвоживания пульпы, в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности и т.п.

Применяемые в настоящее время сепарирующие и сортировочные машины по своим эксплуатационным показателям не отвечают возрастающим потребностям производства.

Решение проблемы следует искать в нестандартных решениях, поиске оригинальных конструкций машин и технологий, обеспечивающих существенную интенсификацию процессов смешивания частиц сыпучих материалов, усложнение траектории их движения, увеличение амплитуд и обеспечения постоянной очистки сит.

Такая задача может быть решена с помощью машин, рабочими органами которых являются винтовые решета, обеспечивающие оптимальные нестандартные формы движения сыпучих материалов, самоочистку решет и движения частиц сыпучих материалов с большой амплитудой перемещения 10-500 мм и более. [1]. Это обуславливает эффективность применения винтовых решет в машинах вибрационного сепарирования.

Известно, что большинство современных конструкций вибрационных машин работают в диапазоне амплитуд перемещений 1-8 мм, в виду того, что при дальнейшем увеличении значений амплитуд происходит отрыв сит, контейнеров, и других рабочих органов от станины, т.е. происходит разрушение упругих связей. В то же время результаты зарубежных и отечественных исследований показывает, что эффективность вибрационных машин прямо пропорциональна величинам амплитуд перемещений. Задачей предлагаемого исследования является создание технологий и машин работающих с использованием амплитуд перемещений от 10мм. до 500 мм. и выше.

Поскольку наибольшие потери энергии в вибрационных машинах приходят на вибровозбудитель - преобразователь вращательного движения в колебательное и систему упругих связей, то с точки зрения энергосбережения оптимальной схемой вибрационных машин являлись бы машины без вибровозбудителя и упругих связей. Отсутствие в вибрационных машинах этих двух звеньев сняло бы и барьер для выхода на большие амплитуды [2].. Поэтому одним из прогрессивным направлением в развитии вибротехнологий процессов сепарации сыпучих материалов является технологии с использованием периодических колебаний потоков сыпучих материалов без вибраторов и упругих связей за счет оригинальной геометрии и конструкции рабочего органа вибрационных машин, совершающих лишь вращательное движение, названных нами **винтовыми решетами** [3].

В зависимости от типа и шага винтовых линий, их направления, размеров, формы и расположения плоских сит из которых смонтированы винтовые решета, в соответствии с разработанной нами классификацией (рис.1) в той или иной степени характеризующие транспортные или технологические движения, различают четыре отдела:

1отдел- винтовые решета условно цилиндрической формы с постоянным по длине шагом винтовых линий;

2 отдел- винтовые решета условно конической формы с переменным по длине шагом винтовых линий;

3 отдел – винтовые решета условно выпуклой формы с переменным по длине шагом винтовых линий;

4 отдел - винтовые решета условно вогнутой формы с переменным по длине шагом винтовых линий.

В зависимости от формы, количества и типоразмеров плоских элементов, из которых смонтирован винтовой ротор, каждый отдел содержит 6 классов:

1 класс - винтовые стволы зигзагообразной формы с зигзагообразными линиями по периметру ствола;

2 класс – винтовые стволы с прерывистыми ломанными винтовыми линиями, причем каждый участок прерывистой винтовой линии повернут относительно последующего на определенный угол;

3 класс – винтовые стволы с разнонаправленными ломаными винтовыми линиями одинакового шага;

4 класс – винтовые стволы с разнонаправленными ломанными винтовыми линиями, у которых шаг винтовых линий основного направления вдвое больше шага винтовых линий противоположного направления;

5 класс - винтовые стволы с разнонаправленными ломанными винтовыми линиями, у которых шаг винтовых линий основного направления в четыре раза больше шага винтовых линий противоположного направления;

6 класс – винтовые роторы с однонаправленными плавными винтовыми линиями.

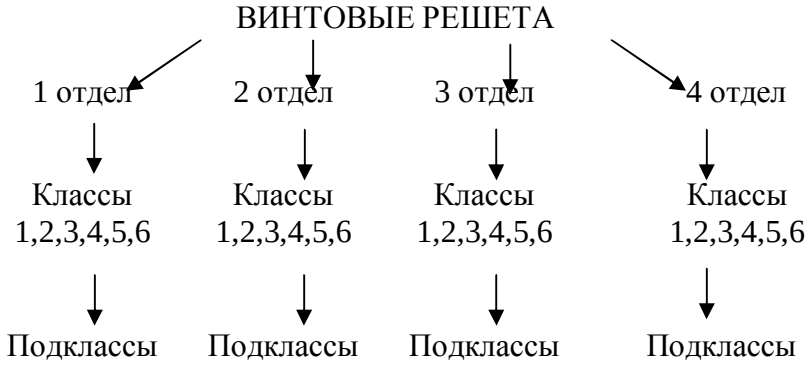


Рис. 1 Классификация винтовых решет

Каждый класс, в свою очередь, состоит из нескольких подклассов, отличающихся друг от друга наличием и количеством винтовых (зигзагообразных) линий по периметру ствола, например:

1подкласс - винтовые стволы с тремя разнонаправленными винтовыми линиями;

2подкласс – винтовые стволы с четырьмя разнонаправленными винтовыми линиями;

3подкласс - винтовые стволы с пятью разнонаправленными винтовыми линиями и т.д.

Целесообразность и эффективность разработанной нами классификации подтверждена созданием с ее помощью новых конструкций винтовых решет, например, винтовых решет по известным из классификации свойствам, например винтовых решет, обеспечивающих в процессе транспортировки сыпучих материалов их поджатие или разряжение.

К основным параметрам необходимым при проектировании оборудовании на базе винтовых решет можно отнести длину винтового решета, наружный и внутренний диаметры (диаметр проходного сечения) винтового решета. В результате проведенных исследований конструктивных особенностей винтовых решет нами получены зависимости, с помощью которых можно определить наружные и внутренние диаметры винтовых решет.

Изучение схемы движения масс сыпучих материалов внутри винтового решета в плоскости перпендикулярной к оси вращения показывает, что находящаяся внутри вращающегося винтового решета масса сыпучих материалов, увлекаясь пло-

скими элементами, в определенный момент под действием силы тяжести скатывается в лавинообразном или водопадном режимах. В зависимости от габаритов винтового решета, коэффициента заполнения, геометрии винтового решета и ряда других факторов большая или меньшая часть загрузки сыпучих материалов может работать в лавинообразном режиме, остальная в водопадном, в этом случае имеет место смешанный водопадно - лавинообразный режим.

С учетом ограничений на протекающий процесс движения сыпучих материалов сформулирована серия математических моделей:

- модель сплошной среды;
- энергетическая модель;
- модель замкнутой среды со стохастическим процессов соударений частиц сыпучих материалов.

Однако, аналитически, такие задачи не могут быть решены и требуют комплексного подхода с использованием экспериментальных данных и эмпирических зависимостей. Поэтому была рассмотрена модель движения частиц сыпучих материалов, как материальной точки. Как показали проведенные экспериментальные исследования, производительность сепарации в винтовых решетах в диапазоне от 0 до 30 об/мин незначительная, а свыше 65 об/мин она резко снижается, поэтому целесообразно и достаточно получить зависимость (расчетные формулы) для определения скорости продольного перемещения частиц сыпучих материалов в диапазоне частот вращения от 30 об/мин до 65 об/мин.

Анализ, накопленных результатов аналитических и экспериментальных исследований, позволил выявить у винтовых решет признаки, которые характеризуют только класс и отдел винтовых решет, т.е. одинаковы при всех условиях работы и получить зависимости для определения продольной скорости перемещения сыпучих материалов в винтовых решетах.

Полученные зависимости позволяют определить длину винтовых решет, т.е. производить расчет применительно к сепарирующим машинам на базе винтовых решет.

Сравнение результатов экспериментальных исследований по определению скорости продольного перемещения частиц сыпучих материалов с рассчитанными по формулам, полученных математическим моделированием показывает их хорошую сходимость.

Список литературы: 1. Кретинин К.М. и др. Применение колебаний в строительстве и производстве строительных материалов. Материалы П международной научно-технической конференции. «Применение колебаний в технологиях». Винница – 1994г., 24с. **2**.Пат.2044643 РИ, МКИ 6 В 28 С 5 /18; Бетоносмеситель / Кретинин К.М. и др. Опубл. в Бюлл. № 27,1995. **3**. Серга Г.В., Кретинин К.М. Винтовые решета в производстве строительных материалов. Материалы международной научно-практической конференции «Строительство-2006», РГСУ, Ростов-на-Дону, 2006. с. 89-91.

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО САМОСОЗНАНИЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Кривошеев В.А. *(ГрГУ, г. Гродно, Беларусь)*

In article social - psychological questions of becoming and functioning of professional consciousness of the future experts - engineers from the point of view professionally significant in their activity are considered. The analysis of factors of increase of professionalism of the

person of the expert of a nonproduction structure is offered on the basis of use of social - psychological empirical procedures.

В научной литературе довольно часто утверждается, что наиболее полноценно и всесторонне развивается и проявляется личность в профессиональной деятельности, но вместе с тем отмечается, что проблема эта остается пока мало изученной в психологии. Ею традиционно занимаются психология труда и инженерная психология. Но свое место в ее изучении имеет и социальная психология, причем с последней связаны здесь, на наш взгляд, значительные исследовательские перспективы.

В настоящей статье обобщены некоторые результаты теоретических и эмпирических поисков, направленных на определение взаимосвязи между пониманием человеком своего профессионального окружения и его профессиональным самопознанием. Преимущественное внимание предполагается уделить в исследовании оценочным явлениям - взаимосвязям социальных оценок человека с точки зрения профессионально значимого для него. Необходимость указанных поисков вызвана такими причинами, как недостаточная определенность понятия "профессионально значимое" в социально-психологических исследованиях деятельности, малая изученность содержательной стороны во взаимоопосредствовании различных видов оценок личности, узость данных о формировании и роли профессиональных эталонов в оценках и самооценке человека, неизученность рефлексивной (предполагаемой) оценки, недостаточность содержательных определений, адекватности межличностных оценок.

Понятия "профессиональная значимость", "профессионально значимое" применимы, надо полагать, ко всему, что так или иначе входит в сферу профессиональной деятельности и общения: и к объектам, и субъектам *с* их различными качествами, к целям, средствам, условиям, результатам деятельности, к формам и способам общения.

В конкретных исследованиях профессиональной деятельности понятие "профессиональная значимость" связывается, как правило, с качествами личности человека, но гораздо менее - с другими из выше указанных компонентов деятельности. Кроме того, судя по публикациям, существует тенденция изучать профессионально значимое применительно к деятельности в пределах понятий, характеризующих либо индивидуальные особенности личности, либо особенности самой деятельности. Так, профессиональное самоопределение, его структура и динамика характеризуются в индивидуальных рамках изменений в жизнедеятельности личности. При этом, правда, отмечается, что значительные резервы для успешного управления профессиональным становлением личности содержатся в анализе межличностных отношений и формировании самооценки как компонента профессионального самоопределения, но никакого анализа авторами не делается, и межличностные отношения остаются лишь упомянутыми.

Многие авторы считают, что объективным показателем в динамике профессионального самоопределения является образ "Я" профессионала. Однако нельзя, конечно, не считаться с тем, что образ "Я" является результатом самопознания и самооценки личности, и, хотя самооценки являются, как подчеркивает И.С.Кон, ценнейшим источником понимания образа "Я", но использование их в качестве такого источника зависит от методологической стратегии исследований [1].

Определяя же стратегию исследования самосознания, нельзя терять из виду такие общепринятые в отечественной науке принципы, как принцип единства сознания и деятельности, принцип историзма, принцип развития, принцип личностного и системного подхода к психике и др. И кроме того, важно помнить, что решающую роль в форми-

ровании самосознания наука отводит коллективным (наряду с индивидуальными) формам деятельности, а это, как подчеркивает А.Г. Спиркин, является одним из фундаментальных принципов в исследовании самосознания [2].

Принцип единства сознания и деятельности, вопреки интраспекционистскому положению о непосредственности психического, дает возможность понять, что все процессы самосознания носят опосредствованный характер, поскольку они возникают и развиваются в деятельности человека и его общении с другими людьми. Собственное "Я" кажется человеку первичной и самоочевидной реальностью, но оно "всегда осознается лишь в контексте какого-то отношения ("Я - не Я", "Я - другой", "Я - Мы", "Я - Мое", "Я - Я") и зависит от природы этого отношения" [1]. Сознание человеком самого себя, своего "Я" не носит непосредственного характера. Оно, по мнению А.Г. Спиркина, опосредствовано отражением внешнего мира и других людей. Как отмечает автор, "в картине самосознания дано двойное изображение: внешнего объекта и самого субъекта. Как объект самосознания личность - это человек, каким он ощущает, наблюдает, чувствует себя, каким он известен себе и каким он мыслится, с его точки зрения, другими" [2].

Если говорить об опосредованности познания и оценки человеком самого себя в профессиональном плане, то наиболее важными вопросами являются здесь, на наш взгляд, во-первых, вопрос о принадлежности человека к профессиональной группе и, во-вторых, вопрос о содержании понятии "профессионально значимое" в деятельности и общении.

Мы считаем безусловно верным то, что в структуру профессиональною самосознания личности включаются, как на это указывает Е.А. Климов, сознание своей принадлежности к определенной профессиональной общности, знание о степени своего соответствия профессиональным эталонам, о своем месте в системе профессиональных "ролей" и знание человека о степени его признания в профессиональной группе [3].

Здесь уместно специально затронуть вопрос о специфике социально-психологического подхода к личности. Она заключается, прежде всего, в том, что этот подход ориентирован на взаимоотношения личности с группой, что здесь рассмотрение проблем личности оказывается другой стороной проблем группы; при этом, естественно, в большей мере, чем в социологическом анализе, здесь делается акцент на микросреду формирования личности, хотя это не означает отказа от исследования макросоциальных факторов ее формирования.

По отношению к профессиональной среде такое изучение личности ведется уже во многих направлениях: в плане дифференциации и интеграции межличностных отношений в группе, лидерства и руководства, совместимости личностей и сплоченности группы, процессов межличностного познания, соотношения различных видов оценок личности, самоопределения личности в группе и т.д. Все это по своей важности необходимые и дополняющие друг друга исследования. Но надо, разумеется, учитывать степень обобщенности их, исходить в постановке более частных вопросов из решения общих и не терять из виду идущие от философии и социологии, утвердившиеся в общей и самой социальной психологии методологические установки.

Одна из таких установок заключается в том, что наряду с обозначением факта социальной принадлежности личности понятие общности употребляется и для характеристики внутренней солидарности взаимодействующих в рамках устойчивых социальных групп. Понятию внутренней общности соответствует чувство "Мы" и развитое самосознание групповой принадлежности, связанное с осознанием специфических особенностей, интересов и ценностей данной группы. Это "Мы" может быть, конечно, не только чувством, но и результатом самопознания ("Мы-концепцией") и вообще

характеризовать всю структуру и динамику самосознания общности и личности и, таким образом, опосредствовать связи личности и общества, в том числе и в профессиональном плане.

Разумеется, не только правомерны, но и необходимы и сами по себе ценны исследования профессионального самосознания на внутриличностном уровне, но ясно также, что включение в предметы таких исследований групповых факторов с их опосредствующей функцией позволило бы изучить самосознание, в частности, самооценки личности, более содержательно и объективно.

Обычно в эмпирических исследованиях различные профессиональные оценки личности (самооценки, рефлексивные оценки, реальные оценки и т.д.) задаются стандартными наборами качеств, заведомо принятых за профессионально значимые в той или иной профессиональной сфере. Такие исследования дают структурные представления о всевозможных соотношениях оценок, но они не решают вопроса о содержательно-причинной их обусловленности, по их результатам очень трудно разобраться в том, где причины, а где следствия тех или иных зависимостей между оценками.

Мы убедились в этом на опыте собственного пилотажного эмпирического исследования, проведенного со студентами старших курсов физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Для получения всевозможных оценочных суждений будущих инженеров нами использовались в качестве профессионально значимых лишь те качества, которые были получены нами с помощью экспертов (инженеров-профессионалов, работающих на предприятиях и в учебных заведениях г. Гродно). Картина соотношения различных оценок будущих инженеров выявилась довольно четко. В настоящей статье мы приведем лишь некоторые, на наш взгляд, показательные результаты исследования. Так, наиболее близкими оказались профессиональные самооценки и рефлексивные (предполагаемые) оценки, то есть те оценки, которые, по мнению испытуемых, дают им значимые в профессиональном отношении лица. Более глубокий анализ результатов показал, что этот факт является свидетельством не столько адекватных рефлексивных способностей, сколько, наоборот, слабой развитости способности будущих специалистов видеть, оценивать и понимать свою личность и деятельность с точки зрения значимых других[1].

Сравнение актуальных самооценочных суждений испытуемых и их ретроспективных суждений, т.е. суждений о себе в прошлом по отношению к настоящему, также не отличаются высокой корреляцией. По нашему мнению, такая картина может быть показателем динамики профессионального самоопределения, стимулируемой учебно-профессиональной деятельностью в вузе, устойчивым интересом к будущей профессии.

Наибольшими различиями характеризуются самооценочные и эталонные суждения. Мы приходим к выводу, что в проблеме соотношения оценок будущих специалистов - инженеров особо важным оказывается вопрос об эталонной оценке, о функциях и процессах формирования профессиональных идеалов будущего инженера.

Как известно, эталоны, действующие в межличностном познании и оценках людей, бывают разнообразными по многим признакам: по относимости к большим и малым группам или лишь к индивиду, по степени обобщенности, адекватности, объективности и т.д. [4]. Считается, что эталоны формируются, как правило, эмпирическим образом, в личном опыте человека. Однако они могут осознаваться, и в этом случае их регулирующая роль в познании и оценке других, самопознании и самооценке человека может значительно контролироваться и направляться личностью.

На наш взгляд, в исследовании межличностного познания и оценок в деятельности будущих инженеров недостаточно учитываются источники и механизмы фор-

мирования эталонных оценок и их роль в определении профессионально значимого в деятельности.

Особенности профессиональной деятельности по-своему концентрированно выражаются в понятии "профессионализм". Это понятие обычно ярко представляется по отношению к редким или требующим сугубо специальной подготовки профессиям.

---

[1] Степень адекватности рефлексивных суждений выявлялась с помощью сравнительного анализа рефлексивных оценок и реальных оценок, которые дали испытуемым значимые другие.

По отношению к инженерно-технической деятельности это понятие было распространено в недавнем прошлом. Но реалии современной жизни, к сожалению изменили эту картину. Если ранее роль инженера в общественном прогрессе была одной из ведущих, элитарных, то эта роль сейчас в обществе соотносится в основном с владением человеком суммой профессиональных навыков и умений в конкретно-практической деятельности и очень редко более того. Между тем именно в таких условиях следовало бы особо ставить вопрос о профессионализме — вопрос по существу о роли и значении профессионалов-инженеров, о понимании того, что является профессионально значимым в их деятельности. Заинтересованное обсуждение этого вопроса актуализирует проблему и активизирует самосознание самих инженерных работников. В этом мы убедились, обсуждая с испытуемыми (студентами и уже работающими специалистами) возможные факторы повышения социального престижа и авторитета инженерного труда.

Анализ ранжирования в результате обсуждения факторов помог нам сгруппировать ответы испытуемых. В перечне высказываний, наряду с прямо указывающими на инженерно-технический профессионализм, есть формулировки, косвенно выражающие существенные его стороны, а также такие, которые обозначают отношение инженерно-технической общности с другими общностями и обществом в целом. Так, всеми испытуемыми (и начинающими, и утвердившимися в профессии специалистами) профессионализм оценивается довольно высоко, особенно инженерами-преподавателями учебных заведений, т.е. ими осознается прямая зависимость повышения престижа и авторитета инженера от развитости и реализованности конкретных профессиональных качеств. Однако, как выяснилось позже, само понятие "профессионализм" испытуемыми (в основном, студентами-практикантами) понимается узко, чаще в соответствии с предписанными официальными обязанностями, рамками деятельности. Значительно реже профессионализм соотносится со статусом и ролью профессиональной общности в ее отношениях с другими общностями и обществом. Формулировки "признание и доверие к инженерному профессионализму", "взаимопонимание и единство во взаимоотношениях инженерно-технических работников", "социальная активность и творческая инициативность инженера" получили меньшее признание в качестве выявляемых факторов, чем формулировки, указывающие на, так сказать, индивидуализированные проявления профессионализма: "эффективность деятельности", "высокая оценка результатов труда", "материальная обеспеченность", "востребованность", "спрос на рынке труда" и т.д.

Мы полагаем, что такой опрос, связанный с оценкой факторов повышения социального престижа и авторитета инженера, выявляет некоторые моменты понимания в данной профессиональной среде того, что может и должно быть значимым в конкретной деятельности, а, говоря шире, - позволяет характеризовать профессиональное самосознание в некоторых его свойствах. Во всяком случае,
обнаруживается более или менее определенная картина соотношения "Я" и "Мы" в профессиональном самосознании личности. Разумеется, обозначая и оценивая факторы повышения престижа и авторитета инженера, каждый опрашиваемый сознает себя представи-

телем профессиональной общности. Такая оценка не может производиться лишь одним "Я" как результатом самонаблюдения, вообще "Мы" всегда присутствует в "Я", ибо самопознание, самооценка осуществляются во взаимозависимости с познанием и оценками других личностей и групп. Иное дело - степень зрелости того или иного "Мы", действующего внутри "Я". В "Мы" выражается *социальный*, в частности, *профессиональный* аспект самосознания личности. Чем больше степень осознанности, обобщенности и полноты "Мы" профессионала-инженера, тем объективнее социальное содержание самосознания и тем большей силы его регулятивные функции в выборе и реализации профессионально значимого в деятельности и общении.

Вопрос о понимании профессионально значимого стоит не в отрыве, не отдельно от вопроса о принадлежности личности к соответствующей общности и отражении этого в ее самосознании - эти два вопроса решаются друг через друга.

Исследование системы оценок человека как представителя профессиональной группы не может быть полноценным, если в предмет исследования не включать групповые факторы определения профессионально значимого. групповую обусловленность оценок. Без этого любое исследование окажется на внутриличностном (как его обозначил И.С. Кон), а не социально-психологическом уровне.

Образ "Я", предлагаемый некоторыми авторами в качестве объективного показателя профессионального самоопределения личности, является, на наш взгляд, наоборот субъективным показателем, а объективные показатели находятся в деятельности профессионала и его поступках в системе реальных профессионально мотивированных межличностных отношений. Если же ставить вопрос об объективности относительно оценочных явлений, процессов, результатов, то показатель ее надо связывать, на наш взгляд, не с какой-либо отдельной оценкой, а с системами оценок, вернее, с системными связями между различными видами оценок.

В таком случае проблема профессиональной значимости в процессе профессионального становления будущих специалистов-инженеров может получить более четкие очертания в исследовательском плане и более полезные выходы в практику.

Список литературы. 1. Кон И.С. Открытие Я – М.,1978. -367 с. **2.** Спиркин А.Г. Сознание и самосознание. -М., 1982 - 303с. **3.** Климов Е.А. Знание о себе в учебе и труде// Проф.-тех.образование – 1979г.- №10.с.52-54. **4.** Бодалев А.А. Личность и обучение: Избранные труды – М.,1983. -272с.

ДИНАМИКА ЧЕРВЯЧНОГО ПРИВОДА АВТОМАТИЧЕСКИХ РОТОРНЫХ ЛИНИЙ В РЕЖИМЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ

Крюков В.А., Булатова М.Н., Летучев С.А. *(ТулГУ, г. Тула, Россия)*

The statics and dynamics of transmissions of automatic rotor lines with several worm reducers were examined. The basic attention is given to a question of existence and uniqueness of the decision of the equations of movement. Examples of phase trajectories of a drive with two reducers are resulted.

Наибольшее распространение в качестве привода транспортного движения автоматических роторных линий средней производительности получили электромеханические однодвигательные групповые приводы на базе червячных редукторов с параллельной раздачей мощности на группы роторов, которые отличаются конструктивной

простотой, достаточно высокой надежностью и долговечностью элементов [1]. Основой такого привода являются однотипные червячные редукторы, входы которых соединены общим главным валом через ременную передачу с электродвигателем, а выходы – с рабочими машинами, объединенными в различные технологические группы [2]. Внутри рабочих групп передача мощности между роторами осуществляется с помощью рядовых зубчатых передач. Число редукторов, используемых в приводе, колеблется от одного до пяти – шести и зависит от протяженности линии и числа силовых роторов.

Динамические процессы в большинстве приводов технологических машин определяются силами полезного сопротивления и движущими силами, что позволяет в первом приближении исследовать динамику привода без учета сил трения и использовать линейные динамические модели. В то же время существует ряд механизмов, в которых силы трения соизмеримы с активными силами. Червячные передачи являются характерным примером именно таких систем. Силы трения в этих передачах соизмеримы с активными силами, что приводит к существенно нелинейным связям и возникновению ряда явлений, принципиально невозможных в линейных системах: нарушению принципа суперпозиции, возникновению супер- и субгармонических колебаний, возможности существования автоколебательных режимов и т.д. Одновременное применение закона Кулона для описания силы трения и гипотезы абсолютно твердого тела в таких нелинейных системах приводит к парадоксу Пэнлеве.

Неидеальность связей не позволяет непосредственно применять один из наиболее мощных методов составления уравнений движения механических систем, основанный на использовании уравнений Лагранжа второго рода. Возможный путь получения математической модели в этом случае состоит в разбиении рассматриваемой системы на отдельные подсистемы и замене червячной передачи передаточным звеном, описываемым некоторыми кинематической и силовой передаточными функциями.

Нелинейность получаемых уравнений движения приводит также к необходимости тщательного исследования существования и единственности их решения.

Особенностью червячных приводов АРЛ является наличие нескольких червячных редукторов, входы которых соединены общим главным валом, а выходы – с рабочими машинами. Это не позволяет непосредственно применить известные результаты исследования динамики червячных приводов на базе одного червячного редуктора.

Для моделирования червячной передачи воспользуемся ее известным аналогом – клиновой кинематической парой [3], которая реализует неосвобождающую неидеальную геометрическую связь с силой трения, определяемой по закону Кулона. Расчетная схема привода с N червячными редукторами показана на рис. 1. На схеме обозначены: m_0 – приведенная масса всех подвижных элементов, соединенных с входным звеном передачи; m_j $(j = 1, 2, \ldots, N)$ – приведенные массы всех подвижных элементов, соединенных с j-ым выходным звеном; $\boldsymbol{F}_0$ – приведенная сила, приложенная ко входному звену привода; $\boldsymbol{F}_j$ $(j = 1, 2, \ldots, N)$ – приведенная сила, приложенная к j-ой рабочей машине; a_j $(j = 1, 2, \ldots, N)$ – угол клина; x – координата, определяющая положение входного звена привода; y_j $(j = 1, 2, \ldots, N)$ - координаты, определяющие положения выходных звеньев привода. Динамические свойства приводного электродвигателя и трение в опорах не учитываются. Зазоры в червячной кинематической паре есть, но они очень малы. Это приводит к тому, что величина зазора не оказывает влияния на движение, но в каждый момент времени будет работать только один элемент кинематической пары.

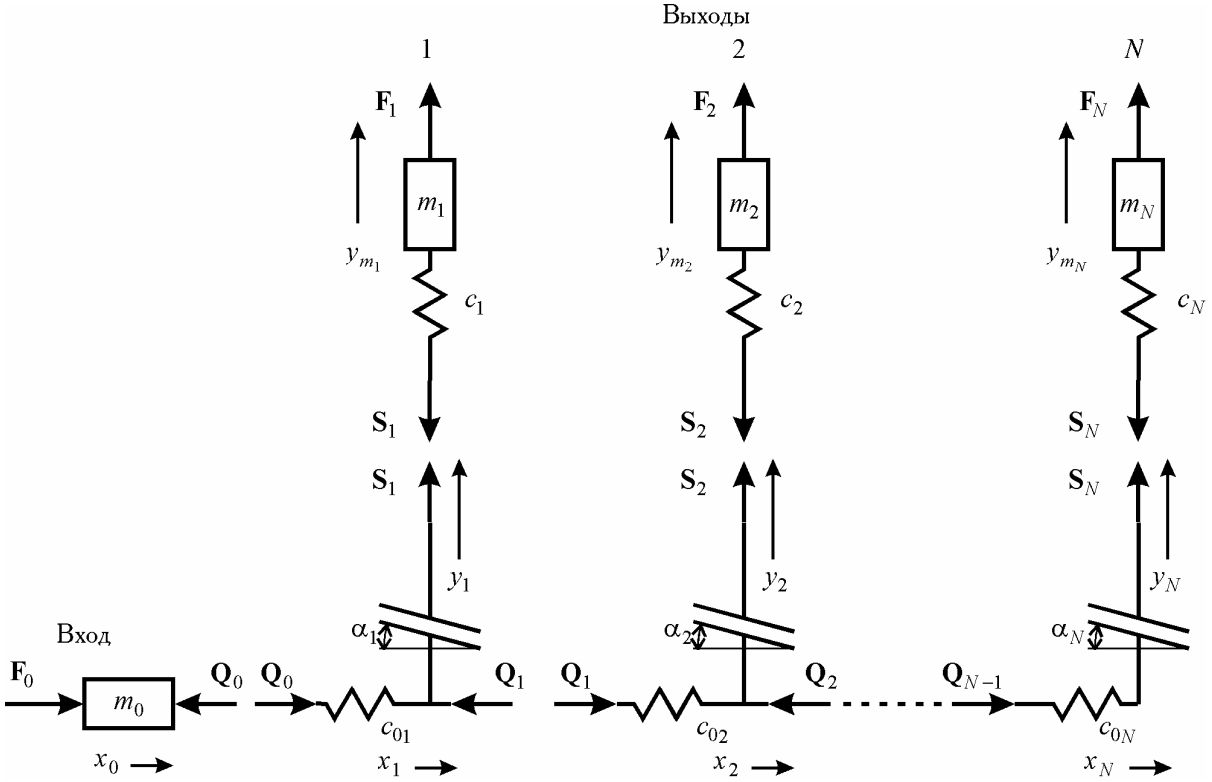


Рис. 1. Расчетная схема привода

Координаты входного и выходного звеньев привода связаны кинематической зависимостью

$$y_j = x_j \operatorname{tg} a_j, \quad j = 1, 2, \ldots, N. \tag{1}$$

Для составления математической модели привода все клиновые механизмы выделены в отдельную подсистему, которая осуществляет кинематическое и силовое преобразования. Взаимодействие между этой подсистемой и входным звеном привода характеризуется силой Q; а между подсистемой и j-ым выходным звеном – силой S_j. Составляя уравнения статики, которые в этом случае записываются в виде системы кусочно-линейных уравнений, и, решая их, получим силовую передаточную функцию, связывающую значения сил на входе и выходах передаточной системы

$$Q = -\sum_{j=1}^{N} S_j \operatorname{tg}(a_j - k_{r_j} r_j), \tag{2}$$

где коэффициент k_{r_j} названный коэффициентом режима определяется зависимостью $k_{r_j} = k_{S_j} k_{v_j}$; $k_{S_j} = \operatorname{sgn}(S_j)$; – коэффициент, характеризующий направление внутренней силы S_j; $k_{v_j} = \operatorname{sgn}(\dot{x}_j)$ – коэффициент, характеризующий направление движения элементов клиновой пары; r_j – угол трения.

Полученная силовая функция является многозначной, реализуемое соотношение между силами на входе и выходе этой подсистемы зависит от того, какие элементы клиновой пары взаимодействуют в рассматриваемый момент времени, и, система уравнений статики системы может иметь одно решение, несколько решений или не иметь решений. Этот результат является следствием нелинейности исходной системы уравнений.

Движение привода с жесткими звеньями описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x} = F_0 - Q; \\ m_j \ddot{y}_j = F_j - S_j, \; j = 1,2,...N, \end{cases} \tag{3}$$

которую необходимо дополнить силовой и кинематической передаточными функциями (1), (2). Вследствие нелинейности соотношения (2), система дифференциальных уравнений (3) также будет нелинейной. Наибольший интерес здесь представляет вопрос о существовании и единственности решения. Анализ уравнений движения, выполненный с использованием методики, изложенной в работе [4], позволил установить, что при использовании в приводе только несамотормозящихся передач, всегда существует единственное решение системы (3). При использовании в приводе хотя бы одной самотормозящейся передачи в зависимости от соотношения между инерционными параметрами системы и внешними силами уравнения движения могут иметь или два, или ни одного решения. Причем при увеличении числа редукторов в приводе область отсутствия решений, соответствующая динамическому самоторможению передачи, значительно расширяется.

Для устранения парадокса Пенлеве [5], возникающего при одновременном использовании закона Кулона и гипотезы абсолютно твердого тела и заключающегося в неопределенности движения рассматриваемой системы, была использована модель, учитывающая упругость участков валов на входах червячных редукторов, а также между выходами червячных редукторов и роторными технологическими машинами (см. рис. 1). Уравнения движения в этом случае также являются кусочно-линейными. Анализ этих уравнений, выполненный методом фазовых траекторий, позволил установить, что в зависимости от соотношения инерционных и упругих характеристик привода возможны три различных вида фазовых траекторий, соответствующих принципиально различным режимам движения привода:

1. Монотонное периодическое изменение внутренних сил и их производных, что соответствует устойчивому движению привода. Такой режим движения привода является предпочтительным;

2. Монотонное периодическое изменение внутренних сил и их производных, сопровождающееся переключением элементов клиновых кинематических пар. При переключении кинематических пар происходит скачкообразное изменение внутренних сил, сопровождающееся ударами;

3. Апериодическое изменение внутренних сил, сопровождающееся резким увеличением этих сил и переходом в режим динамического самоторможения.

Для проверки полученных теоретическим путем зависимостей было выполнено имитационное моделирование движения привода с помощью системы Simulink из пакета MatLab, которое подтвердило результаты проведенных исследований и полученные

на их основе рекомендации по выбору параметров привода.

В качестве примера на рис. 2 показаны фазовые траектории привода с двумя червячными редукторами, соответствующие варианту 2 (рис. 3, а) и варианту 3 (рис. 3, б).

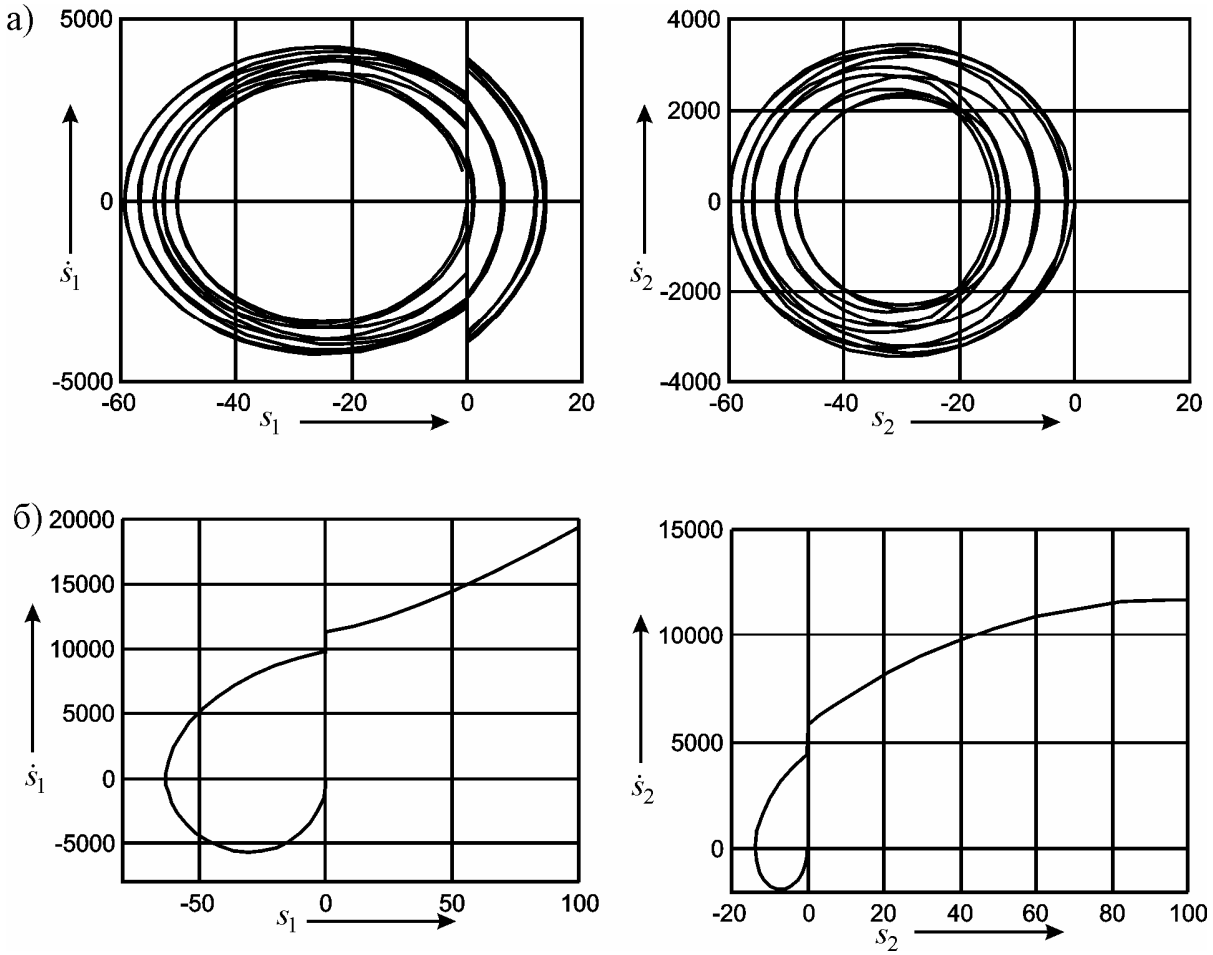


Рис. 2. Фазовые траектории привода с двумя червячными редукторами

Список литературы: 1. Прейс В.В. Технологические роторные машины: вчера, сегодня, завтра. - М.: Машиностроение, 1986. - 128 с. **2.** Крюков В.А., Прейс В.В. Моделирование движения червячного привода автоматических роторных линий. Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-17 сентября 2005 г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонГТУ, 2005. Т. 2, с. 155-158. **3.** Гидаспов И.А., Вейц В.Л. Динамика самотормозящихся механизмов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. - 144 с. **4.** Крюков В.А. Особенности динамики приводов автоматических роторных линий с червячными редукторами. Изв. ТулГУ, сер. Машиностроение, вып. 3, часть 2, 1998, стр. 65-73. **5.** Пэнлеве П. Лекции о трении. - М.: Гостехиздат, 1954. - 316 с.

НЕЛИНЕЙНОЕ РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЛАВНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ БЛЮМИНГА В РЕЖИМЕ ПРОБУКСОВКИ ВАЛКОВ

Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В., Кузнецова Л.Г., Варфоломеев А.А.
(УИПА, г. Харьков, Украина)

This article deals with the electrical mechanical systems mathematical model, robust control, robust observe and limitation of robust control problems state variables. There is example of the robust control for blooming`s main electric drive with variables limitation.

В последнее время для управления электромеханическими системами со сложными кинематическими цепями наряду с традиционными системами подчиненного регулирования применяются системы управления по полному вектору состояния с модальными, оптимальными и робастными регуляторами[1-3]. В переходных процессах таких систем, особенно при наличии упругих элементов, требуется значительная форсировка по току и скорости исполнительного двигателя, напряжению тиристорного преобразователя, моменту, передаваемому упругими элементами от исполнительного двигателя к рабочему органу [3-4]. Кроме того, синтезированные регуляторы обладают высокой чувствительностью к изменению параметров и структуры моделей объекта управления и внешних воздействий.

Целью данной работы является разработка методики синтеза нелинейных робастных регуляторов, наблюдателей и ограничения переменных состояния и управления в нелинейной системе управления главным приводам блюминга.

В процессе буксования машин часто возникают колебания, обусловленные наличием упругих элементов в трансмиссиях и падающего участка на характеристике внешнего трения. Рассмотрим трансмиссию машины как трехмассовую систему с тремя сосредоточенными массами - моментом инерции двигателя J_q, моментом инерции редуктора J_p и моментом инерции механизма $J_м$, соединенных упругими валами с коэффициентами жесткости C_1 и C_2 и коэффициентами внутреннего вязкого трения β_1 и β_2 . Тогда получим следующую систему уравнений:

$$J_м \frac{dw_M}{dt} = M_{y2} + b(w''_p - w_в) + b_c w_в - M_c$$

$$\frac{dM_{y2}}{dt} = C_2(w_p - w_B)$$

$$J_p \frac{dw_p}{dt} = M_{y1} + b_1(w_q - w_p) - M_{y2} -$$

$$- b_2(w_p - w_м)\frac{dM_{y1}}{dt} = C(w_q - w_p)$$

$$J_q \frac{dw_q}{dt} = C\Phi J_Я - M_{y1} - b_1(w_q - w_p)$$

$$T_Э \frac{dJ_Я}{dt} = -J_Я + \frac{1}{R_Я}U_{TП} - \frac{C_Ф}{R_Я}w_q$$

$$T_m \frac{dU_{TП}}{dt} = -U_{TП} + K_{TП}U_{BX}$$

В этих уравнениях: ω_q, ω_p, $\omega_м$ -скорости вращения двигателя, редуктора и механизма; M_{y1}, M_{y2} - момент упругости в быстроходном и тихоходном валах, C_1, C_2 и β_1, β_2 - жесткости и коэффициенты внутреннего вязкого трения в быстроходном и тихоходном валах на скручивание, $T_э$ - постоянная электромагнитная якорной цепи, $T_μ$ - посто-

янная времени тиристорного преобразователя, СФ - конструктивная постоянная двигателя, $К_{тп}$ - коэффициент усиления тиристорного преобразователя.

Для реализации робастного управления необходим полный вектор состояния. В трехмассовой системе непосредственно не измеряются моменты упругости $M_{y1}(t)$ и $M_{y2}(t)$, а также скорости вращения редуктора $w_p(t)$ и механизма $w_м(t)$. Для восстановления этих непосредственно не измеряемых переменных состояния построим робастный наблюдатель пониженной размерности по сравнению с исходной системой, такой, что входом этого наблюдателя будет ток якоря $J_я(t)$, а измеряемым выходом этого наблюдателя будет скорость вращения двигателя $w_q(t)$. Алгоритмическая схема этой системы, показана на рис.1.

В этих уравнениях учтено наличие нелинейной зависимости момента внешнего трения от скорости вращения, которая аппроксимируется уравнением 3 – го порядка.

$$M_c = \sum_{i=1}^{3} b_{ci}\left(w_в - w_c\right)^i.$$

Тогда уравнение состояния рассматриваемой системы с учетом нелинейной зависимости момента сопротивления от скорости проскальзывания может быть записано в следующем виде:

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \Phi(\vec{x}(t),\vec{u}(t)),\ \vec{y}(t) = j(\vec{x}(t),\vec{u}(t)),$$

в которой векторные функции $\Phi(\vec{x}(t),\vec{u}(t))$, $\varphi(\vec{x}(t),\vec{u}(t))$ могут быть представлены в следующем виде

$$\Phi(\vec{x}(t),\vec{u}(t)) = A\vec{x}(t) + B\vec{U}(t) + \sum_{i=2}^{n} f_i(\vec{x}(t),\vec{u}(t)),$$

$$j(\vec{x}(t)\vec{u}(t)) = C\vec{x}(t) + D\vec{u}(t) + \sum_{i=2}^{n} h_i(\vec{x}(t),\vec{u}(t),$$

Рассмотрим задачу синтеза оптимального управления $\vec{u}(t)$, минимизирующего функционал

$$J = \int_0^\infty y(\vec{x}(t),\vec{u}(t)dt,$$

Предполагается, что функция $y(\vec{x}(t),\vec{u}(t))$ является аналитической и разлагается в степенной ряд

$$y(\vec{x}(t),\vec{u}(t)) = \sum_{i=2}^{n+1} y_i(\vec{x}(t)\vec{u}(t))$$

Оптимальное управление $\vec{u}(t)$ будем искать в форме обратных связей по полному вектору состояния

$$\vec{u}(t) = \sum_{i=1}^{n} \vec{u}_i(\vec{x}(t))$$

Для реализации оптимального управления необходим полный вектор состояния $\vec{x}(t)$. Обычно измеряемым является некоторый вектор выхода $\vec{y}(t)$. Для исходной нелинейной системы построим нелинейный наблюдатель [4]

$$\frac{d\vec{x}(t)}{dt} = \Phi_H(\vec{x}(t),\vec{u}(t),\vec{y}(t)),$$

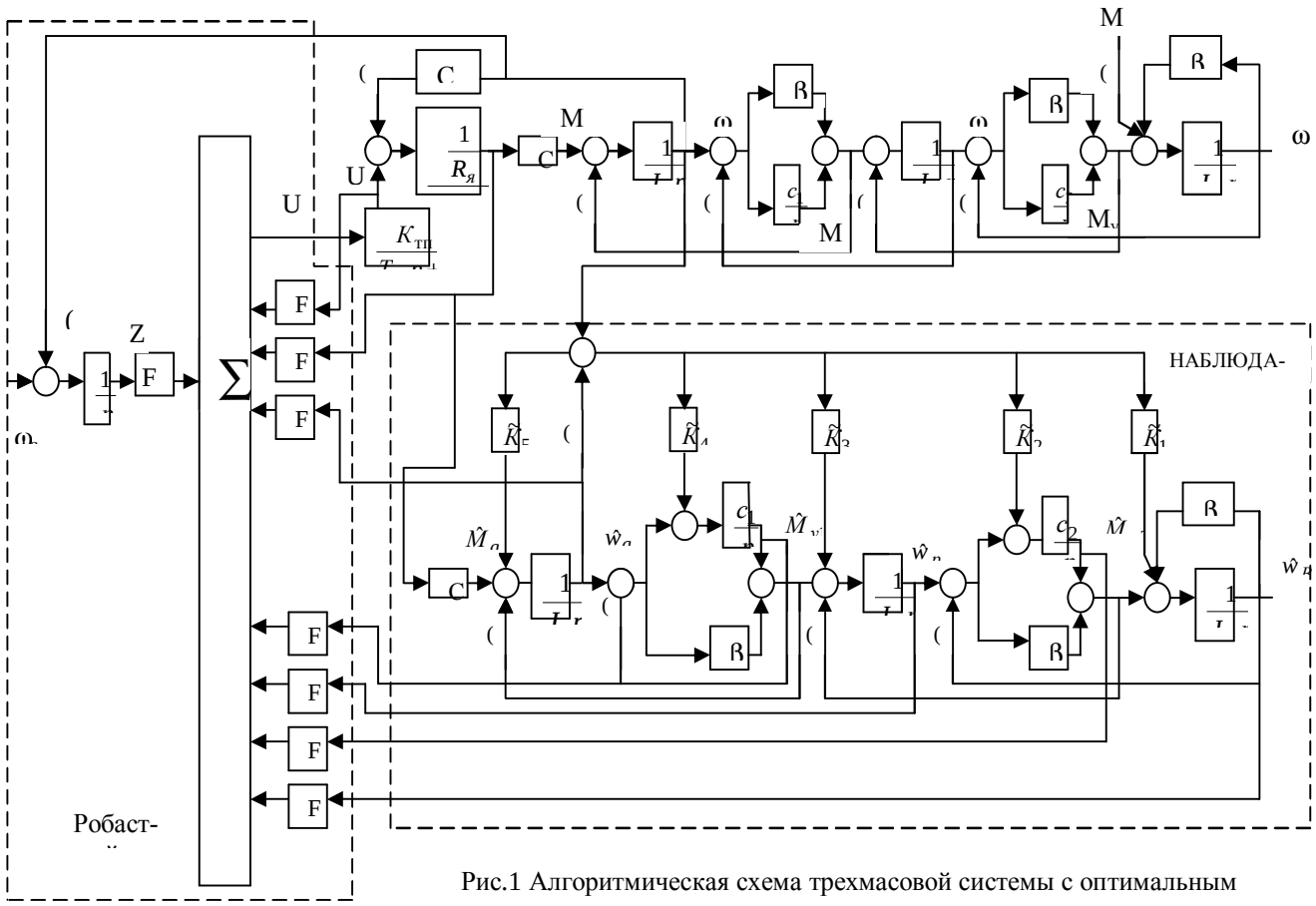


Рис.1 Алгоритмическая схема трехмасовой системы с оптимальным компенсатором

в котором нелинейная векторная функция $\Phi_H(\vec{x}(t),\vec{u}(t),\vec{y}(t))$ может быть представлена в виде ряда

$$\Phi_H(\vec{x}(t),\vec{u}(t),\vec{y}(t)) = A_H\vec{x}(t) + B_H\vec{u}(t) + G_H\vec{y}(t) + \sum_{i=2}^{n} f_{Hi}(\vec{x}(t),\vec{u}(t),\vec{y}(t)),$$

где символ i указывает порядок формы от векторов состояния $\vec{x}(t)$, управления $\vec{u}(t)$ и измерения $\vec{y}(t)$.

Первым приближением такого наблюдателя является робастный линейный фильтр для линейной системы [4]. Приведем данную систему к стандартному виду, принятому в теории H^{∞} [6]. Запишем уравнение состояния исходной системы, уравнение контролируемых переменных $\vec{z}(t)$ и уравнение измеряемых переменных $\vec{y}(t)$ в стандартной форме

$$\frac{d\vec{x}(t)}{dt} = A\vec{x}(t) + B_1\vec{w}(t) + B_2u(t)$$

$$\vec{z}(t) = C_1\vec{x}(t) + D_{11}\vec{w}(t) + D_{12}u(t)$$
$$\vec{y}(t) = C_2\vec{x}(t) + D_{21}\vec{w}(t) + D_{22}u(t)$$

Обычно эти уравнения представляют в виде матрицы системы P в следующем виде

$$P = \begin{Vmatrix} A & B_1 & B_2 \\ C_1 & D_{11} & D_{12} \\ C_2 & D_{21} & D_{22} \end{Vmatrix}$$

Для синтеза робастного регулятора и наблюдателя используется 2 Риккати подход, связанный с решением двух систем уравнений Риккати для робастного регулятора и робастного наблюдателя. Полученное таким образом линейное управление используется как первое приближение оптимального нелинейного управления по полному вектору состояния для исходной нелинейной системы. Линейный робастный наблюдатель используется как первое приближение в нелинейном наблюдателе, восстанавливающем переменные состояния исходной нелинейной системы.

Для вычисления квадратичного, кубического и последующих приближений используются вспомогательные координаты, вычисленные в форме отклонений исходной нелинейной системы от предшествующего приближения.

Список литературы: 1. Никитина Т.Б. Синтез многоканальных нелинейных электромеханических систем. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2005. - №45. - С. 130 – 131. **2.** Никитина Т.Б. Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизація виробничих процесів. Київ.- 2003. - №2(17). - С.62-65. **3.** Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005. – 511с. **4.** Кузнецов Б.И., Новоселов Б.В., Богаенко И.Н. Проектирование многоканальных систем оптимального управления.//Киев. Техника. – 1993. – 242с. **5.** Кузнецов Б.И., Осичев А.В., Чаусов А.О. Оптимальное управление главным приводом блюминга в режиме пробуксовки валков. Техническая электродинамика, Киев, 2000, часть 6, с. 23-28.

СИНТЕЗ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБМОТОЧНОЙ МАШИНОЙ

Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Лутай С.Н., Шурло О.В., Варфоломиев А.А.
(УИПА, г. Харьков, Украина)

This article deals with the questions of dynamic characteristics stabilization for winding machine control system with the help of robust control for winding machine with elastic elements as three– masses system. The example of dynamic characteristics for such system is given.

Обмоточная машина как объект управления натяжением обмоточной ленты и скоростью вращения приводного механизма является нестационарным объектом, параметры которого изменяются в широких пределах в процессе работы [1-3]. Наиболее существенное изменение параметров обмоточной машины происходит по мере выработки обмоточной ленты с кружка в процессе обмотки кабелей. При этом изменяется момент инерции кружка с обмоточной лентой и радиус схода обмоточной ленты с

кружка. За счет изменения радиуса схода ленты с кружка, в частности, необходимо соответствующим образом изменять момент тормозного механизма в функции изменяющегося радиуса размотки для поддержания заданного натяжения обмоточной ленты. Это требует установки датчика изменяющегося радиуса схода ленты и соответствующего программного регулятора натяжения обмоточной ленты в функции радиуса схода ленты. Если в системе регулирования используется прямой измеритель натяжения обмоточной ленты, то обмоточная машина как объект управления замкнутой системы регулирования натяжения изменяет не только коэффициенты усиления, вызванные изменением радиуса схода ленты, но и постоянные времени, вызванные изменением момента инерции кружка с лентой

Применение оптимальных по квадратичным критериям качества регуляторов для регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточных лент обмоточных машин позволяет получать высокие показатели качества процесса регулирования для достаточно сложных моделей обмоточных машин как объектов управления [1]. Такие регуляторы являются регуляторами состояния и представляют собой обратные связи по всем компонентам вектора состояния математической модели объекта управления. Так как все компоненты вектора состояния модели объекта управления недоступны для прямого измерения, то для восстановления непосредственно не измеряемых компонент вектора состояния объекта управления по измеряемым компонентам вектора состояния используют наблюдающие устройства. Такие наблюдающие устройства обычно представляют собой математическую модель объекта управления, охваченную обратными связями по сигналам ошибки измеряемых компонент вектора состояния с помощью наблюдателя. Естественно, что при этом структура и параметры оптимального регулятора и оптимального наблюдателя определяется структурой и параметрами математической модели объекта управления. При изменении параметров а, возможно, и структуры математической модели объекта управления естественно изменяются параметры и структура оптимального регулятора и оптимального наблюдателя. Для упрощения технической реализации такой системы управления целесообразно параметры оптимального регулятора и оптимального наблюдателя не менять, а настроить их на один наиболее характерный режим работы системы.

Целью данной статьи является построение системы управления скоростью вращения приводного механизма и натяжения обмоточных лент, нечувствительных к изменению параметров модели обмоточной машины как объекта управления с помощью робастных регуляторов.

Рассмотрим вопрос стабилизации динамических характеристик оптимальной системы управления обмоточной машиной, замкнутой через оптимальный наблюдатель при изменении параметров математической модели обмоточной машины как объекта управления. Предположим, что математическая модель обмоточной машины, может быть записана в форме переменных состояния

$$\vec{x}_0(k+1) = A_0\vec{x}_0(k) + B_0\vec{u}(k)$$
$$\vec{y}_0(k) = C_0\vec{x}_0(k),$$

где $\vec{x}_0(k)$, $\vec{u}(k)$ и $\vec{y}_o(k)$ - вектора состояния, управления и выхода, A_0, B_0, C_0 - матрицы состояния управления и выхода математической модели обмоточной машины, как объекта управления.

Для реализации астатизма по вектору задающих воздействий $\vec{y}_3(k)$ введем цифровой интегратор с уравнением состояния

$$\vec{z}(k+1) = \vec{z}(k) + \vec{y}_3(k) - \vec{y}_0(k)$$

Для восстановления непосредственно не измеряемых компонент вектора состояния модели обмоточной машины $\vec{x}_0(k)$ по вектору измеряемых переменных $\vec{y}_0(k)$ построим наблюдатель

$$\vec{x}(k+1) = A\vec{x}(k) + B\vec{u}(k) + G(y_0(k) - C\vec{x}(k))$$

Тогда оптимальное управление может быть синтезировано в следующем виде

$$\vec{u}(k) = -F_z\vec{z}(k) - F\vec{x}(k).$$

Рассмотрим построение робастной системы управления для работы во всем диапазоне изменения радиусов размотки кружка с лентой без прямого изменения радиуса схода ленты. Интенсивно развивающаяся в последнее время теория робастного управления позволяет получать регуляторы, предназначенные для работы в наихудших случаях, что приводит к излишней осторожности при регулировании. По-видимому, наибольший эффект можно получить при использовании комбинации регуляторов, синтезированных из условия наилучшего использования положительных свойств обоих типов регуляторов. H^∞ норма передаточной функции представляет собой верхнюю грань коэффициента усиления между H^2 нормой входного сигнала и H^2 нормой выходного сигнала и следовательно H^∞ норма равна квадратному корню из энергии выхода при входном возмущении с единичной энергией. Поэтому минимум H^∞ приводит к минимизации максимального по всему частотному диапазону энергии выходного сигнала для наихудшего случая приложения входного воздействия. Для получения приемлемых показателей качества синтезируемой системы в вектор контролируемых переменных $\vec{z}(t)$ необходимо включать ошибку системы, переменные состояния системы, которые нужно ограничивать, а также компоненты вектора управления $\vec{u}(t)$. Причем, роль весовых матриц в критерии качества выполняют матрицы C_1, D_{11} и D_{12}, с помощью которых формируется вектор контролируемых переменных $\vec{z}(t)$. Искусство проектировщика как раз и заключается в подборе таких значений этих матриц, при которых в системе обеспечивается выполнение заданных требований по качеству регулирования. А синтез такой системы сводится к минимизации H^∞ нормы взвешенной энергии ошибок каналов, переменных состояния которые необходимо ограничивать и управления. Таким образом, нахождение оптимального регулятора, минимизирующего H^2 норму сводится к решению двух уравнений Риккати по управлению

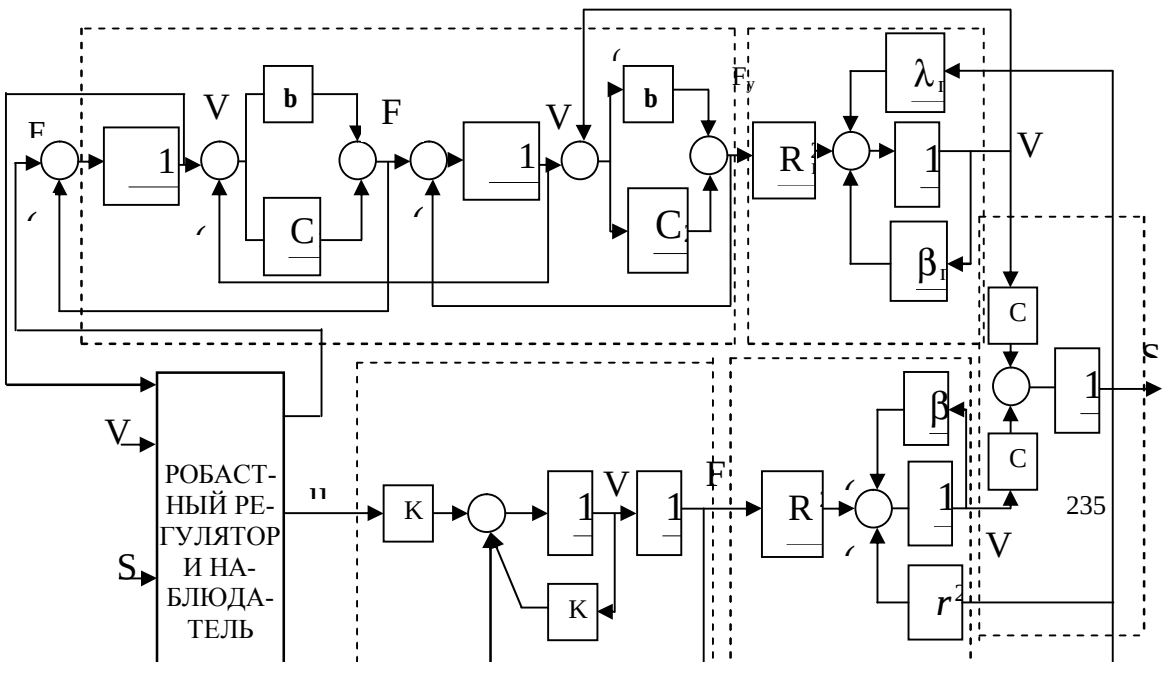


Рис.1. Алгоритмическая схема трехмассовой модели обмоточной машины с цифровым робастным регулятором и наблюдателем

$$A^T X_2 + X_2 A - X_2 B_2 B_2^T X_2 + C_1^T C_1 = 0$$

и по фильтрации

$$AY_2 + Y_2 A^T - Y_2 C_2^T C_2 Y_2 + B_1 B_1^T = 0 .$$

Тогда матрица коэффициентов усиления оптимального регулятора и матрица состояния замкнутой оптимальной системы, минимизирующей H^2 норму, примут следующий вид.

$$F_2 = -B_2^T X_2 , \; L_2 = -Y_2 C_2^T$$
$$A_2 = A + B_2 F + L_2 C_2 .$$

Синтез регулятора, минимизирующего H^∞ норму, сводится к решению двух уравнений Риккати по управлению

$$A^T X_\infty + X_\infty A - X_\infty \left(B_2 B_2^T - g^{-2} B_1 B_1^T \right) X_\infty + C_1^T C_1 = 0$$

и по фильтрации

$$AY_\infty + Y_\infty A^T - Y_\infty \left(C_2^T C_2 - g^{-2} C_1^T C_1 \right) Y_\infty + B_1 B_1^T = 0 .$$

На рис 1. показана алгоритмическая схема оптимальной цифровой системы для математической модели обмоточной машины как трехмассовой электромеханической системы, включающей робастный цифровой регулятор и наблюдатель.

Как показали исследования, переходные процессы в синтезированной таким образом системе практически не зависят от радиуса размотки и совпадают с переходными процессами, соответствующими среднему радиусу размотки.

Таким образом, в данной работе для стабилизации динамических характеристик цифровой системы управления обмоточной машиной при выработке кружка с лентой в ходе обмотки предложено использовать робастный регулятор. При этом робастное управление представляет собой управление по полному вектору состояния системы. Для восстановления переменных состояния системы используется робастный наблюдатель. Для определения коэффициентов усиления обратных связей по векторам состояния наблюдателя и коэффициентов усиления наблюдателя необходимо решить две системы уравнений Риккати. Приведено исследование влияния динамических характеристик обмоточной машины ИЖ – 32 как трехмассовой электромеханической системы при различных настойках коэффициентов усиления регуляторов. Система устойчива

при любых радиусах размотки и обладает достаточно хорошими показателями качества переходного процесса.

Список литературы: **1.** Кузнецов Б.И., Богаенко К.И., Никитина Т.Б. Чувствительность оптимального цифрового компенсатора трехмассовой обмоточной машины.//Автоматизація виробничих процесів. – 2003. - №2(17). – С. 101-106. **2.** Кузнецов Б.И., Чаусов А.А., Шурло О.В. Цифровая модель обмоточной машины как трехмассовой системы.//Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных работ. Харьков: НТУ «ХПИ», 2003 №10. – т.2 - с.313-314. **3.** Кузнецов Б.И., Чаусов А.А., Шурло О.В. Динамические характеристики обмоточной машины как двухмассовой системы при цифровом управлении//Машиностроение и техносфера XXI века //Сборник трудов МНТК – Донецк: ДонНГУ.2003.т.2.-с112-117.

РОБАСТНОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ В **НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В., Кузнецова Л.Г., Варфоломеев А.А.
(УИПА, г. Харьков, Украина)

This article deals with the electrical mechanical systems mathematical model, robust control, robust observe and state variables robust Limitation of robust control problems. There is example of the robust control with variables Limitation.

В электромеханических системах со сложными кинематическими связями, наличием в них упругих элементов и нелинейных характеристик трения обычно не удается требуемые показатели качества с помощью традиционных систем подчиненного регулирования. Управление по полному вектору состояния такими системами с модальными, оптимальными либо робастными регуляторами позволяет получить приемлемые показатели качества [1]. Однако для реализации управления по полному вектору состояния в переходных процессах по задающему и, особенно, по возмущающему воздействию, как правило, требуются значительные форсировки по напряжению, току и скорости приводного двигателя. В работах [2-3] рассмотрены вопросы ограничения переменных состояния и управления с помощью оптимальных регуляторов тех переменных состояний, которые необходимо ограничивать. Недостатком такого подхода является изменение показателей качества регулирования переменных состояния при изменении параметров моделей объекта управления и внешних воздействий.

Целью данной работы является применение робастных регуляторов переменных состояний, которые необходимо ограничивать, для повышения стабильности работы системы ограничений при изменении параметров моделей объекта управления и внешних воздействий.

Рассмотрим исходную цифровую нелинейную систему:

$$\overset{\bullet}{x}(k+1) = \Phi(\overset{\bullet}{x}(k), \overset{\bullet}{u}(k)), \tag{1}$$

$$\overset{\mathbf{r}}{y}(k) = j\,(\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k)), \tag{2}$$

в которой некоторые функции $\Phi(\overset{\bullet}{x}(k), \overset{\bullet}{u}(k))$, $j\,(\overset{\bullet}{x}(k), \overset{\bullet}{u}(k))$ могут быть представлены в следующем виде

$$\Phi(\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k)) = A\overset{\mathbf{r}}{x}(k) + B\overset{\mathbf{r}}{U}(k) + \sum_{i=2}^{n} f_i(\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k)), \tag{3}$$

$$j\,(\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k)) = C\overset{\mathbf{r}}{x}(k) + D\overset{\mathbf{r}}{U}(k) + \sum_{i=2}^{n} h_i(\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k)),$$

(4)

где символ i указывает порядок формы от векторов состояния $\overset{\blacksquare}{x}(k)$ и управления $\overset{\blacksquare}{u}(k)$.Рассмотрим задачу синтеза оптимального управления $\overset{\blacksquare}{u}(k)$, минимизирующего функционал

$$\boxed{J = \sum_{k=1}^{\infty} y\ (\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k)),} \tag{5}$$

Предполагается, что функция $y\ (\overset{\blacksquare}{x}(k), \overset{\blacksquare}{u}(k))$ является аналитической и разлагается в степенной ряд

1. $$y\ (\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k)) = \sum_{i=2}^{n+1} y_{\ i}(\overset{\mathbf{r}}{x}(k)\overset{\mathbf{r}}{u}(k)) \tag{6}$$

Будем искать оптимальное управление $\overset{\blacksquare}{u}(k)$ в форме обратных связей по полному вектору состояния

$$\overset{\mathbf{r}}{u}(k) = \sum_{i=1}^{n} \overset{\mathbf{r}}{u}_i(\overset{\mathbf{r}}{x}(k)) \tag{7}$$

Введем функцию Ляпунова

$$V(\overset{\mathbf{r}}{x}(k)) = \sum_{i=2}^{n+1} V_i(\overset{\mathbf{r}}{x}(k)) \tag{8}$$

Тогда на основании достаточного условия оптимальности минимум критерию (5) обеспечивает оптимальное управление (7), образующее систему управления, эквивалентную уравнению Гамильтона – Якоби – Беллмана [3]:

$$\Phi^T(\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k)) \frac{\partial V(\overset{\blacksquare}{x}(k))}{\partial \overset{\mathbf{r}}{x}(k)} + y\ (\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k)) = 0 \tag{9}$$

$$\frac{\Phi^T(\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k))}{\partial \overset{\mathbf{r}}{u}(k)} \frac{\partial V(\overset{\mathbf{r}}{x}(k))}{\partial \overset{\mathbf{r}}{x}(k)} + \frac{\partial y\ (\overset{\mathbf{r}}{x}(k), \overset{\mathbf{r}}{u}(k))}{\partial \overset{\mathbf{r}}{u}(k)} = 0 \tag{10}$$

Ограничимся в рядах (3), (4), (6) членами низшего порядка относительно векторов состояния $\overset{\blacksquare}{x}(k)$ и управления $\overset{\blacksquare}{u}(k)$. Тогда исходная система (1), (2) будет линейной.

$$\overset{\blacksquare}{x}(k+1) = A\overset{\blacksquare}{x}(k) + B\overset{\blacksquare}{u}(k) \tag{11}$$

$$\overset{\blacktriangledown}{y}(k) = C\overset{\blacktriangledown}{x}(k) + D\overset{\blacksquare}{u}(k) \tag{12}$$

где $\overset{\blacksquare}{x}(k)$, $\overset{\blacksquare}{u}(k)$, $\overset{\blacktriangledown}{y}(k)$ - вектора состояния, управления и выхода, матрицы A, B, C, D – соответственно матрицы состояния, управления, выхода и выхода по управлению. Для синтеза робастного регулятора запишем уравнение состояния исходной системы, уравнение контролируемых переменных $\overset{\blacktriangledown}{z}(k)$ и уравнение измеряемых переменных $\overset{\blacktriangledown}{y}(k)$ в стандартной форме, принятой в теории H^{∞}:

$$\overset{\blacktriangledown}{x}(k+1) = A\overset{\blacksquare}{x}(k) + B_1\overset{\blacktriangledown}{w}(k) + B_2\overset{\blacktriangledown}{u}(k) \tag{13}$$

$$\overset{\blacktriangledown}{z}(k) = C_1\overset{\blacktriangledown}{x}(k) + D_{11}\overset{\blacksquare}{w}(k) + D_{12}\overset{\blacksquare}{u}(k) \tag{14}$$

$$\mathbf{y}(k) = C_2\mathbf{x}(k) + D_{21}\mathbf{w}(k) + D_{22}\mathbf{u}(k) \qquad (15)$$

Подставим это линейное управление и квадратичную функцию Ляпунова в выражение (7), (8) и добавим пока с неизвестными коэффициентами члены второго порядка в оптимальное управление (7) и члены третьего порядка $V_3\mathbf{x}((k))$ в функцию Ляпунова (8). Добавим в исходную линейную систему (11), (12) члены второго порядка $f_2(\mathbf{x}(k),\mathbf{u}(k))$ и $h_2(\mathbf{x}(k),\mathbf{u}(k))$ и добавим к интегральному квадратичному функционалу (13) члены третьего порядка $y_3(\mathbf{x}(k),\mathbf{u}(k))$. Подставляя полученные функции в уравнения (9), (10) найдем исходные уравнения для неизвестных коэффициентов второго порядка $u_2\mathbf{x}((k))$ оптимального уравнения и третьего порядка $V_3(\mathbf{x}(k))$ функции Ляпунова. Аналогично находятся последующие приближения.

Для реализации управления (7) необходим полный вектор состояния $\mathbf{x}(t)$. Обычно измеряемым является некоторый вектор выхода $\mathbf{y}(k)$. Для исходной нелинейной системы (1 – 4) построим нелинейный наблюдатель [1]

$$\hat{x}(k+1) = \Phi_H(\hat{x}(k),\mathbf{u}(k),\mathbf{y}(k)), \qquad (16)$$

в котором нелинейная векторная функция $\Phi_H(\hat{x}(k),\mathbf{u}(k),\mathbf{y}(k))$ может быть представлена в виде ряда

$$\Phi_H(\hat{x}(k),\mathbf{u}(k),\mathbf{y}(k)) = A_H\hat{x}(k) + B_H\mathbf{u}(k) + G_H\mathbf{y}(k) + \sum_{i=2}^{n} f_{H_i}(\hat{x}(k),\mathbf{u}(k),\mathbf{y}(k)), \qquad (17)$$

где символ і указывает порядок формы от векторов состояния $\hat{x}(k)$, управления $\mathbf{u}(k)$ и измерения $\mathbf{y}(k)$. Первым приближением такого наблюдателя является линейный робастный фильтр для линейной системы

$$\hat{x}(k+1) = A\mathbf{x}(k) + B\mathbf{u}(k) + W_1(k), \qquad (18)$$

и измеряемого выхода

$$\mathbf{y}(k) = C\mathbf{x}(k) + W_2(k), \qquad (19)$$

Для вычисления квадратичного, кубического и последующих приближений используются вспомогательные координаты, вычисленные в форме отклонений исходной нелинейной системы от предшествующего приближения. Параметризация таких моделей выполняется методом наименьших квадратов.

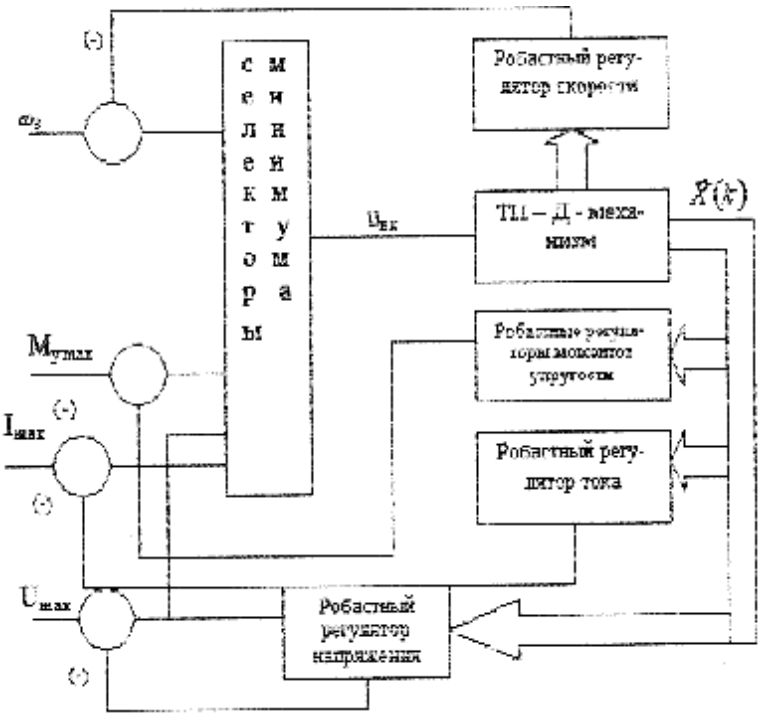


Рис. 1. Схема ограничения переменных

Рассмотрим ограничения вектора выходных координат $\mathbf{y}(k)$ системы на заданном уровне $\mathbf{y}_{\max}$. С этой целью построим оптимальные нелинейные регуляторы, минимизирующие критерии, в которых подынтегральные функции

$y(\overset{\bullet}{x}(k),\overset{\bullet}{u}(k))$ выбираются из условия обеспечения заданных требований по быстродействию работы регуляторов, с помощью которых вектор выходных переменных $\overset{\mathbf{r}}{y}(k)$ поддерживается на уровне предельно допустимых значений $\overset{\mathbf{r}}{y}_{\max}(k)$. В результате решения отыскиваются оптимальные управления $\overset{\mathbf{r}}{u}_i(k)$, обеспечивающие поддержание i-ых компонент $y_i(k)$ вектора выходных переменных $\overset{\mathbf{r}}{y}(k)$ на уровне предельно допустимых значений $y_{\max i}(k)$ вектора предельно допустимых значений выходных координат $\overset{\mathbf{r}}{y}_{\max}(k)$. Выбор управления, поступающего на вход системы, осуществляется с помощью селектора минимума, как это показано на рис. 1. Естественно, что схема, показанная на рис. 1 для ограничения переменных состояния и что схема, показанная на рис. 1 для ограничения переменных состояния и управления является лишь иллюстрацией работы алгоритма, реализованного с помощью управляющей ЭВМ.

Определенные таким образом вектора управлений $\overset{\mathbf{r}}{u}(k)$ из условий обработки требуемых задающих воздействий и компенсации возмущений, а так же поддержания вектора $\overset{\mathbf{r}}{y}_{\max}$ предельно допустимых значений переменных состояния подаются на селектор минимума, с помощью которого формируется управление $\overset{\mathbf{r}}{u}(k)$, подаваемое на вход системы управления, как это показано на рис. 1. В ходе выбора минимального значения компонент управления из сформированных с помощью различных регуляторов происходит также сравнение с максимальным значением управления $\overset{\mathbf{r}}{u}_{\max}$ и таким образом, осуществляется ограничение не только по вектору переменных состояния, но и по управлению.

В ходе моделирования синтезируемой нелинейной робастной системы управления с робастным ограничением выходного значения тока якорной цепи двигателя, напряжение на выходе тиристорного преобразователя моментов упругостей в валах главных приводов валков прокатного стана 950 Запорожского завода «Днепроспецсталь» и Криворожского блюминга 1500 [3, 7]; получены характерные участки постоянных значений тока, напряжения и моментов упругостей, удерживаемые робастными регуляторами тока, напряжения и моментов на уровнях их предельно-допустимых значений.

Таким образом, в работе предложено использовать робастные регуляторы переменных состояния, которые необходимо ограничивать, для повышения стабильности работы системы ограничений переменных состояния и управления при изменении параметров моделей объекта управления и внешних воздействий.

Список литературы: 1. Никитина Т.Б. Синтез многоканальных нелинейных электромеханических систем. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2005. - №45. – С. 130 – 131. **2.** Никитина Т.Б. Синтез приближенно-оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизація виробничих процесів. Київ.- 2003. -№2(17). – С. 62 – 65. **3.** Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005. – 511с. **4.** Limebeer D., Green N., Walker D. “Discrete Time H** control” Proc. of Conf. on Decision and control, Tampa, F1., Dec. 1989. **5.** Khargonekar P., Petersen I., Rotea M., “H^{∞} optimal control with state feedback”, IEEE Trans. Automat. Contr., AC – 33, pp. 783 – 786, 1988. **6.** J. Doyle, K. Glover, P. Khargonekar, and B. Francis, “State – space solutions to standard H^2 and H^{∞} control problems”. IEEE Trans. Automat. Contr., AC – 34, no 8. pp831

– 847, Aug. 1989. **7.** Кузнецов Б.И., Осичев А.В., Чаусов А.О. Оптимальное управление главным приводом блюминга в режиме пробуксовки валков. Техническая электродинамика, Киев, 2000, часть 6, с. 23 – 28.

ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ СУЧАСНОЇ ОСВІТИ

Кузнецов Г.В., Долгов О.М., Калюжна Т.М. *(МІБО НГУ, м. Дніпропетровськ, Україна)*

The problems of modern training, in particular of technical higher education in a context of processes of information of socity as a whole are examined. The basic directions sold in this area are resulted. In particular the questions of development of the distance learning and creation in this connection virtual universities are considered.

Друга половина XX століття визначила нові явища в розумінні розвитку філософії і практики освіти, в тому числі-технічної. Ведуться активні пошуки виведення освіти з кризи, в якій вона опинилася. Одним з напрямів таких пошуків слід визнати активізацію досліджень в області її інформатизації. Саме ці дослідження можуть скласти основу вирішення теоретико-методологічних проблем в області педагогіки, особливо у вищих технічних навчальних закладах.

Викладачі з неминучістю виходять на філософське осмислення цілей, цінностей і методологічних принципів дослідження проблем у сфері освіти. Філософське сприймання багатьох сучасних проблем інженерної освіти важливе не тільки для розробки методологічних основ педагогіки. Воно не менш значуще і для педагога-практика, для його професійного становлення, філософського осмислення своєї місії.

Добре відомо, що особливістю сучасного етапу розвитку суспільства є все більша його інформатизація. Розпочавшись в 70-х роках минулого сторіччя, процес інформатизації набув справді глобального характеру. Сьогодні він охопив не тільки всі розвинені країни світової спільноти, але і багато країн, що розвиваються.

Під впливом інформатизації відбуваються кардинальні зміни у всіх сферах життя і професійної діяльності людей, зокрема - в науці і освіті. Ці зміни такі масштабні і глибокі, а їх вплив на життєдіяльність суспільства такий значний, що можна цілком обґрунтовано говорити про початок формування принципово нового інформаційного середовища.

Домінуючою тенденцією подальшого розвитку сучасної цивілізації є перехід від індустріального до інформаційного суспільства, в якому об'єктами і результатами праці переважної частини людей стають інформаційні ресурси і наукові знання. Науково доведено, що інформатизація освіти є однією з найважливіших умов успішного розвитку процесів інформатизації всього суспільства, оскільки саме у сфері освіти готуються і виховуються ті люди, які не тільки формують нове інформаційне середовище, а й ті, кому належить самим жити і працювати в цьому середовищі.

Інформатизація освіти – це процес підготовки людини до повноцінного життя в умовах інформаційного суспільства. При цьому слід підкреслити, що інформатизація освіти є не тільки слідством, але і стимулом розвитку нових інформаційних технологій; вона сприяє прискореному соціально-економічному розвитку суспільства в цілому.

Інформатизація освіти є тривалим процесом, який пов'язаний не тільки з розвитком її матеріально-технічної бази. Головні проблеми цього процесу пов'язані з підготовкою навчально-методичних комплексів нового покоління і формуванням принципово нової культури педагогічної діяльності.

Останніми роками процес інформатизації освіти розвивається за такими напрямами:

- оснащення освітніх установ сучасними засобами інформаційних технологій (інформаційних і комунікаційних систем – ІКС) і використання їх як нового педагогічного інструменту, що дозволяє суттєво підвищити ефективність освітнього процесу. Почавшись з освоєння і фрагментарного впровадження комп'ютерів у викладання традиційних інженерних дисциплін, ІКС почали розвивати і пропонувати викладачам нові методи і організаційні форми навчальної роботи, які надалі стали використовуватися повсюдно, а сьогодні – здатні підтримувати практично все різноманіття освітнього процесу, як в системі вищої освіти, так і в середній школі. Проблема полягає лише в рівні оснащеності освітніх установ сучасними засобами ІКС;

- використання сучасних ІКС і баз даних для інформаційної підтримки освітнього процесу, забезпечення можливості віддаленого доступу учасників навчального процесу до наукової і навчально-методичної інформації як в своїй, так і в інших країнах;

- розвиток і все більш широке розповсюдження відкритої освіти – нової форми реалізації процесів освіти і самоосвіти, що дозволяє істотним чином розширити масштаби освітнього простору і забезпечити можливість доступу все більшій частині населення до освітніх ресурсів ;

- перегляд і радикальна зміна змісту освіти на всіх його рівнях, що обумовлено стрімким розвитком процесу інформатизації суспільства. Ці зміни сьогодні орієнтуються не тільки на загальноосвітню і професійну підготовку, але і на створення якісно нової моделі підготовки людей до життя і діяльності в умовах постіндустріального інформаційного суспільства, формування у них нових, необхідних для цих умов особистих якостей.

Аналіз перерахованих вище напрямів розвитку процесу інформатизації освіти показує, що це досить складна і актуальна науково-організаційна і соціальна проблема. Для її вирішення необхідна скоординована і постійна взаємодія фахівців освіти і науки, а також ефективна підтримка цієї взаємодії з боку державної влади і органів місцевого самоврядування.

Вітчизняний і зарубіжний досвід інформатизації середовища освіти переконливо свідчить про те, що вона дозволяє істотним чином підвищити ефективність освітнього процесу. Інформатизація освіти створює сприятливі передумови для широкого впровадження в педагогічну практику нових методичних розробок, направлених на інтенсифікацію навчального процесу, реалізацію ідей розвиваючої освіти і індивідуалізації освітнього процесу. Найкращі результати при цьому вдається отримати в тих освітніх установах, де застосовується комплексний підхід до проблеми інформатизації, а сам процес розповсюджується на всі форми педагогічної роботи. Тут реалізація стратегічних напрямів діяльності в області інформатизації освіти забезпечує:

- доступ студентів і викладачів навчальних закладів до високоякісних локальних і мережевих освітніх інформаційних ресурсів;

- можливість проведення тестування і оцінки якості освіти з використанням спеціалізованого програмного забезпечення на всій території країни;

- методичну підтримку і можливість безперервного підвищення кваліфікації викладачів освітніх установ всіх рівнів;

- підключення ВНЗ до глобальних інформаційних ресурсів з використанням високошвидкісних каналів;

- перехід до системи відкритої освіти на основі інтерактивних дистанційних технологій навчання;

- поетапний перехід до нової організації освіти на основі інформаційних технологій.

Однією з актуальних проблем розвитку інформатизації сфери освіти є забезпечення її підтримки необхідним науковим і навчально-методичним матеріалом. Останніми роками попит на таку інформацію у сфері освіти стійко зростає. Причинами цього є поява низки нових навчальних дисциплін, пов'язаних з фундаменталізацією і гуманітаризацією освіти. Це змушує викладачів і студентів все частіше звертатися до послуг автоматизованих інформаційних систем.

Розвиток інформаційних і телекомунікаційних технологій сформував необхідні передумови для створення електронних бібліотек як засобу накопичення, зберігання і розповсюдження інформаційних і методичних ресурсів, доступних будь-якому користувачеві.

Електронні бібліотеки освітніх ресурсів є однією з основних складових інформаційно-освітнього середовища. У найбільш загальному вигляді вони можуть включати різні види інформаційних ресурсів:

- бібліографічні описи ;
- повнотекстові електронні документи;
- мультімедійні документи;
- навчальні плани, програми тестування знань, бази науково-технічної інформації.

У складі електронних бібліотек можуть бути сформовані тематичні бази довідкових, ілюстративних, каталогізованих матеріалів для забезпечення адресного пошуку і вільного доступу до них через глобальні мережі.

Розвиток цього сегменту інформаційного забезпечення сфери освіти сьогодні є виключно важливим і актуальним, оскільки сучасний рівень цього забезпечення за багатьма обставинами набагато нижчий, ніж у розвитих країнах. Стратегічним напрямом розв’язання даної проблеми є створення територіально-розподілених автоматизованих інформаційно-освітніх систем, спеціально орієнтованих на вирішення завдань інформаційного забезпечення освіти необхідною науково-технічною і навчально-методичною інформацією.

Ще одним важливим напрямом інформатизації освіти є створення освітніх порталів, які сприяють розвитку якісно нових Інтернет-проектів у сфері освіти. Саме освітнім порталам належить найважливіша роль у пропаганді і розвитку відкритої освіти. Цілями освітнього порталу є створення нового комунікаційного простору і інформаційного поля освітнього професійного співтовариства засобами мережі Інтернет.

Розвиток освітніх порталів сприяє:

- поліпшенню зв'язків між існуючими ресурсами;
- обміну інформацією;
- вдосконаленню засобів навігації по мережі Інтернет у цільовому напрямі;
- дотриманню авторських прав, захисту інтелектуальної власності;
- оголошенню конкурсів на кращий мережевий курс, освітню технологію, освітню послугу тощо;
- оголошенню конкурсів на заміщення вакансій;
- розміщенню рейтингів навчальних закладів відкритого типу або закладів, що використовують дистанційні освітні технології;
- розміщенню рейтингів спеціальностей залежно від попиту на ринку праці.

Освітні портали мають можливість автоматичної регулярної зміни і оновлення свого змісту і включають всі найсучасніші засоби комунікацій і сервіси навчального призначення через мережу Інтернет у віртуальному інформаційному просторі: аудіо- і відео конференції, автоматичний обмін даними, електронні дошки оголошень, електронну пошту .

Кажучи про інформатизацію освіти, не варто забувати також про розвиток фондів сертифікованих комп'ютерних навчальних програм, що рекомендуються для використання у сфері освіти. Основними завданнями цих фондів є формування банку комп'ютерних навчальних програм різного призначення, сертифікація цих програм з урахуванням їх педагогічної і психологічної якості.

Процес інформатизації привів до того, що людський ресурс став новим параметром конкурентоспроможності економіки. Зростання впливу таких показників, як підвищення якості товарів і послуг, їх диверсифікація і скорочення життєвого циклу, на конкурентоспроможність примушує підприємців розробляти стратегії розвитку і впровадження принципово нових технологій, удосконалювати організацію виробництва, управління і підготовки кадрів. Освіта і підготовка кадрів, таким чином, стають постійними складовими ділової стратегії підприємств. Процес інформатизації дійсно характеризує якісно новий етап розвитку системи відносин у техногенній, економічній, соціальній і політичній сферах. Він розповсюджується на всі сторони людської діяльності і торкається всіх сфер суспільного і індивідуального буття, у тому числі і освіти. Промислові корпорації розглядають освіту і підготовку кадрів як стратегічні інвестиції, життєво важливі для їх майбутнього процвітання. Все частіше підкреслюється необхідність посилення зв'язків між освітніми установами і промисловістю, зокрема, шляхом розвитку дистанційного навчання, а також впровадження у сферу освіти комп'ютерної техніки.

Інтернет вже усунув поняття державних кордонів. У частині інформаційних освітніх технологій поступово стиратимуться межі окремих ВНЗ, поступаючись місцем взаємної інтеграції, спочатку інформаційних ресурсів, а потім і професорсько-викладацького складу. Аналіз даних показує, що середньорічний темп зростання освітніх технологій електронного навчання в світі складає 13%. Таке широкомасштабне застосування інформаційних і телекомунікаційних технологій в освітньому процесі призводить до того, що зникає грань між очною, заочною і іншими формами освіти, що і є характерною рисою системи відкритої освіти.

Інтернет-навчання зумовило появу нової форми відкритого університету – віртуальний університет. При цьому створені територіально-відособлені підрозділи займаються організацією прийому на навчання, консультацій, ідентифікації осіб, проведенням контрольних заходів, розробкою методичного забезпечення.

Принципи відкритої освіти активно застосовуються і традиційними університетами. В результаті очна, вечірня, заочна, екстернатна форми навчання інтегруються в змішану. Так, наприклад, складно визначити, яка форма навчання переважає в традиційних класичних університетах Великобританії (самостійна робота студентів досягає 90% навчального часу, а 10% – це контроль над самостійною роботою у вигляді лекцій, семінарів, практикумів і іспитів).

Управління освітою, як свідчать історичні події і факти, вимагає стратегічного мислення з боку тих, хто ухвалює управлінські рішення. До цього, безумовно, слід віднести розробку на державному рівні ефективних заходів щодо розвитку процесу інформатизації освіти. Посилання на несприятливий характер економічної кон'юнктури не

можуть вважатися переконливими, оскільки суспільство, що має намір і далі збирати плоди освіти, повинно піклуватися про те, щоб її коріння не виснажувалось.

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ СТАНКОВ, МЕХАНИЗМОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Кузнецов Ю.Н. ***(Национальный технический университет Украины***
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина)

Is shown efficiency of use of modern methods of search of technical decisions and, in particular with application of a method of the morphological analysis, at creation of competitive machine tools, their mechanisms and industrial equipment.

Создание новой техники и поиск новых технологий подчинены достижению следующих основных целей: 1) повышение производительности обработки; 2) повышение качества обработанных изделий; 3) снижение затрат на обработку при экономии энерго-сырьевых ресурсов; 4) снижение доли физического труда; 5) облегчение интеллектуального (умственного) труда; 6) расширение технологических возможностей оборудования.

Достижение первых трех целей позволяет решить технико-экономические проблемы, четвертой и пятой целей – социальные проблемы, а шестой цели – технико-экономические и социальные проблемы.

Для достижения поставленных целей наметились определенные мировые тенденции развития машиностроения, что требует повышенного внимания к его сердцевине – станкостроению. Среди этих тенденций можно выделить такие, как [1]:

- переход от дифференцированных к интегрированным технологиям;
- применение ресурсосберегающих малоотходных и безотходных технологий;
- агрегатно-модульный принцип проектирования и изготовления;
- стремление к высокоскоростной, прецизионной и ультра-прецизионной обработке;
- стремление к безлюдной технологии;
- миниатюризация систем ЧПУ при увеличении объема памяти и количества управляющих координат;
- создание станков и механизмов с параллельной кинематикой и переменной структурой (мехатронные системы).

К сожалению, в Украине, которая была одним из ведущих производителей станков и имела популярность на мировом рынке благодаря высокому интеллектуальному и рабочему потенциалу, многие заводы отказались от создания станков нового поколения и скатились до производства старого универсального оборудования (порой вековой давности), смирившись с мыслью о невозможности догнать и перегнать ведущие страны-производители станков, в числе которых не только США, Япония, Германия, но и маленький Тайвань.

Чтобы возродить прежнее станкостроение Украины и поставить его на уровень ведущих стран мира в настоящей ситуации необходимо искать новые методологические подходы, выбирать новые пути ускоренного поиска оптимальных нестандартных решений при создании техники новых поколений.

Если вести проектирование новой техники по старым принципам (от разработки технического задания до конструкторской документации), ориентируясь пусть даже на

самые лучшие мировые образцы (аналоги), то к моменту запуска этой техники в производство, она автоматически обрекается на отставание и снова плетется в фарватере ведущих фирм.

В процессе создания новой техники можно выделить 4 основных этапа:

- научный (инженерное прогнозирование) [1];
- конструкторский (проектирование);
- технологический (подготовка производства);
- организационный (освоение производства).

Создание новой техники невозможно без инженерного прогнозирования [2, 4], точность которого определяется глубиной прогнозирования и для которого необходимо использовать фреймовую модель: функция технической системы (Ф) – принципы действия (ПД) – технические решения (ТР) (рис. 1).

Для конструирования станков нового поколения и их механизмов прогнозирование целесообразно выполнять на основе патентно-информационных исследований, так как изобретения, особенно высших уровней, определяют рождение новых технических систем (ТС), которые, как и биологические особи, проходят определенные стадии развития по S – образной кривой в жизненном цикле [4, 7].

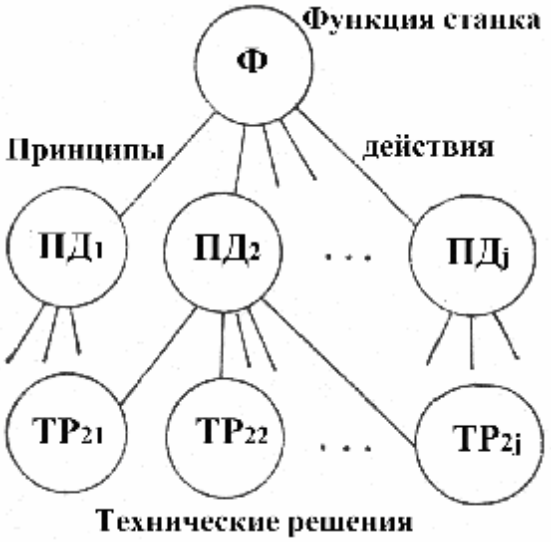


Рис.1. Фреймовая модель прогнозирования и проектирования нового станка

Процесс оптимального проектирования представляет собой последовательное и параллельно-последовательное решение много-критериальных, многоэкстремальных задач анализа и синтеза в многосвязанной области на нескольких уровнях, начиная от идеи и заканчивая лучшим конструктивным решением. При этом наилучшее конструктивное решение (если не оптимальное, то по крайней мере рациональное) будет тогда, когда для него выбрана лучшая идея, т.е. лучший принцип действия [5, 6].

На верхних уровнях творческого проектирования (рис. 2) используются современные методы поиска новых технических решений, которые в условиях нечеткой и неполной исходной информации преимущественно относятся к эвристическим. На нижних уровнях проектирования задачи анализа и синтеза носят детерминированный характер, где для выбора лучших решений используются классические методы оптимизации.

Одним из широко распространенных методов поиска новых технических решений является метод морфологического анализа (МА), достоинством которого является многовариантность и невозможность пропуска каких-либо вариантов, которые при простом переборе могут выпасть из поля зрения.

Многолетний опыт применения МА на кафедре «Конструирование станков и машин» НТУУ «КПИ» показал его эффективность при решении на различных уровнях технологических (рис.3) и конструкторских (рис.4) задач.

Проиллюстрируем это на нескольких примерах.

При поиске новых технологических принципов (способов или схем обработки) методом МА целесообразно рассматривать следующие основные признаки: обрабатываемая среда (заготовка или деталь), обрабатывающая среда (инструмент) и взаимодействие между ними (рабочий процесс, например, формообразование).

Для получения двухступенчатой детали можно использовать различные заготовки и их движения, различные инструменты и их движения, а рабочий процесс осуществлять при различных взаимодействиях и состояниях, что в качестве альтернатив приведено в морфологической таблице (табл.1), а сочетание альтернатив каждого признака позволяет синтезировать технологические принципы (рис.5).

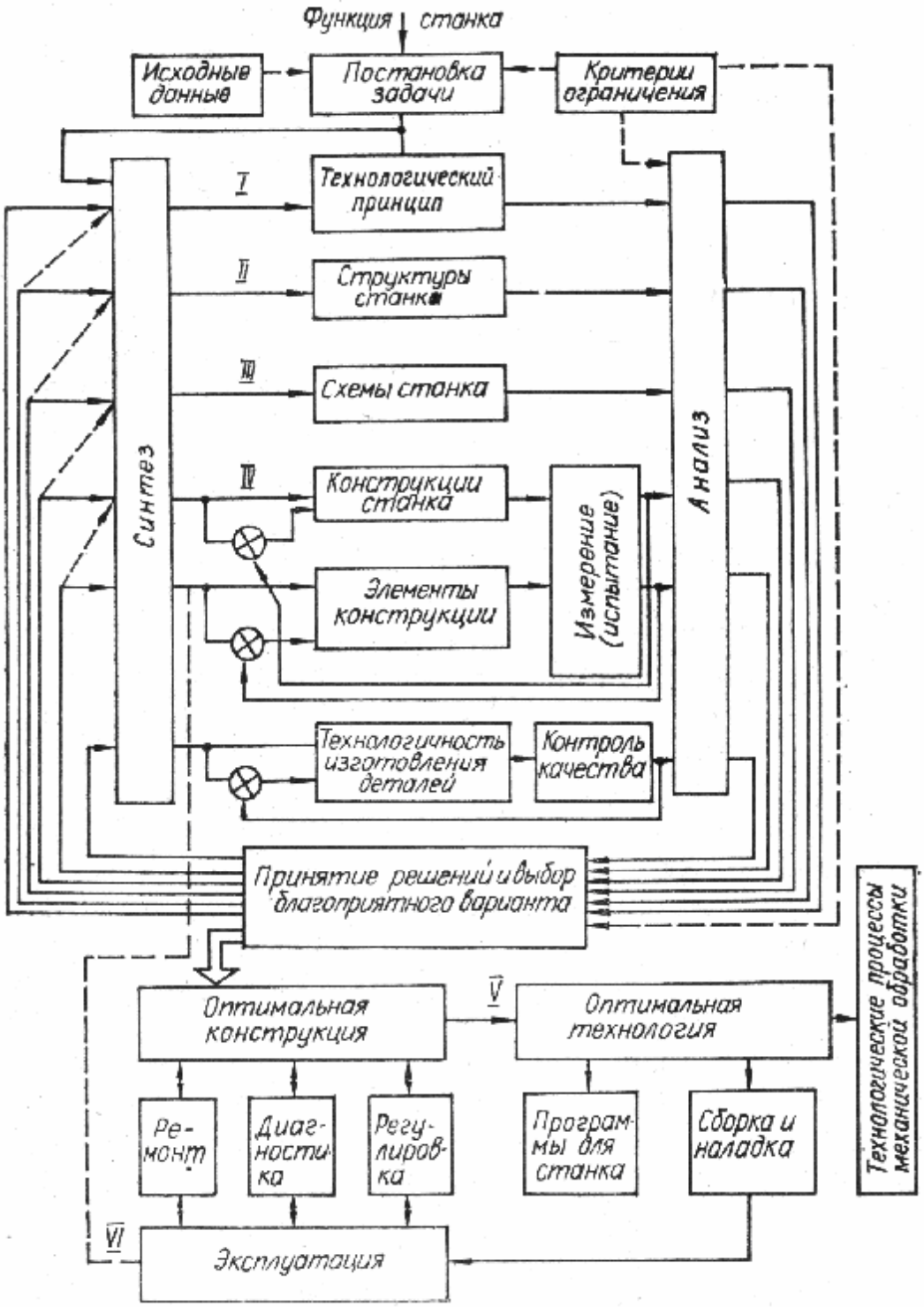


Рис.2. Укрупненная блок-схема оптимального проектирования станка

Для поиска новых схем многопозиционной токарной обработки разработана морфологическая таблица (табл.2), которая позволила синтезировать новые компоновки многошпиндельных токарных автоматов с последующей обработкой отрезанных от прутка деталей (рис.6), а также двухшпиндельные токарные станки с ЧПУ (модули),

нарпример, для обработки длинномерных деталей типа шпинделей, объединенные в роботизированный комплекс [3].

Таблица 1. Морфологическая матрица способов обработки двухступенчатой детали

Заготовка		Рабочий процесс		Режущий инструмент	
1. Вид	2. Движение	3. Характер взаимодействия	4. Состояние	5. Количество режущих кромок в зоне	6. Движение
1.1. Круглый пруток	2.1. Поступательное	3.1. Точечный	4.1. Холодное	5.1. Один резец	6.1. Поступательное
1.2. Профильный пруток	2.2. Поступательное и вращательное	3.2. Линейный	4.2. Горячее	5.2. Несколько резцов	6.2. Поступательное и вращательное
1.3. Одна штучная заготовка	2.3. Вращательное	3.3. Поверхностный	4.3. Холодное и горячее	5.3. Фреза	6. 3.Вращательное
1.4. Две штучные заготовки	2.4. Нет	3.4. Объемный	4.4. Текучее	5.4. Нет	6.4. Нет

Таблица 2. Морфологическая матрица схем многопозиционной токарной обработки

1. Способ обработки во времени	**2. Расположение рабочей зоны**	**3. Изменение положения шпинделей**	**4. Число рядов шпинделей в шпиндельном**	**5. Относительное расположение шпинделей**
1.1. Последовательный (p=1, q>1) 1.2. Параллельный (p>1, q=1) 1.3. Параллельно - последовательный (p>1, q >1) 1.4. Роторный	2.1. С одной стороны 2.2. С двух сторон в одной плоскости 2.3. С нескольких сторон в одной плоскости 2.4. С нескольких сторон в пространстве	3.1. Периодический поворот 3.2. Периодическое поступательное движение 3.3. Отсутствует 3.4. Сочетание 3.2 и 3.3	4.1. Один в одну сторону 4.2. Два в одну сторону 4.3. Два в разные стороны 4.4. Несколько	5.1. По образующей цилиндра (круговое) 5.2. В одной плоскости (параллельное) 5.3. Конусообразное 5.4. Тангенциальное ... ...

Для поиска новых способов деления длинномерных заготовок различной формы и, в частности, для синтеза отрезных устройств и суппортов на токарных автоматах предложены морфологические таблицы, из которых реализованы на уровне изобретений устройства без индивидуального привода для вращения дисковой фрезы [3].

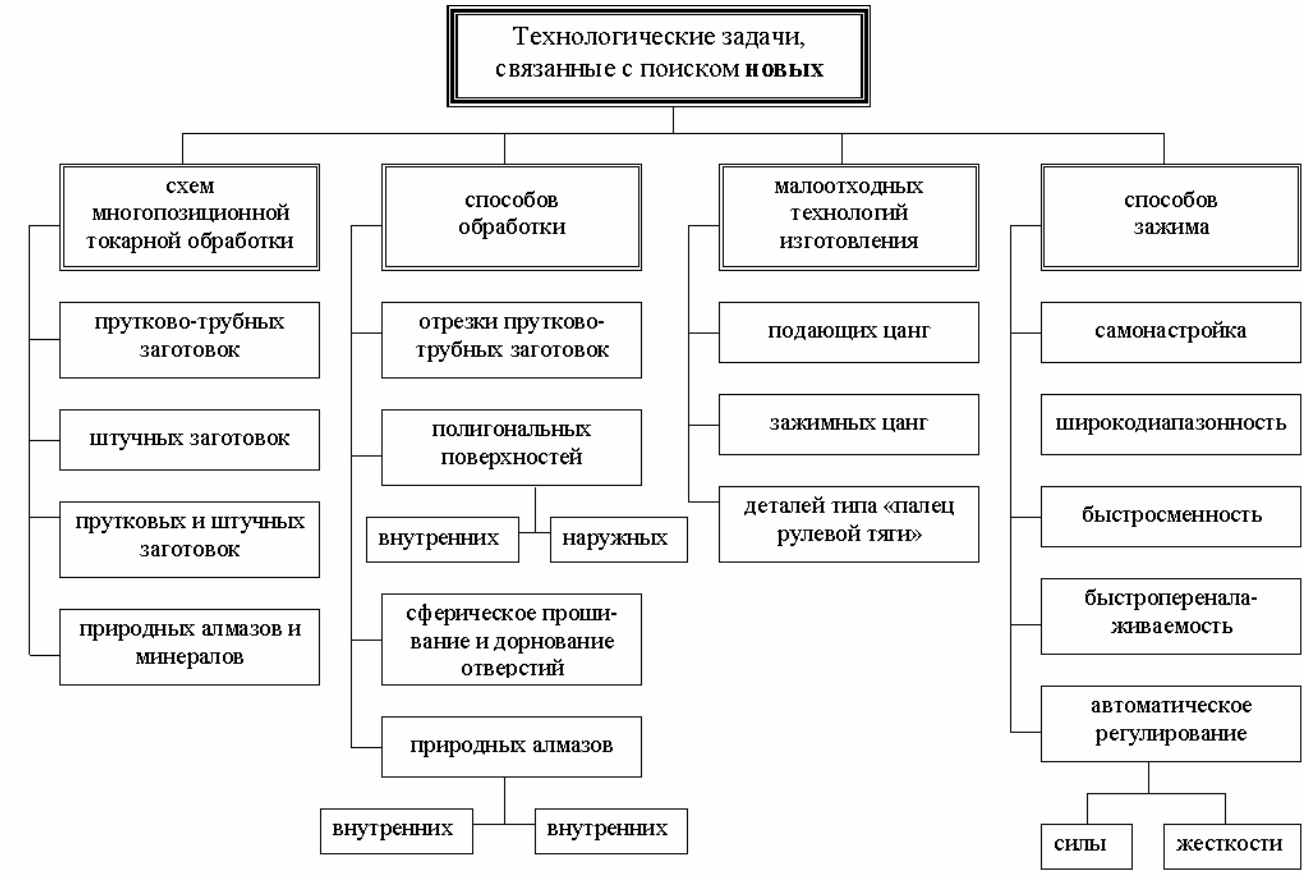


Рис. 3. Применение системно-морфологического подхода при решении технологических задач

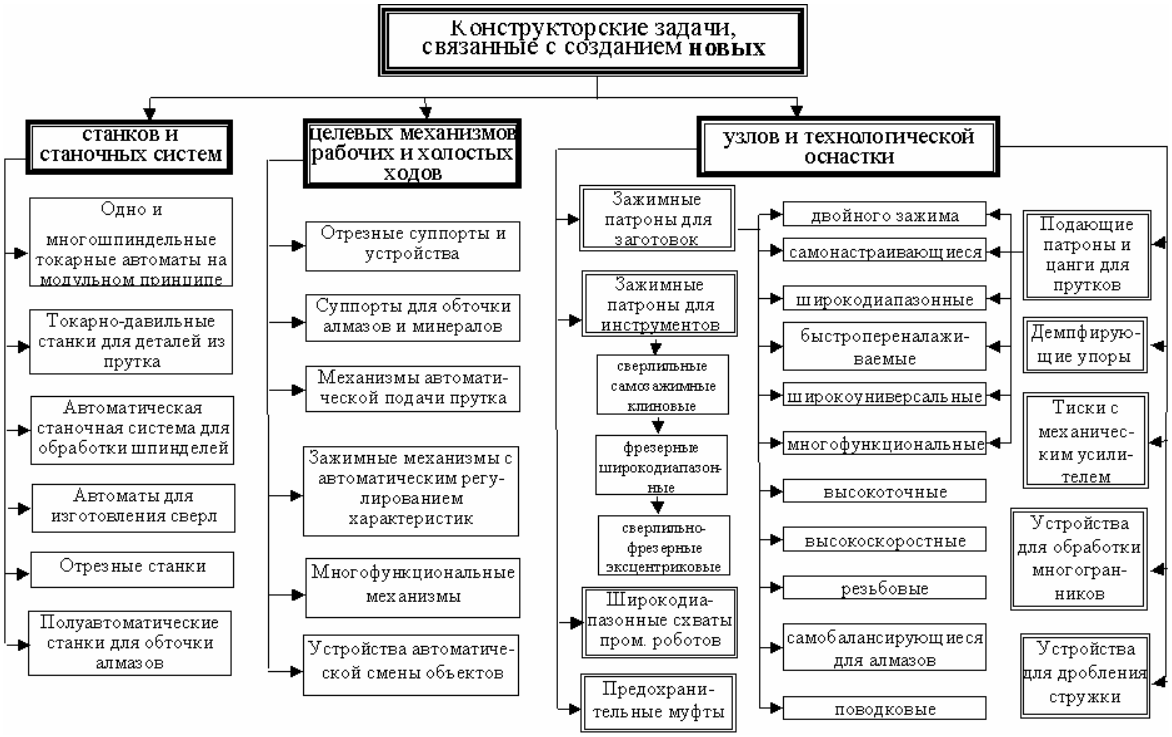


Рис. 4. Применение системно-морфологического подхода при решении конструкторских задач

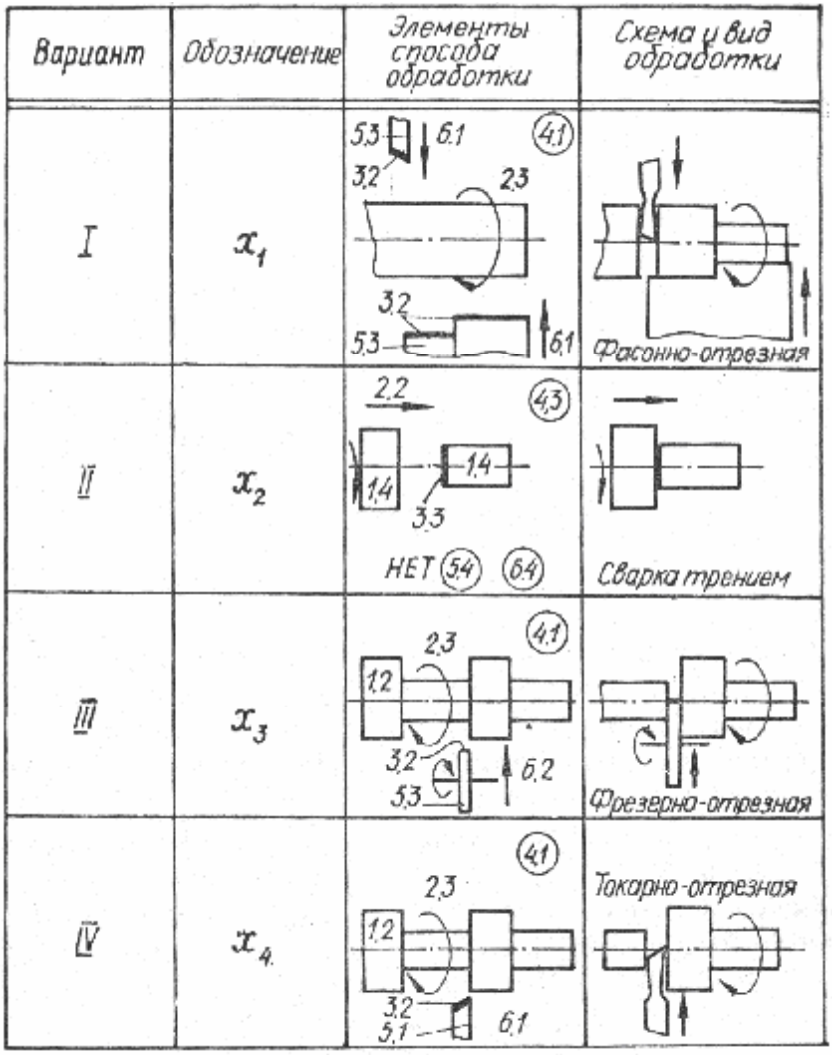


Рис. 5. Схемы обработки двухступенчатой детали

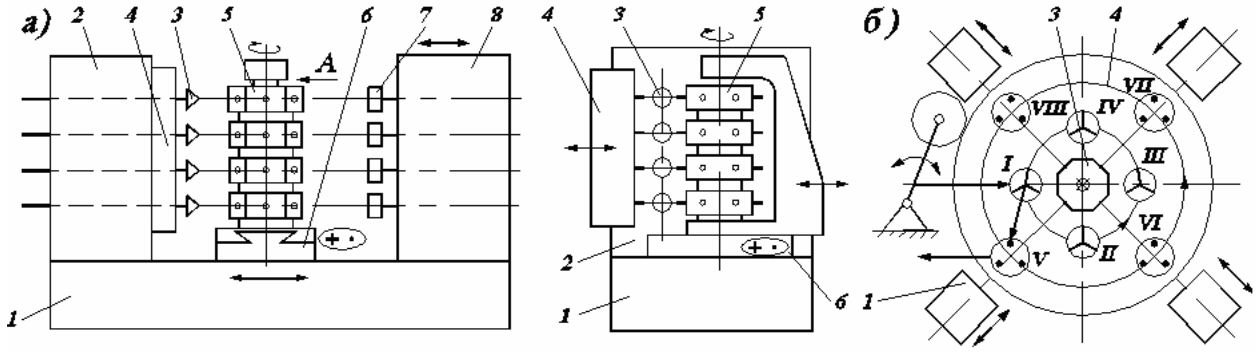


Рис. 6. Схемы многопозиционной токарной обработки и соответствующих им новых компоновок многошпиндельных токарных автоматов по сочетаниям (табл.2): а) 1.3. – 2.2 – 3.4 – 4.1 – 5.2 (прутково-патронный МТА параллельно-последовательного действия по а. с. СССР №1324766); б) 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.2 – 5.1 (прутково-патронный МТА последовательного действия по а. с. СССР №1292923)

Методом МА синтезированы самозажимные клиновые сверлильные [6], эксцентриковые сверлильно-фрезерные [3] патроны различных типоразмеров для станков и дрелей.

Для синтеза зажимных (цанговых и бесцанговых патронов) автором предложен дифференциально-морфологический метод [5, 6], основанный на применении эвристических приемов полного, неполного и комбинированного расчленения зажимного элемента при синтезе новых структур и морфологического анализа, дифференцирующего функции и связи между элементами патрона и привода зажима. Благодаря дифференциально-морфологическому методу созданы принципиально новые высокоточные, повышенной жесткости, самонастраивающиеся, широкодиапазонные, быстропереналаживаемые, многофункциональные и высокоскоростные зажимные механизмы (патроны и приводы).

С целью повышения коэффициента использования металла (до 80-95%), снижения трудоемкости изготовления и применяемого оборудования предложены новые способы изготовления и восстановления зажимных и подающих цанг, начиная от получения заготовки и заканчивая чистовыми операциями (рис.7).

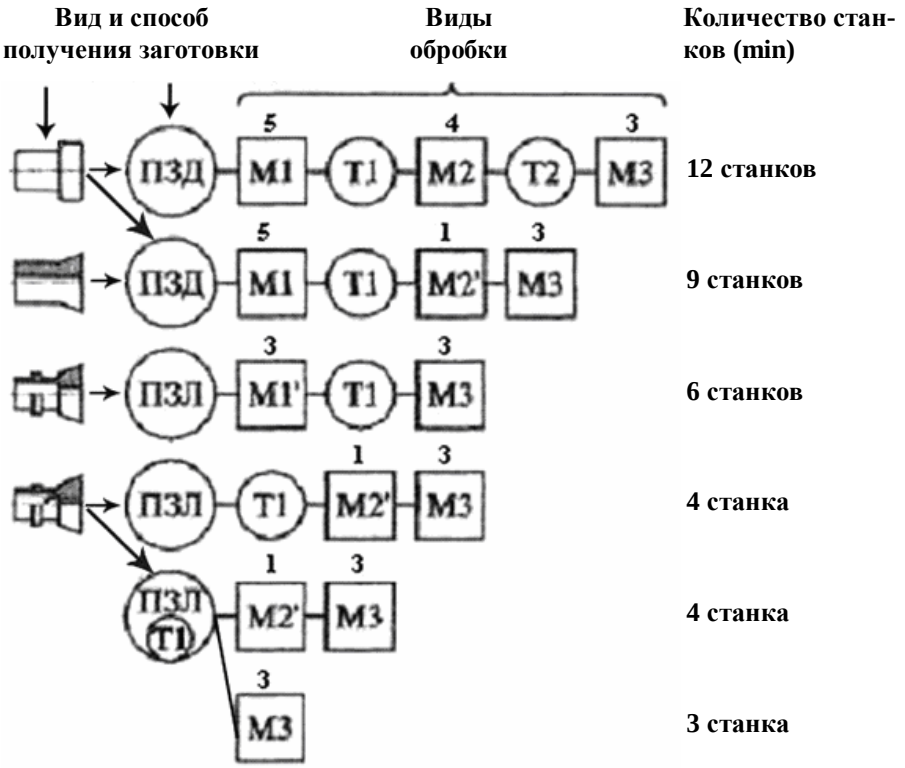


Рис.7. Эволюция совершенствования технологии изготовления зажимных цанг: М1 – механическая обработка (точение, растачивание, сверление, фрезерование); М1' – механическая обработка (сверление, фрезерование); М2 – механическая обработка (получистовое шлифование, нарезание резьбы); М2' – механическая обработка (нарезание резьбы); М3 – механическая обработка (чистовое шлифование); Т1 – термообработка (закалка с отпуском); Т2 – термообработка (термофиксация разведенных лепестков); ПЗД (ПЗЛ) - получение заготовки давлением (литьем)

Результатом применения современных методов поиска технических решений является способ обработки полигональных поверхностей за счет кинематической связи инструмента и заготовки и линейно-непрерывная технология комплексного изготовления деталей типа шаровой палец из прутка, включая получение штучной заготовки, термическую, механическую обработку и контроль на одной технологической машине, например, на токарно-давильном автомате.

Представленные примеры новых разработок, получивших широкое внедрение на предприятиях Украины и за её пределами убедительно свидетельствуют об эффективности методологии создания новых технических систем с применением современных методов поиска технических решений, которые условно можно разбить на системные, ассоциативные, алгоритмические и комбинированные.

Список литературы: 1. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част. / Під заг. ред. Ю.М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2003. **2.** Гмошинский В.Г. Инженерное прогнозирование. -М.: Энергоиздат, 1982. -208 с. **3.** Кузнєцов Ю.М. Системно-морфологічний підхід при створенні нових верстатів та їхніх механізмів // Вісник Житомирського технологічного університету. Вип. 2, №26, Т.1, 2003. – С. 87-93. **4.** Кузнєцов Ю.М., Скляров Р.А. Прогнозування розвитку технічних систем. – К.: ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с. **5.** Кузнецов Ю.Н. Целевые механизмы станков-автоматов и станков с ЧПУ. К.: ООО «ЗМОК» – Тернополь: ТГТУ, 2001. – 354 с. **6.** Самонастраивающиеся зажимные механизмы: Справочник / Ю.Н. Кузнецов, А.А Вачев, С.П. Сяров, А.Й. Цървенков; под ред. Ю.Н. Кузнецова -К: Тэхника; София: Гос. изд-во "Техника", 1988. -222 с. **7.** Теорія технічних систем / Ю.М. Кузнєцов, І.В. Луців, С.А. Дубиняк. Під заг. ред. Ю.М. Кузнєцова. – К.: – Тернопіль, 1998. – 310 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕРАБОТКИ СОДЕРЖАЩЕГО ДРАГМЕТАЛЛЫ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Г.В. Купченко, А.В. Майонов, О.А. Поко, В.Г. Купченко
(Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь)

The technologies of small-tonnage metallurgical reprocessing of noble metals including scrap have been developed and mastered. They are unique for the Republic of Belarus and are based on a specific combination of metallurgical methods including a vacuum melting, directional crystallization, plastic deformation and shaping

В ФТИ НАН Беларуси разработаны комплексные технологии, на основе которых организовано опытное производство по реализации замкнутого цикла переработки лома высокочистых металлов и изготовлению полуфабрикатов и изделий различной номенклатуры. Технологии основаны на особом сочетании металлургических приемов и могут включать в себя вакуумную плавку металла, направленную кристаллизацию слитка, пластическую деформацию - прокатку, волочение с промежуточными отжигами, формообразование, сбор отходов и повторный переплав. Достоинством технологий является возможность использования вторичных ресурсов, утилизации отходов производств, и получение при этом деталей и изделий, по эксплуатационным свойствам не уступающим изготовленным из первичного металла.

С целью получения качественных отливок из *высокочистого алюминия* и его сплавов для мишеней магнетронного распыления исследованы следующие комбинации технологических приемов: 1 - выплавка в вакууме 1,3…0,13 Па и заливка в холодный кокиль; 2 – выплавка, заливка и направленная кристаллизация в вакууме; 3 – выплавка в вакууме, а заливка и направленная кристаллизация в среде азота. Слитки, полученные по первым двум вариантам, вопреки ожиданиям их высокой плотности усеяны многочисленными рассеянными порами и полостями каплевидной формы, вытянутыми тонкой частью вдоль направления кристаллизации. Причина образования пористости при проведении процесса в вакууме и ее отсутствие при завершении двух последних стадий процесса в азоте (или аргоне) труднообъяснима. Возможно, она связана с диффузионной пассивностью азота в алюминии, что приводит к дополнительной дегазации расплава.

Таким образом, широко распространенные для алюминия и его сплавов плавка и разливка в вакууме не позволяют получить отливку без пор и раковин. Только применение при плавке и разливке инертного газа при атмосферном давлении и дальнейшая направленная кристаллизация позволяют получить требуемую плотность отливки [1].

Вакуумная плавка в сочетании с направленной кристаллизацией слитков является радикальным способом устранения пористости. Однако нельзя не учитывать, что плавка в вакууме сопряжена со значительными безвозвратными потерями благородных металлов. Естественно, потери можно уменьшить, понижая вакуум и сокращая время вакуумирования расплава. Установлено, что для серебра и его сплавов целесообразно разогрев шихты и ее расплавление производить в графитовом тигле в форвакууме, после чего камера заполняется азотом, обладающим большой пассивностью диффузии в драгоценные металлы (для серебра и его сплавов до 1300 °С), который одновременно защищает от окисления и дегазирует расплав при плавке и литье. При достижении расплавом температуры, на 60…80°С превышающей температуру плавления шихты, производится его заливка в графитовую изложницу размером 130х230х30 мм, находящуюся в специальном нагревательном устройстве, поддерживающем ее температуру на уровне 10…20 °С выше температуры плавления заливаемого расплава. Затем со скоростью 45 см/час производится вывод изложницы из зоны нагрева.

При литье серебряных сплавов с направленной кристаллизацией полностью исключается образование полостей, изолированных от доступа жидкой фазы. Создаются благоприятные условия для свободного оттеснения растворенных и захваченных при литье газов перемещающейся границей жидкое - твердое. В этом и заключается принципиальное преимущество литья с направленной кристаллизацией, которое обеспечивает получение высококачественных слитков и изделий, практически идеально плотных, без усадочной и газовой пористости. Минимизируется ликвация и вызываемая ею неоднородность слитков по химсоставу.

Дальнейшая пластическая деформация отливок из серебра, сплавов СрМ960, СрМ925, ПСр72, изготовленных методом направленной кристаллизации, показала полное отсутствие в них таких дефектов как усадочная раковина и газовые поры, а выход годного проката в виде листа толщиной 0,5…1 мм составил ~ 90 % от общей массы слитков. По такой технологии изготовлены листы для воссоздания раки Святой Евфросинии Полоцкой.

Наиболее качественные передельные слитки палладия, платины и ее сплавов получают путем комбинированной плавки и литья в медную водоохлаждаемую изложницу. Тщательно очищенный травлением в плавиковой кислоте лом сплавов

ПлРд10 и ПлРд20 вначале для удаления легкоокисляющихся примесей подвергается индукционной окислительной плавке на воздухе в тигле из диоксида циркония. Затем расплав вакуумируется (1,3…0,13 Па) в течение 5…10 мин., камера заполняется аргоном и осуществляется заливка расплава в открытую изложницу. Процесс кристаллизации начинается от стенок изложницы внутрь слитка. Его макроструктура состоит из мелких вытянутых кристаллитов, располагающихся перпендикулярно боковым стенкам отливки. Следовательно, в отливке формируется направленно кристаллизованная структура с расположением кристаллитов не вдоль, а поперек длинной оси отливки.

Существенное влияние на качество получаемых слитков оказывают степень перегрева жидкого металла и скорость его заливки в изложницу. Для платины и платинородиевых сплавов перегрев составляет 100…150 ^{o}, для палладия 60…80 ^{o} выше температуры плавления. Перегрев необходим также для того, чтобы максимально освободить тигель от металла во избежание образования возвратных отходов. Данные получены для слитка габаритами 120х140х15 мм. Увеличение толщины отливки и недостаточный перегрев металла может приводить к образованию внутренней срединной полости, появляющейся вследствие несогласованности скоростей литья и кристаллизации.

Растворенные в жидком металле и захваченные при разливке газы приводят к снижению качества слитка, что проявляется в образовании газовой пористости. Необходимо, чтобы растворенные газы успевали удаляться во время затвердевания металла в изложнице. Так как основная дегазация расплава происходит во время разливки, большое влияние на качество отливки оказывает скорость разливки. Экспериментальным путем установлено, что при заливке платины и платинородиевых сплавов эта скорость не должна превышать 0,02…0,025 л/сек, при разливке палладия - 0,045…0,05 л/сек. Меньшая скорость заливки приводит к образованию неслитин, ее превышение – к образованию газовых пузырей в слитке.

Высокая стоимость сплавов оправдывает все мероприятия, направленные на получение качественных бездефектных слитков.

Одним из направлений ресурсосбережения является извлечение драгоценных металлов из вторичного сырья. Проблема использования вторичного сырья, содержащего драгоценные материалы из компьютеров, периферийного оборудования, радиоэлектронного лома, различных отходов производств, актуальна в связи с техническим перевооружением отраслей промышленности, а также в связи с тем, что мировые запасы драгоценных металлов имеют тенденцию к снижению, что приводит к удорожанию стоимости добычи первичных драгоценных металлов.

Процесс переработки сырья, содержащего вторичные драгоценные металлы, можно разделить на три основных этапа: механическая переработка, химическая либо электрохимическая переработка, металлургическая переработка.

На этапе механической переработки производится подготовка сырья к пробоотбору, а также для дальнейшей переработки. Для этого при помощи шаровых, либо щековых мельниц радиоэлектронный лом подвергается помолу, превращаясь в однородную сыпучую массу. Из нее при помощи специальных пробоотборников отбирается представительная проба для проведения химического анализа, по результатам которого принимается решение о технологии дальнейшей переработки. Металлический концентрированный лом (тигли, пластины, проволока) анализируется и сортируется по химическому составу после стравливания с поверхности посторонних неметаллических включений. В случае, если чистота металла не ниже 99,9%, такое сырье отправляется сразу на переплав. Если концентрированный лом представляет из себя сплавы различных составов, сырье отправляется на химическое разделение. При проведении помола

радиоэлектронного лома для уменьшения безвозвратных технологических потерь, необходимо использовать пылеулавливающие фильтры.

На этапе химической и электрохимической переработки производится выделение порошков драгоценных металлов из сырья, подготовленного на этапе механической переработки. Также на этом этапе производится аффинаж порошков до получения требуемой чистоты. Аффинаж может производиться как химическим, так и металлургическим путем. Например, для очистки золота и серебра от вредных примесей применяется переплав с окислительными флюсами, имеющими в своем составе азотнокислый калий либо натрий. При проведении химической переработки особую актуальность приобретают вопросы снижения удельного расхода химических реактивов на единицу выхода готовой продукции. Кроме экономического данная проблема имеет и экологический аспект. После завершения химической переработки чернь драгоценных металлов поступает на заключительный этап — металлургическую переработку.

На этапе металлургической переработки производится изготовление слитков и полуфабрикатов драгоценных металлов. При проведении металлургической переработки наиболее тщательной подготовки к процессу переплава требуют порошки таких металлов как палладий и серебро, так как они в большей степени подвержены окислению. Для порошков этих металлов необходим отжиг в инертной либо восстановительной атмосфере, при этом температура отжига для палладия должна составлять 1000 ^{0}C, а для серебра-700 ^{0}C. Отжиг платинового порошка возможно проводить на открытом воздухе, так как платина слабо подвержена окислению, а температура отжига должна составлять не менее 1100 ^{0}C. Полученные в результате отжига порошки брикетируются и отправляются на переплав.

Для того, чтобы избежать значительных безвозвратных технологических потерь при переплаве, необходимо строго соблюдать температуру разливки металла, которая не должна превышать температуру плавления более чем на 80-100 ^{0}C, а также стремиться к уменьшению времени проведения плавки, что кроме уменьшения потерь драгметаллов на угар ведет к сокращению потребления электроэнергии.

Все созданные и освоенные технологии, характеризуются замкнутым циклом – от лома до готового изделия, и в значительной мере обеспечивают сырьевую безопасность различных отраслей промышленности Беларуси.

Список литературы: 1. **Купченко Г.В., Майонов А.В., Поко О.А. Способ получения слитков. Патент РБ № 200110384.**

РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЖДУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИМ РОСТОМ

Курбанов Х.К. *(Туркменский политехнический институт г. Ашгабат, Туркменистан)*

The issue is considered regarding the effectiveness of mounting the boiler units trough increase of their bloks.

Как известно, численность населения земного шара растет, растет и жизненный уровень. С ростом численности населения повышается спрос на различные виды продукции, связанные с потреблением энергии, что, в свою очередь, оборачивается загрязнением окружающей среды.

В некоторых промышленно развитых странах (Япония, Канада, Германия, Франция, Америка, Россия, Китай, Украина, Белоруссия) во многом рост уровня потребления энергии связан использованием более крупных по размеру или менее экономичных потребителей энергии [1].

Нависшая над окружающей средой угроза, приковавшая к себе внимание всего мира и придавшая новый импульс наблюдающемуся в настоящее время беспрецедентному технологическому взрыву, состоит в глобальном потеплении, вызванным повышением температуры на земном шаре в результате загрязнения атмосферы, прежде всего под воздействием углекислого газа. Хотя в большинстве своем ученые сходятся в том, что в предстоящем десятилетии, и даже в более долгосрочной перспективе, безусловное определение парникового эффекта, заметно обострившегося в последнее время, маловероятно, они все же выступили с нехарактерными для них мрачными предупреждениями о том, что, если ждать, пока масштабы парникового эффекта будут измерены, могут произойти глубокие, необратимые изменения. Чтобы подобные изменения предупредить, миру необходимо сосредоточить свои усилия на трех основных направлениях.

Очень часто экономический рост сопровождается ухудшением состояния окружающей среды.

Эксплуатация Земли и ее природных ресурсов осуществляется без учета последствий, которыми она оборачивается для окружающей среды и для тех, чья будущая жизнь непосредственно от нее зависит. Однако, казалось бы, неисчерпаемые, богатейшие возможности Земли отнюдь не безграничны. Признание этого факта представляет собой одно из самых значительных достижений двадцатого века, которое, правда, далось с огромным трудом. От того, будут ли приняты меры, основанные на этой посылке, во многом зависит то, как будут развиваться события в XXI веке.

К счастью, многое уже сделано в той области, которая называется обеспечением устойчивого роста. Попросту говоря, устойчивый рост означает поддержание экономического развития таким образом, чтобы оно благотворно сказывалось на состоянии природной среды обитания или, по крайней мере, не причиняло ей вреда.

На практике это означает выявление новых подходов к решению старых проблем и их практическое применение [2].

Рассмотрим некоторые вопросы по выбору парниковых газов (ПГ) из источников теплоснабжения при сжигании различных топлив:

Природный газ.

Рассчитаем, сколько тонн CO_2, выбрасывается при сжигании 1 тыс. кубических метров природного газа.

В настоящее время отсутствуют национальные коэффициенты выбросов ПГ, поэтому для расчетов используются коэффициенты, представленные в таблице 1 (коэффициент выбросов углерода K_c=0,0153 т С/ГДж; коэффициент фракции окисленного углерода K_f=0,095; коэффициент преобразования углерода в CO_2 – 3,666).

Средняя теплотворная способность природного газа, составляет 33,997 ГДж/тыс.куб.м. Расчеты выбросов проводятся по формуле

$$\mathbf{Q_{CO_2} = 1{,}0 \times 33{,}997 \times 0{,}153 \times 0{,}995 \times (44/12) = 1{,}8977\ т\ CO_2}$$

При сжигании 1 тысячи кубических метров природного газа образуется 1,8977 тонн CO_2.

Уголь.

Рассчитаем, сколько тонн CO_2, выбрасывается при сжигании 1 тонны угля.

Для расчетов выбросов CO_2, образующегося при сжигании угля, используются коэффициенты представленные в таблице 1 (коэффициент выбросов углерода K_c=0,0153 т С/ГДж; коэффициент фракции окисленного углерода K_f=0,095; коэффициент преобразования углерода в CO_2 – 3,666).

Теплотворная способность угля в значительной степени зависит от его марки и колеблется в пределах от 2100 до 3500 ккал/кг и более. При проведении инвентаризации ПГ теплотворную способность бурого угля, определили в 15,413 ГДж/т. Это значение будет использовано и при данных расчетах.

Расчеты выбросов проводятся по формуле

$$\mathbf{Q_{CO_2} = 1{,}0 \times 15{,}413 \times 0{,}0262 \times 0{,}98 \times (44/12) = 1{,}451\,т\,CO_2}$$

При сжигании 1 тонны угля образуется 1,451 тонн CO_2.

Дизельное топливо и автомобильный бензин.

Если расход топлива приведен в объемных единицах (в литрах), то для использования в расчетах выбросов ПГ его надо предварительно преобразовать в весовые единицы (в тонны). Для этого объем топлива в литрах необходимо умножить на коэффициент плотности топлива. Для дизельного топлива эта величина составляет 0,82-0,85 кг/л, а для автомобильного бензина 0,72-0,78 кг/л и зависит от конкретной марки топлива.

Теплотворная способность Т дизельного топлива и автомобильного бензина должна соответствовать установленным стандартам. Для дизельного топлива эта величина равна 42,496 ГДж/т, а для бензина – 43,668 ГДж/т.

По этим видам топлива также отсутствуют местных коэффициенты выбросов и для расчета используются коэффициенты (Таблица 1): 1) для дизельного топлива (коэффициент выбросов углерода K_c=0,0202 т С/ГДж); для автомобильного бензина (коэффициент выбросов углерода K_c=0,0189 т С/ГДж). Коэффициент фракции окисленного углерода – 0.99.

Таблица 1. Коэффициент выбросов углерода

ВИДЫ ТОПЛИВА	Единица измерений	Коэффициент выбросов С (Т С/ГДж)	Фракция окисленного углерода
Сырая нефть	1 т	0,0200	0,990
Бензин	1 т	0,0189	0,990
Авиакеросин	1 т	0,0195	0,990
Прочие виды керосинов	1 т	0,0196	0,990
Дизельное топливо	1 т	0,0202	0,990
Печное бытовое топливо	1 т	0,0202	0,990
Топочный мазут	1 т	0,0211	0,990
Сжиженный нефтяной газ	1 т	0,0172	0,990
Битум	1 т	0,0220	0,990
Смазочные материалы	1 т	0,0200	0,990
Нефтезаводской газ	1 т	0,0182	0,990
Другие нефтепродукты	1 т	0,0200	0,990
Уголь каменный	1 т	0,0258	0,980
Уголь бурый	1 т	0,0262	0,980
Брикеты угольные	1 т	0,0258	0,980
Кокс	1 т	0,0295	0,980

Газ подземной газификации	1 тыс.куб.м	0,0262	0,980
Природный газ (сухой)	1 тыс.куб.м	0,0153	0,995

При расчете выбросов ПГ от сжигания топлива определенную трудность представляет выбор низшей теплотворной способности, так как качество используемого топлива в течение года может меняться. На крупных ТЭС калорийность топлива определяют в лабораториях. Мелкие предприятия, такие, например, как районные котельные, используют сертификаты, выдаваемые поставщиком или производителем топлива [3].

По данному глобальному вопросу автором проделано следующее:

Разработано и обосновано новое перспективное направление в области повышения эффективности использования сжигаемого в котлах органического топлива и существенного снижения вредных выбросов в атмосферу [4].

Определена область применения различных видов конструкций теплообменных конвективных поверхностей в котлах на основании выполненного автором комплекса теоретических, лабораторных и промышленных исследований. Разработаны и внедрены отдельные виды конструкций поверхностей нагрев, показаны их надежность и эффективность в эксплуатации [5].

Результаты работы сводятся к следующему:

1. На основании анализа технического уровня существующего оборудования производственно-отопительных котельных определены основные направления совершенствования их конвективной части: разработка и внедрение нетрадиционных типов теплообменного оборудования, а также их рационального расположения в газоходе котла.

2. Созданы лабораторные установки, разработаны стандартные и оригинальные методики, изучены экспериментальным путем аэродинамические, тепловые характеристики и температурный режим металла труб. Подготовлены 6 экспериментальных установок для проведения различных опытов.

3. На основании результатов комплексных лабораторных и промышленных исследований автором получены расчетные аэродинамические и теплотехнические характеристики пучков стеклянных труб при продольном и поперечном обтекании газовым потоком, пучков Z – образных труб и влияние на интенсивность теплообмена и аэродинамические сопротивления местных турбулизаторов установленных до, в центре и за пучком труб. Разработаны и рекомендованы формулы для расчета теплообмена и аэродинамических сопротивлений всех исследованных типов конвективных поверхностей нагрева.

4. Выполнены промышленные исследования и анализ имеющегося опыта эксплуатации различных теплообменных поверхностей нагрева в котле и на основании этого определены и уточнены коэффициенты использования поверхностей нагрева. $\eta=0,6\div0,7$.

5. Разработаны методики расчета натурных элементов теплообменного оборудования и созданы полупромышленные конструкции элементов, проведено исследование особенностей их работы, получены эксплуатационные характеристики, показывающие хорошую сходимость с расчетными по предложенным методикам, подтверждена надежность и эффективность работы конструкций элементов разработанного теплообменного оборудования.

6. На основании проведенного комплекса исследований, разработанных на их базе методик и рекомендаций, были спроектированы, изготовлены и успешно опробованы конструкции различных теплообменных элементов энергетических установок:

СВП, Z – образнх труб и использования турбулизирующих перегородок для глубокого охлаждения уходящих газов и обеспечения благодаря этому возможности существенной экономии топлива и снижения вредных выбросов в атмосферу. На одном котле сэкономлено 14000 $м^3$/г природного газа и 150000 кВт/ч эл. энергии.

7. За счет внедрения разработок автора получен существенный экономический эффект, о чем свидетельствуют приводимые в приложении рекомендации автора. Результаты проведенных исследований и разработанных методик расчета используются в ряде организаций (ВТИ, ЦКТИ им. И.И. Ползунова, Энергомонтаж, в ряде районных котельных, Корпорация «Кувват» межколхозспецстрой этрап Сакар-Чага, ПРОМАГРОКС специализированное пуско-наладочное управление министерства сельского хозяйства и продовольствия Туркменистана, СантехНИИПроект и другие) при разработке, проектировании и изготовлении теплообменников для котельных установок и некоторых других элементов оборудования.

8. На котле КВ-ГМ, Z – образные воздухоподогреватели позволили разместить на 15 % больше поверхности нагрева и соответственно увеличен теплосъем с единицы поверхности нагрева. Экономия составила 10600 $м^3$ природного газа за 1 год (отопительный сезон).

9. На основании разработок воздухоподогревателей КПД котельных увеличился с 91,2% до 91,93% т.е. $\Delta\eta$=0,73%.

10. Получены критериальные зависимости, обобщающие среднюю теплоотдачу, изучена труба в случаях установки перегородки в различных вариантах.

11. Проведена проверка результатов исследований в промышленных условиях. Получен экономический эффект, влияющий как на экономию органического топлива, а также на снижение количества вредных газообразных выбросов загрязняющих окружающую среду.

Список литературы: 1. **Кэртис Мур «Энергетика: новая эпоха» - экологический доклад.** 2. **Керри Мейер «Поддержание равновесия между состоянием окружающей среды и экономическим ростом» - экологический доклад.** 3. **Материалы. Обучающий семинар «Подготовка крупномасштабных проектов по Механизму Чистого Развития (МЧР)». Туркменистан, Ашгабат, 17-18 ноября 2005 года.** 4. **Курбанов Х.К., Зорин В.А., Пермяков Б.А. Повышение экологического уровня котельных установок. Госплан ТССР, НИИНТИ и ТЭИ, Ашгабат, 1991 г.** 5. **Пермяков Б.А., Курбанов Х.К. Совершенствование конструкций и повышение эффективности использования источников теплоснабжения. Ашгабат, ЫЛЫМ, 1991 г.**

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ УЧАСТКАМИ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Лаздынь С.В., Секирин А.И. *(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

A new method of optimum schedules calculation for flexible manufacturing systems (FMS), built on the use of object model and genetic algorithms is developed. The structure of the decisions support system in the FMS management is developed, which executes the modeling, optimization and dynamic adjustment of equipment schedules. Application of the decisions support system allows to provide the FMS functioning in the mode near to optimum.

Введение. Наиболее перспективным направлением развития машиностроения является разработка и внедрение гибких автоматизированных производств (ГАП), создаваемых на базе оборудования с ЧПУ, роботов - манипуляторов, управляемых от ЭВМ. Из множества создаваемых ГАП наибольшее распространение получили гибкие автоматизированные участки (ГАУ), в состав которых входят гибкие производственные модули (ГПМ), автоматизированная транспортная система (АТС), автоматизированный склад (АС), система управления (СУ ГАУ). Для эффективного управления ГАУ одной из главных задач является формирование оптимального или близкого к нему расписания работы оборудования, а также - динамическая его корректировка с учетом изменения производственной ситуации.

Поиску методов построения оптимальных расписаний посвящено достаточно большое число научных работ. Однако, несмотря на проведенные ранее исследования и выполненные разработки, данная проблема не получила окончательного решения и имеет актуальное значение [1].

Постановка задачи оптимизации управления работой ГАУ. Пусть рассматриваемый ГАУ состоит из L единиц технологического оборудования Q_l (l = 1, 2, …, L). Процесс изготовления деталей D_i (i=1,…,n) разбивают на технологические операции $O_{ij} = < H_{ij}, T_{ij} >$, (i=1,…, n; j=1,…, m), где H_{ij} – номер группы технологического оборудования; T_{ij} – продолжительность выполнения операции.

Операция O_{ij} должна выполняться без перерыва с самого начала. Если обозначить через t_{ij} – время начала выполнения операции O_{ij}, а через $\bar{t}_{ij}$ – момент окончания обработки, то должно выполнятся равенство: $\bar{t}_{ij} = t_{ij} + T_{ij.}$ Время начала операции зависит от времен выполнения предыдущих и всегда выполняется неравенство: $t_{ij} \le t_{ij+1.}$ Тогда совокупность $\{t_{ij}\}$ (i=1,…, n; j=1,…, m), удовлетворяющих всем технологическим и временным ограничениям, является расписанием (G) работы автоматизированного технологического комплекса.

Задача оптимизации расписания заключается в том, чтобы для ГАУ с заданными технологическими маршрутами обработки деталей, определить такую последовательность запуска деталей в производство и размеры партий запуска, при которых целевая функция - критерий оценки качества расписания F(G) стремится к экстремуму

$F(\overline{G}) = \text{extr } F(G)$ при выполнении следующих ограничений:

- по объемам изготовления: $N_{фi} = P_{i,,}$

где $N_{фi}$, – фактическое изготовленное количество деталей i-го типа (i=1,…, n); P_i - заданное в производственной программе количество деталей i-го типа.

- по срокам изготовления: $T_{изг\,i} \le T_{дир\,i}$, i=1, 2, …, k,

где $T_{изг\,i}$, $T_{дир\,i}$ – фактический и директивный сроки изготовления i-ой детали.

- по фонду времени работы технологического оборудования:

$$\sum_{i=1}^{n} P_i \sum_{j=1}^{m} T_{ij} \le R_l,$$

где T_{ij} – длительность выполнения технологической операции; R_l – ресурс l-ой группы оборудования (l = 1, 2, …, L).

При этом совокупность времени $\{t_{ij}\}_{опт,}$ соответствующая экстремуму критерия F(G) является оптимальным расписанием ($\overline{G}$) работы ГАУ.

В качестве критерия, по которому производится оценка оптимальности полученного расписания, могут использоваться следующие показатели работы ГАУ:

1. Длительность цикла изготовления деталей (Тц→min).
2. Средний коэффициент загрузки технологического оборудования ГАУ (Кз→max).

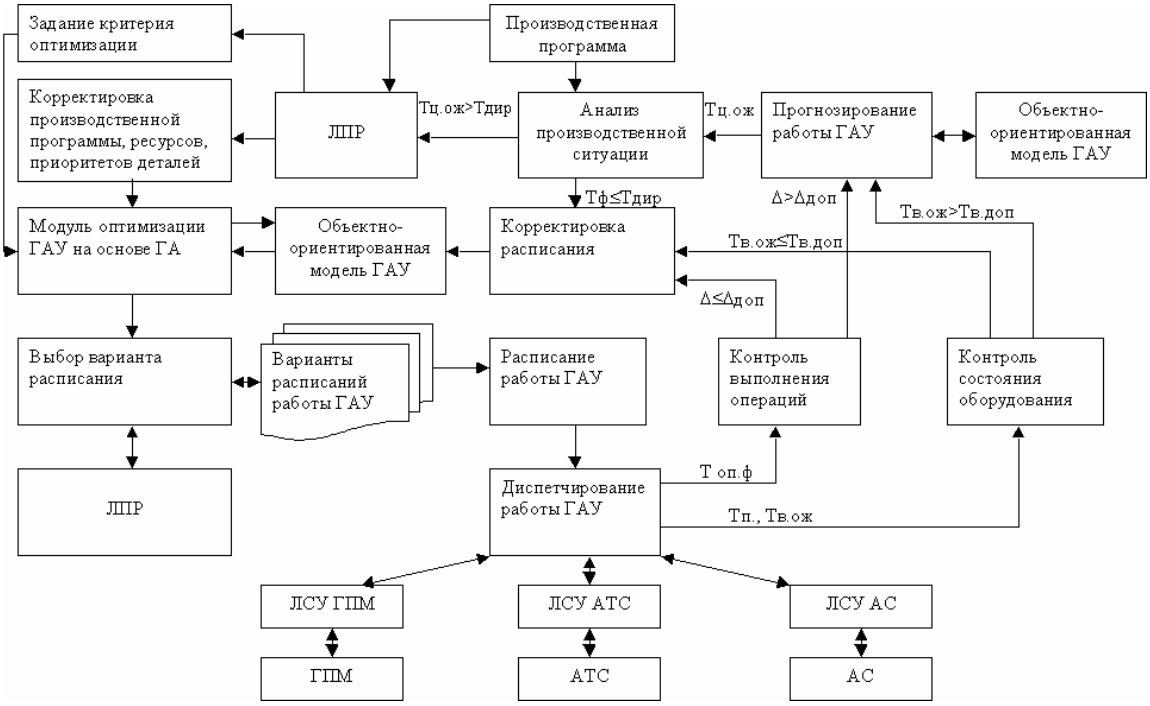


Рис.1. Функциональная схема работы системы поддержки принятия решений в управлении ГАУ

Оптимизация расписаний работы ГАУ с использованием объектной модели и генетических алгоритмов. Для решения сформулированной выше задачи оптимизации расписаний работы технологического оборудования предложен новый подход, построен-ный на использовании объектно-ориентированного моделирования и генетических алгоритмов (ГА) [1]. Особенностью данного подхода является то, что решение определяется в процессе взаимодействия двух составляющих – объектной модели ГАУ [2] и модифицирован-ного двухуровневого генетического алгоритма [3]. В результате формируется субоптимальное расписание, близкое к оптимальному с заданной степенью точности для выбранного критерия F(G).

Объектная модель ГАУ [2] построена как совокупность взаимодействующих моделей следующих типовых компонентов: гибкий производственные модуль, автоматизированный склад, транспортный модуль и система управления, описанных как соответствующие классы объектов. Данная модель позволяет получить последовательность и времена наступления всех событий в ГАУ, а также - определить различные показате-

ли его работы: простои и загрузку оборудования, длительности циклов обработки партий деталей и др.

Разработан модифицированный генетический алгоритм [3], в котором использовано двухуровневое представление хромосом, что позволяет варьировать последовательностью запуска партий деталей на верхнем уровне и размерами этих партий на нижнем уровне:

$$Chr^1=[m_1, m_2, \ldots, m_n] - \textit{хромосома первого уровня},$$

$$Chr^2=[k_1, k_2, \ldots, k_n] - \textit{хромосома второго уровня},$$

где m_i *и* k_i *– натуральные числа, кодирующие номера и размерности партий запуска соответственно;* n *– число видов партий запуска деталей в производство.*

В процессе работы генетический алгоритм формирует множество возможных решений (популяцию хромосом), задающих очередность и размеры партий деталей, запускаемых в производство, которые являются исходными данными для объектной модели ГАУ. В результате моделирования определяется значение целевой функции для выбранного критерия оценки качества расписания *F(G)* и формируется последовательность событий (операций), которая является основой для построения расписаний. ГА производит оценку полученных от модели данных, с помощью операторов кроссинговера, мутации и селекции формирует улучшенный набор хромосом, который снова передается в модель. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет найдено значение целевой функции *F(G)*, близкое к оптимальному.

Структура системы поддержки принятия решений в управлении работой ГАУ. На базе предлагаемого подхода разработана структура системы поддержки принятия решений в управлении ГАУ, функциональная схема которой приведена на рис. 1. Управление работой ГАУ осуществляется блоком диспетчирования на основе ранее составленного расписания путем выдачи команд в локальные системы управления (ЛСУ) и получения сообщений об их выполнении. После завершения очередной операции производится контроль возникшего отклонения от расписания Δ сравнением его с допустимым отклонением $\Delta_{доп}$. Величина $\Delta_{доп}$ для каждой операции определяется величиной резерва времени в расписании. Если $\Delta \leq \Delta_{доп}$, то производится корректировка расписания с помощью объектной модели ГАУ. Так же постоянно контролируется состояние оборудования и в случае возникновения поломки анализируется время ожидаемого восстановления $T_{в.ож}$. Если $T_{в.ож} \leq T_{в.доп}$, то также производится корректировка расписания. Если отклонения превышают директивные сроки производится расчет нового расписания работы ГАУ с использованием модуля оптимизации на основе генетических алгоритмов (ГА). Оценка полученных с помощью ГА решений производиться с использованием объектной модели ГАУ. Выбор и утверждение окончательного варианта расписания работы ГАУ производится ЛПР – диспетчером ГАУ.

Данная система позволяет максимально повысить загрузку технологического оборудования, существенно снизить длительность производственного цикла изготовления деталей, что в свою очередь, обеспечивает высокую эффективность функционирования автоматизированного технологического комплекса механообработки в целом.

Выводы. Разработан новый метод формирования оптимальных расписаний работы ГАУ механообработки, построенный на использовании объектной модели и генетических алгоритмов. Разработана структура системы поддержки принятия решений в управлении ГАУ, которая выполняет моделирование, оптимизацию и динамическую корректировку расписания работы оборудования. Применение системы поддержки

принятия решений позволяет обеспечить функционирование ГАУ в режиме, близком к оптимальному.

Список литературы: 1. Лаздынь С.В., Секирин А.И. Совершенствование методов управления автоматизированными технологическими комплексами механообработки на основе объектно-ориентированного подхода и генетических алгоритмов. //Научные труды Донецкого государственного технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация, выпуск 38. – Донецк: ДонГТУ, 2002. – с. 169-175. 2. Секирин А.И. Построение объектно-ориентированной модели автоматизированного технологического комплекса механообработки. //Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация, выпуск 64. – Донецк: ДоНТУ, 2003. – с. 223-232. 3. Лаздынь С.В., Секирин А.И. Оптимизация расписаний работы автоматизированных технологических комплексов механообработки с использованием генетических алгоритмов. //Международный сборник научных трудов “Прогрессивные технологии и системы машиностроения”, выпуск 25. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – с. 198-203.

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Лахин А.М., Михайлов А.Н. *(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

Processing of gear wheals is one of the most important problems of modern machine building. There are so many a variant of decorating operation processing with gear wheals, but degree to automations of these ways distant from perfection. In article is offered way decorating process of gear wheals about on the base of the technologies of the unceasing action.

В современном машиностроении в условиях массового и крупносерийного производства возникает потребность изготовления зубчатых колес в больших количествах. Их производство в основном реализуется на универсальном зубообрабатывающем оборудовании или полуавтоматах, не обеспечивая при этом необходимый уровень автоматизации, тем самым, сдерживая ход технологического процесса.

Одними из наиболее длительных операций являются операции чистовой и отделочной обработки зубчатых колес, поскольку содержит большое количество длительных и повторяющих переходов.

Поэтому перед разработчиками современных высокопроизводительных систем ставятся основные цели: повышение производительности и качества параметров зубчатых колес за счет использования прогрессивных технологий на основе систем непрерывного действия.

Одними из наиболее прогрессивных современных технологических систем являются машины роторного типа, которые обеспечивают непрерывный процесс обработки изделий в процессе их транспортировки. Эти машины получили широкое распространение в массовых отраслях машиностроения для производства мелких крепежных деталей, а также в фармацевтической и легкой промышленности. Возможность использования роторных машин для изготовления зубчатых колес не рассматривалась, поскольку зубчатые колеса относятся к довольно большим деталям, что значительно увеличивает габариты машин. Однако для мелких зубчатых колес (с модулем до 3,5 мм

и числом зубьев до 50) представляется возможность их обработки на роторных машинах.

Рассмотрим возможность использования роторной машины для операции отделочной обработки зубьев.

Анализируя известные способы отделочной обработки зубчатых колес, наиболее прогрессивным является зубохонингование, поскольку этот способ обеспечивает высокие параметры качества поверхности зубчатого колеса и способствует повышению класса точности на 1-2 класса. Поэтому этот способ принят за основу разрабатываемого способа обработки.

Из известных способов хонингования зубчатых колес (одностороннее и двухстороннее) выбираем способ двухстороннего хонингования зубчатых колес, поскольку этот способ позволяет снимать большие припуски и не требует реверсивного движения зубчатого колеса и инструмента. Этот способ осуществляется при радиальном нагружении зубчатого колеса и инструмента (хона) при котором они находятся в беззазорном (плотном) зацеплении друг с другом. Снятие припуска осуществляется за счет взаимного скольжения эвольвентных зубчатых профилей инструмента и заготовки.[1] Взаимное скольжение профилей достигается за счет расположения осей заготовки и инструмента под скрещивающим углом друг к другу.

В конструкциях зубохонинговальных станках для обработки зубчатого колеса используется индивидуальный хон. Ввиду экономии габаритов и рабочего пространства технологического ротора, а также для значительного упрощения конструкции технологического ротора, предлагаемая конструкция имеет один общий зубчатый хон для всех обрабатываемых зубчатых колес, тем самым зубчатый хон представляет собой солнечное колесо, а обрабатываемые зубчатые колеса – сателлиты. Кинематическая схема процесса зубохонингования предлагаемым способом представлена на рис. 1.

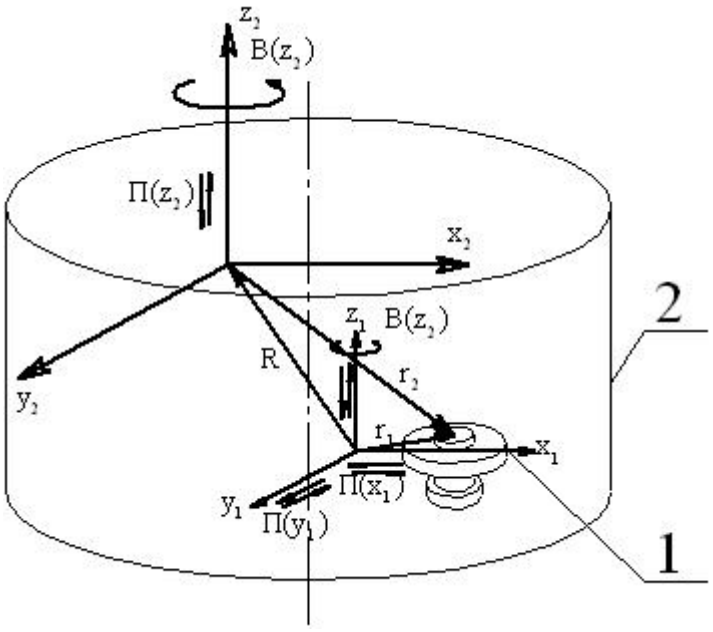


Рис. 1. Кинематическая схема процесса обработки зубчатого колеса предлагаемым способом

В данной схеме указаны все движения совершаемые заготовкой 1 и инструментом (зубчатым хоном) 2 при выполнении технологической операции хонингование. Из схемы видно, что зубчатый хон совершает вращательное движение, сообщая заготовке движение обкатки, а заготовка, помимо вращения вместе с хоном, совершает возвратно-поступательное движение вдоль своей оси, тем самым обеспечивая дополнительное скольжение зубчатых профилей хона и заготовки зубчатого колеса. Данное движение, наряду со скольжением за счет скрещивания осей хона и заготовки зубчатого колеса, позволяет повысить эффективность процесса зубохонингования за счет снятия большего припуска с зубчатых профилей. Перемещение зубчатого хона вдоль его оси служит для компенсации износа зубчатой поверхности хона, участвующей в процессе обработки. Периодическая смена этой поверхности, позволяет значительно увеличить срок службы всего зубчатого хона. Перемещение в радиальном направлении по отношению к хону, необходимо для подвода зубчатого колеса, вхождения в зацепление с зубчатым хоном и прижатия к поверхности хона, позволяет создать беззазорное зацепление хона и заготовки зубчатого колеса.

Для реализации представленного способа был разработан роторный автомат, который представлен на рис. 2.

Разработанный роторный автомат является частью роторной линии и связан с транспортными роторами посредством зубчатой передачи. Это обеспечивает жесткую кинематическую связь транспортных и технологических роторов.

Конструктивно роторный автомат представляет собой машину, корпусом которой 1 является сварной барабан, имеющий отсеки для рабочих позиций. Рабочие позиции 4 представляют собой, прикрепленные на осях к корпусу, устройства, включающие устройства для закрепления заготовок в них, и позволяющие заготовкам свободно вращаться вокруг своих осей. Вращение заготовок осуществляется после входа их в зацепление с зубчатым хоном и производится одновременно с возвратно-поступательным перемещением вдоль оси заготовки. Прямолинейные перемещения заготовок осуществляются за счет поворота связанных с ними поворотных рычагов. Оси рычагов опираются на корпус, а требуемый поворот достигается за счет изгибов копиров, установленных в копирном блоке (верхних копир обеспечивает подвод заготовок к поверхности хона, нижний – сообщает возвратно-поступательное движение рабочей позиции с заготовкой).

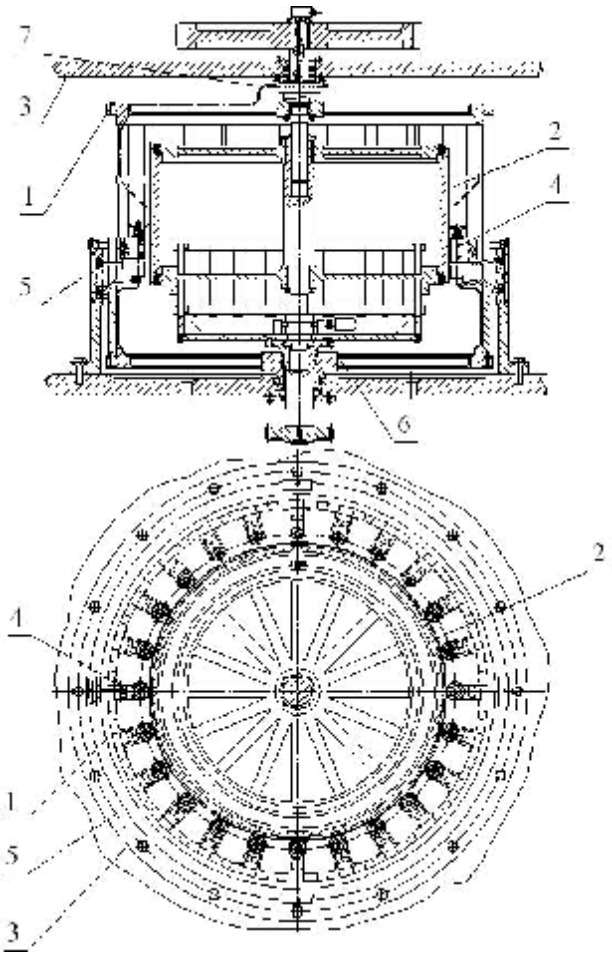


Рис. 4 Конструкция роторного автомата для хонингования зубчатых колес

Зубчатый хон 2 представляет собой сложную сборную конструкцию, состоящей из подвижной верхней части (прямолинейное движение вдоль оси вращения) и неподвижной части (совершающей только вращательное движение). В нижней части установлен привод механизма подъема 6 верхней (рабочей) части зубчатого хона.

Поскольку процесс зубохонингования осуществляется при подаче в зону резания СОЖ, в конструкции предусмотрена система подачи СОТС 7. Она представляет собой гидроподводящую муфту, из которой по отверстию вала подводится СОЖ, после чего по каналам распределяется по зонам обработки.

Предлагаемый способ обработки позволяет увеличить производительность и качество производимых зубчатых колес за счет применения машин роторного типа и введения дополнительной отделочной обработки зубьев.

Список литературы: 1. Гулида Э. Н. Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических зубчатых колес. – Львов: Вища школа, 1977. – 168с. **2.** Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. - Донецк: ДонНТУ, 2003. - 379 с.

МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Лебедев В.Я. , Миронов А.М. , Сергеев Л.Е.
(ГНУ «ФТИ НАН Беларуси,ГАТУ Минск, Беларусь)

The work describes the results obtained when investigating the process of magnetic-abrasive processing of involute-shape gears as well as processing methods and diagrams It also presents the optimum conditions that ensure the value of working surface roughness, R_a, equal to 0.6 to 1 μm.

Зубчатые передачи являются широко распространенным элементом современных машин и во многих случаях определяют их технические показатели и надежность. По масштабам производства и трудоемкости изготовления в станкостроении, автотракторном, сельскохозяйственном и общем машиностроении они занимают значительные объемы. Поэтому вопросы совершенствования изготовления, разработки новых высокопроизводительных технологий, повышающих надежность и долговечность зубчатых передач, постоянно находятся в сфере внимания машиностроителей и имеет большое народнохозяйственное значение. Важную роль в технологии изготовления зубчатого колеса играет финишная обработка, т.к. именно она определяет качество рабочих поверхностей и работоспособность зацепления. Например, по данным [1], уменьшение микронеровностей поверхности на профиле зубьев с 12 до 2 мкм соответствует увеличению контактной прочности незакаленных цилиндрических колес до 4 раз. Задачу повышения качества и эксплуатационных характеристик можно решать также путем создания новых методов финишной обработки, основанных на комбинированном характере взаимодействия инструмента с поверхностью детали. К числу таких методов относится процесс магнитно-абразивной обработки (МАО). Этот процесс обеспечивает получение шероховатости обработанной поверхности по параметру R_a до 0,2 мкм и ниже. Температурная напряженность процесса МАО значительно ниже в сравнении со шлифованием, что также способствует образованию высококачественной структуры поверхностного слоя с высокой несущей и износостойкой способностью.

Известные способы чистовой обработки зубьев (шевингование и калибрование для незакаленных зубчатых колес, хонингование, шлифование, обкатка и притирка для закаленных) широко применяются в производстве. Вместе с тем эти способы отличаются сложностью оборудования и большой номенклатурой обрабатывающего инструмента. Метод МАО отличает простота реализации, высокая степень механизации, возможность пакетной обработки, доступность и низкая стоимость магнитно-абразивного порошка, отсутствие необходимости периодической заточки и фасонной правки абразивного инструмента и т.д.

На первоначальном этапе исследований для реализации процесса использовалась схема МАО наружных цилиндрических поверхностей [2]. Обрабатываемая деталь помещается с зазором между полюсными наконечниками, на которые установлены электромагнитные катушки. Зазор заполняется ферромагнитным абразивным порошком (ФАП), который под действием энергии магнитного поля, наводимого катушками, удерживается в зазоре и прижимается к поверхности детали. Вращательное и возвратно-поступательное движение заготовки обеспечивает ей перемещение относительно порошка и таким образом происходит абразивная обработка ее поверхности. Данная схема характеризуется высокой производительностью и качеством. Однако при таком способе обработки зубчатых колес эквидистантными наконечниками поле не «заглубляется» во впадину, т.к. магнитный поток стремится осуществить свое прохождение по энергетически выгодному участку магнитной цепи, концентрируясь на кромках зубьев (рис. 1).

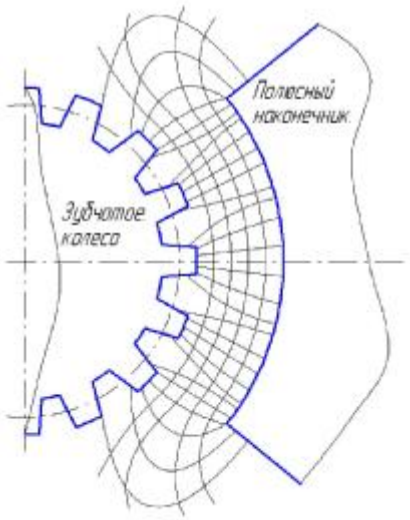


Рис. 1. Картина магнитного поля в рабочем зазоре при МАО зубчатого колеса по традиционной схеме с эквидистантными наконечниками

На установке СФТ 2.150 проведены исследования по оценке технологических возможностей метода МАО при обработке зубчатых колес с модулями от 1,5 до 3,5 мм. Мелкомодульные (m = 1,5 мм) колеса обрабатывались МАО после накатывания, химико-термической обработки (нитроцементации) и шлифования. После шлифования на кромках образуется значительный заусенец. МАО обеспечивает съем заусенцев и округление продольной кромки зуба, величина которого соответствует ГОСТ 16530-83. Кроме того, обрабатываются рабочие поверхности зубьев во впадине на глубину 1 – 2 мм в зависимости от величины магнитного поля. Зубчатые венцы с модулем 3,5 мм обрабатывались МАО после зубохонингования и цементации. Схема обработки показана на рис.2. МАО обеспечивает притупление продольной кромки зуба, глубина обработки поверхности во впадине зуба также составляла 1 – 2 мм, что для данного размера колеса не достаточно.

Рис. 2. МАО с эквидистантными полюсными наконечниками зубчатого венца колеса с m = 3,5 мм

В качестве рабочей среды применялся ферро-абразивный порошок ФАП Fe-TiC 40%. Режимы обработки: магнитная индукция В = 0,8-1,2 Тл, частота вращения детали n = 12,5 мин$^{-1}$, амплитуда осцилляции А =3-5 мм, скорость осцилляции $V_{осц}$ = 0,4 м/с, рабочий зазор (эквидистантный) δ = 1 мм. Зубчатые колеса с m =3,5 мм изготовлены из стали 25ХГТ твердостью 62 HRC после цементации, а с m = 2,5 мм из стали 40Х твердостью 64 HRC после нитроцементации.

При наблюдении за процессом было установлено, что детали с прерывистой поверхностью в процессе обработки, в отличие от гладких покрываются густой щеткой из ФАП. Объясняется это тем, что кромки прерывистой поверхности являются концентраторами магнитного поля. Они наиболее подвержены намагничиванию «аккумулированным магнитным полем» [4]. Это явление и было использовано при разработке процесса МАО зубчатых колес с модулем выше 1,5 мм. Обволакивание зуба и его впадины ФАП стало возможно при создании полюсного наконечника со специальной геометрической формой, позволяющей концентрировать ФАП во впадину. Наконечник образует с обрабатываемым зубчатым колесом две последовательные зоны различных форм: первую клинообразную для наполнения ФАП впадин и вторую с эквидистантным зазором для обработки профиля зуба. Данное положение было реализовано при обработке зубчатых колес с модулями от 2 до 3,5 мм на установке СФТ 2.150 [5]. Зона обработки наконечником сложной формы показана на рис. 3. Условно процесс МАО зубчатого колеса можно разбить на 3 зоны: 1 – зона покрытия зуба порошком; 2 – зона наполнения впадины; 3 – зона обработки впадины. Чем больше зона обработки впадины, тем интенсивнее МАО детали. Следовательно, форма наконечника должна быть такой, чтобы охват детали зоной обработки был максимально возможный.

Рис. 3. Наполнение впадин зубчатого

Рис. 4 Схема работы уплотненной абра-

колеса ФАП в процессе МАО с наконечником специальной формы

зивной массы во впадине

Уплотненный механическим способом и связанный магнитным полем ФАП, контактирующий во впадине с обрабатываемой поверхностью, можно сравнить с мелкозернистым профильным абразивным бруском (хоном), производящим резание металла выступающими вершинами (рис. 4). Такой инструмент работает по принципу самозатачивания ввиду перемешивания массы порошка при вращении и продольном перемещении. Асцилляция магнитной системы вдоль оси обрабатываемого колеса резко повышает производительность обработки. При такой работе абразивной массы происходит снятие вершин микронеровностей от предварительной обработки, что за 1,5-2 минуты обработки ведет к снижению шероховатости в 2 и более раз. Однако при традициооной схеме МАО отмечается неравномерная шероховатость рабочей поверхности зуба по глубине впадины. Ее значение увеличивается по глубине впадины от вершины к ножке зуба (рис. 5).

Объясняется это тем, что уплотненная среда ФАП позволяет проникать магнитному полю во впадину (рис. 6), связывает зерна порошка вдоль силовых линий, тем самым, уплотняя образовавшийся реологический инструмент, копирующий поверхность зубчатого колеса. По мере заглубления во впадину сила поля уменьшается (рис. 7), соответственно уменьшается и уплотнение ФАП, что ведет к затуханию процесса микрорезания.

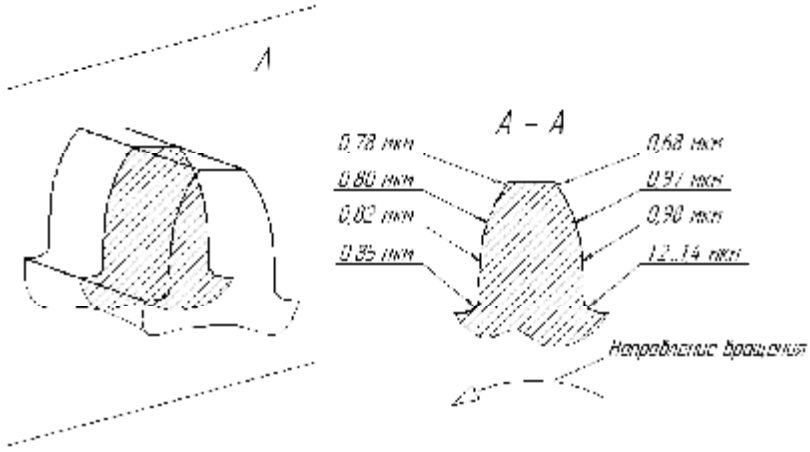


Рис. 5 Шероховатость рабочих поверхностей зуба (m = 2,5 мм) после МАО

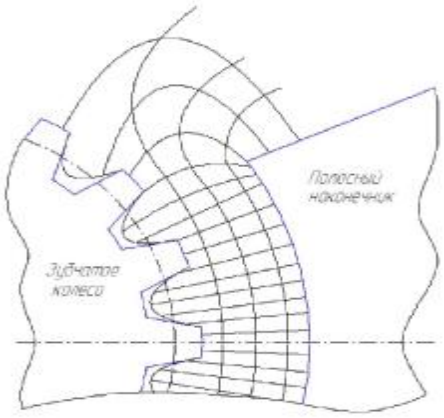


Рис. 6. Распределение силовых линий поля в среде уплотненного ФАП

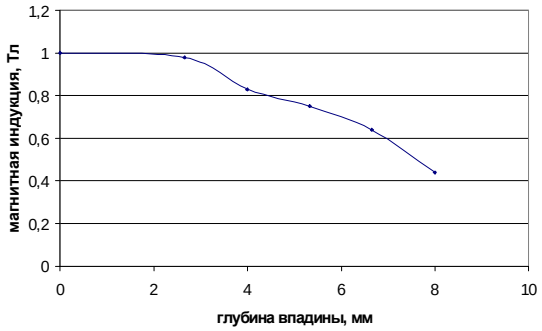


Рис. 7. Изменение магнитного поля по глубине впадины зуба

Неравномерность шероховатости рабочей поверхности зубьев достигает 20-30 % со стороны вращения и противоположной ей (рис. 8). Обусловлено это тем, что вращение зубчатого колеса в процессе обработки способствует более сильному прижатию ФАП к одной стороне зуба. Для устранения этого недостатка применена схема реверсивного вращения заготовки за цикл обработки детали. При этом наконечники должны иметь по две клинообразующих зоны (рис. 9). Лучший результат по равномерности шероховатости обработанных поверхностей обеспечивается при соотношении времени обработки по направлениям вращения 2:3.

Учитывая, что в процессе МАО зубчатого колеса съем металла происходит не только с рабочих поверхностей зубьев, но и по наружному диаметру колеса, вызывает интерес соотношение съема металла с этих поверхностей. Оценку проводили при обработке зубчатых колес с модулем 2,5 мм. Максимальное время обработки составляло 8 мин. С интервалом 2 мин. проводили взвешивание детали, а также измерение наружного диаметра детали на вертикальном оптиметре, базируя колесо в призме. Таким образом, время обработки составляло 2, 4, 6 и 8 мин., причем в одной серии опытов после первых 2, 4 или 6 мин. обработка продолжалась, а в другой нет. На основании полученных данных построена зависимость массы детали и ее наружного диаметра от времени обработки (рис. 10).

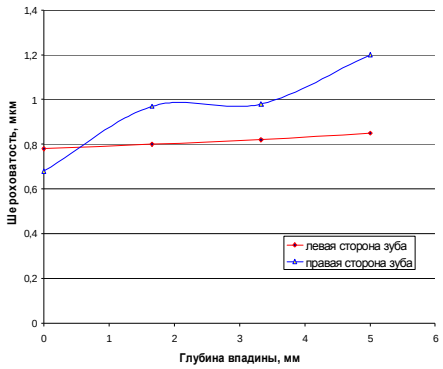


Рис. 8 Изменение шероховатости по эвольвенте после МАО

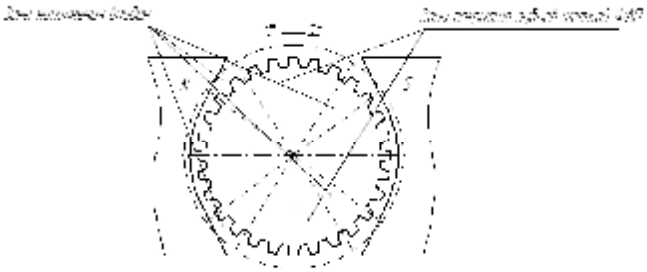


Рис. 9 Форма наконечников для реверсивной схемы МАО

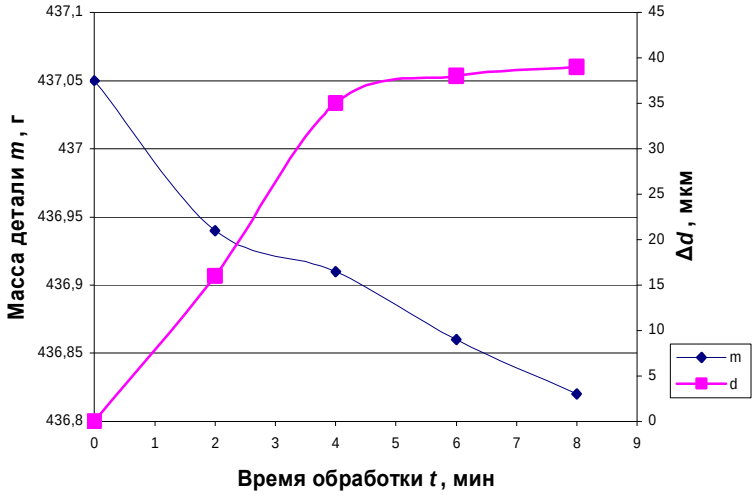


Рис. 10. Изменение массы и наружного диаметра зубчатого колеса от времени МАО

Из полученных данных следует, что основной съем с рабочих поверхностей зубьев происходит в течение первых 2 минут, что объясняется интенсивностью съема материала с вершин микронеровностей. В дальнейшем съем с рабочих поверхностей зубьев заметно уменьшается. По наружному диаметру происходит равномерный съем в течение первых 3-4 мин., а затем также уменьшается, что объясняется, в том числе, и увеличением рабочего зазора. Расчетным путем установлено, что съем с рабочих поверхностей зубьев составляет 20 – 25 % от общей массы удаляемого металла. Следует отметить, что вследствие удаления металла с поверхности детали по наружному диаметру наблюдается интенсивное скругление продольной кромки зуба (рис. 11). Это положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках детали, устраняется дополнительная операция скругления зубьев. Геометрия продольной кромки зуба после МАО соответствует ГОСТ 16531-83.

Таким образом, разработанная технология обеспечивает высокопроизводительную финишную обработку профиля зубчатых колес. Например, на колесе с модулем 3,5 мм из нитроцементованной стали 40Х в течение 1,5-2 минут обеспечивается получение параметра шероховатости R_a 0,6-0,8 мкм на рабочей части профиля зуба с исходного значения 2,6-3,2 мкм. Дальнейшая работа направлена на оценку влияния МАО на работоспособность (износостойкость) зубчатых колес и шумность работы в зацеплении.

Список литературы: **1**. Калашников С.Н., Калашников А.С. Прогрессивные методы зубообработки цилиндрических зубчатых колес. Учеб. пособие для слушателей заочных курсов повышения квалификации ИТР по прогрессивной технологии и автоматизации управления процессами мехобработки. – М.: Машиностроение, 1982. – 44 с. **2**. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с. **3**. Магнитно-абразивная обработка мелкомодульных зубчатых колес / П.И. Ящерицын, А.П. Ракомсин, М.И. Сидоренко и др. // Инструментальный світ. – 2003. – №2 (18). – С. 11-12. **4**. Альпер Н. Я. Расчет магнитных полей в зазоре индукторной машины с постоянным потоком // Вестник электропромышленности. - 1962. -№ 3. - С. 10-13. **5**. Повышение эффективности магнитно-абразивной обработки зубчатых колес / Сергеев Л.Е., Лебедев В.Я., Миронов А.М. // Современные технологии металлооб-

работки: Материалы междунар. научно-технич. конф., Минск, 14-17 июня 2005. / Физико-технический институт НАН Беларуси. - Мн., 2005. - С. 318-321.

ФЕНОМЕН, ПОНЯТИЕ И ПРОБЛЕМАТИКА «МЕТОДА ОБУЧЕНИЯ»

Левченко Г.Г., Каплюхин А.А., Смирнов А.И. **(ДонНТУ, Донецк, Украина)**

The article deals with the theoretical basis of the method phenomenon and notion. Given the method peculiarities from the phylosophical viewpoint. Defined the comments on the method and theory correlations. Described the method classification principles.

«Ничто не раскрывает в такой мере путь
ученику, ничто ему так не помогает
продвигаться вперёд, как хороший метод»
Джон Локк

Введение

Исследования и анализ постоянно меняющегося процесса обучения подводит вольно или невольно каждого преподавателя к волнующему его вопросу методической организации занятия. Каким бы ни был процесс обучения не происходит самопроизвольно. С одной стороны он организуется преподавателем на основе его взглядов на закономерности этого процесса, а с другой – с учётом наполнения его быстроменяющимся технико-технологическим содержанием. Поэтому занятия нуждаются всякий раз в иной дидактической «инсценировке». И всё же самым важным средством непосредственного осуществления обучения является *м е т о д.*

Начиная из далёкого прошлого и заканчивая современностью, методам обучения посвящены множества оценок и исследований как в теории, так и в практике учебного процесса. Так, Я.А. Коменский уподоблял метод «сложной машине, до известной степени являющемся внешним орудием учителя и независимо от него действующим машинообразно с механической точностью». И.Ф. Гербарт и И.Г. Песталоцци считали метод «психологическим орудием» и обоснование его, по их мнению, должны лежать в области психологических данных.

А. Дистервег видел в методе «способ разносторонней деятельности учащегося. По его мнению он безразделен с учащимися и весь заключён в свойствах учителя». В своём «Рассуждении о методе» Р. Декарт определил метод как «путь, который шаг за шагом ведёт ученика от незнания к знанию».

Отечественные педагоги понятие «метод обучения также трактовали поразному. Одни понимали его как «способ передачи другим знаний» Д.И. Тихомиров, или относили к нему «вообще все способы, приёмы и действия учителя» – К.В.Ельницкий. Другие рассматривали метода обучения как «совокупность координированных приёмов преподавания» – С.А. Ананьев.

В педагогической энциклопедии методы обучения трактуются как – «способы работы учителя и учащихся, при помощи которых достигается овладение знаниями, умениями и навыками, формируется мировоззрение учащихся, развиваются их способности» (1).

Под влиянием доминирующей роли педагога в образовательном процессе во многих дидактических руководствах метод определяется как «искусство учителя» направлять мысли учеников в нужное русло и организовывать работу по намеченному плану. Такое определение выдвигает на передний план его субъективное содержание,

обусловленное личностью педагога. Однако видеть в методе только искусство, реализуемое мастерством педагога – это значит отрицать в нём объективное, обусловленное незыблемыми положениями, которые обязательно присутствуют в каждом методе, независимо от того использует ли его мастер импровизации или строгие логики. Вопрос о субъективности и объективности метода до сих пор не имеет окончательного решения. Разброс мнений по этому поводу довольно широк: от признания метода чисто объективным образованием (Я.А. Коменский) до полного отрицания объективных начал и признания метода личным, а поэтому неповторимым произведением педагога (Гербарт, Песталоцци). Поэтому проблема метода обучения как в теории, так и в педагогической практике постоянно и закономерно вызывает живой интерес, а порой и острые дискуссии. Изложенное выше побудило и нас к более глубокому в теоретическом плане рассмотрению понятия «метод» как феномена.

Общее о методе

Фундаментальное рассмотрение феномена, понятия и проблематики «метода обучения» предполагает ясного философского определения понятия «метод». Поэтому, прежде чем поставить вопрос о сущности метода, мы постараемся в ходе экскурса в проблему задаться вопросом, что есть метод в общем значении.

В философской трактовке понятие «метод» - это система правил, определяющая класс возможных операционных систем, которые ведут от некоторых исходных условий к определённой цели (2). Отсюда, существенным признаком метода является его *целенаправленность*. Для человека методы – это средства, с помощью которых он может осуществить поставленные им цели. В этом случае категория «метод» обладает функцией *средства* и обладает *финальным характером*.

Метод вначале означает *рефлексию* пути, на который вступают для достижения цели. Цели же, которые ставит перед собой человек, достигаются посредством *систематических действий* или *операций*. Их выполнение всегда предполагает *последовательность* и *очерёдность*.

Согласно Г.Клаусу и М.Буру поставленная цель обычно достигается *не одной операцией*, а через *последовательность более сложной системы операций* (2). Эта констатация имеет важное значение, так как она указывает на два дальнейших признака метода, а именно: на момент *системности* и *деятельностную структуру*.

Наличие метода позволяет установить план, который определяет систему подлежащих выполнению операций. В логическом смысле метод противопоставляется спонтанному инстинктному мышлению. В качестве такового он характерен для научного мышления (3). В понятии «метод», таким образом заложена логически направленная последовательность действий и операций, планомерный и систематический процесс для достижения определённой цели. С такой точки зрения понятие «метод» является синонимом *планомерности* и *последовательности*. Метод как систематическая последовательность действий указывает на структуру *методического*.

Метод означает расчленённый и ступенчатый процесс. Следовательно, метод является логически структурированной, пошаговой, операционной последовательностью поступков для достижения определённой цели. Действенная структура метода как методического образа действия *детерминирована*:

- целью действия;
- логикой вещей решаемой задачи;
- условиями, в которых происходит действие.

Эти детерминанты метода приводят к выводу, что метод, который мы признали в качестве средства для достижения цели, связан с предметностью. Предметная связь

или предметносвязанность метода выражается в общем формулой «Содержание определяет метод». Следовательно, в основе метода лежит определённое «содержание». Это может быть *предмет, процесс, теория, явление и т.п.* Каждая наука, например, развивает специальный научный метод, свою специфическую *методику* исследования и *методику* изложения. И тем не менее все методы наук, искусства, техники, обучения и т.п. обладают общими элементами, способами или принципами, которые зиждутся на *общих закономерностях природы, общества и мышления*.

Этимология значения «метода» указывает на связь содержания и метода. «Метод» (греч. methodos = путь к) означает “следовать” за вещью, предметом, проблемой, идти вслед за логикой, за вещественной структурой и, таким образом, настигая “сзади”, соприкасаться с вещами и их связью. По Гегелю метод – это “сознание о форме внутреннего самодвижения её содержания. Он есть не внешняя форма, а душа и понятие содержания. Метод должен быть признан не терпящим ограничения, всеобщим, внутренним и внешним способом и безоговорочно бесконечной силой, которой никакой объект, поскольку он выступает как нечто внешнее, далеко от разума и независимое от него, не может оказывать сопротивление, не может иметь другой природы по отношению к ней и не быть проникнут ею. Метод есть поэтому душа и субстанция, и о любом предмете мы должны сказать, что мы его постигаем в понятии и знаем его в его истине только постольку, поскольку он полностью подчинён методу. Он есть собственный метод всякой вещи, так как его деятельность есть понятие. Метод есть само это знание, для которого понятие имеет бытие не только как предмет, но и как его собственное, субъективное действование, *как орудие и средство познающей* деятельности, отличное от неё, но и как её собственная сущность” (4).

В этом понимании метода лежит:

а) момент самодвижения объективной реальности;

б) “субъективность” метода. “Владеть методом” означает, располагать знанием о внутренних связях вещи. Следовательно, действовать методически, если уже имеется представление о внутренней структуре (связях) предмета, явления, проблемы и т.д.

в) и, наконец, существенная мысль увидеть в методе (внутреннюю) форму определённого содержания, осознавать, что он «есть имманентный принцип и душа предмета (4.303)

Метод и теория

С философской точки зрения следует различать между методом как рефлексией о прокладываемом пути к цели, и применением метода (в науке, производстве, искусстве, преподавании), то есть между методом и методическим действием. В этом смысле метод является «образцом» действия. Он относится к идеальному гандикапу действия. Метод реализуется собственно в действии. Выражение, приведённое ранее, связанное с предметностью метода «Содержание определяет метод» страдает известной неопределённостью, которая объясняется и уточняется тремя доводами.

1. *Высказыванию «Содержание определяет метод» должно предшествовать утверждение о том, что метод целенаправлен. Само выражение «Содержание определяет метод» свидетельствует о том, что путь к цели адекватен овеществлённости. Он должен быть специфично определённым с обязательным вступлением на этот путь.*
2. *Высказывание «Содержание определяет метод» не должно интерпретировать так, что достижение цели (например, решение задач) в каждом случае нуждается в каком-то одном особом методе. В вводном определении метода речь идёт о классе возможных операционных систем, поскольку метод, во-первых, позволяет*

установить множество подобных планов, и, во-вторых, эти планы в одинаковых ситуациях могут применяться повторно. Этим самым признак общности находится в связи с методом.

3. *Высказывание «Содержание определяет метод» имплицирует связь как соотношение теории и метода. Метод всегда покоится на теории. И он же всегда является методом теорий.*

Предпосылкой адекватности метода, то есть тому, что определённые им системы операций всегда ведут от соответствующих ситуаций к желаемым результатам, является существование объективной закономерной связи между обстоятельствами и их знанием, которое выступает в виде теории.

Итак, что же мы видим? Тезис «Содержание определяет метод» может быть понят из основополагающего соотношения теории и метода. Для наших дальнейших рефлексий самоанализа дидактического понятия метод (т.е. методов обучения) это имеет существенное значение, потому что этим самым мы понимаем метод как некое в закономерной связи постоянство, как явление, которое исходит из закономерной связи вещи и ведёт к закономерному состоянию связи. В дальнейшем именно из контурного соотношения теории и метода выходит, что теория – первична, а метод – вторичен. Однако метод автоматически не вытекает из теории, но определяется именно теорией. С другой же стороны возникает необходимость в построении теории уже относительно разработанного метода. Таким образом метод зависит от теории. И всё же он обладает относительной, свойственной ему устойчивостью, которая взаимосвязана с сущностью общественного процесса познания.

Различие между методом и теорией становится очевидным, если мы поставим вопрос о специфике их функций. В то время как теория в понятиях, суждениях, гипотезах, аксиомах и т.д. обладает исходным характером (её функция заключается в том, чтобы адекватно отражать действительность). Методы и правила обладают императивным характером и их первичная функция – управлять целенаправленными действиями человека. Метод носит нормативный характер и должен выражаться повелительными предложениями. Теорию метода также следовало бы реализовывать на занятии в повелительных предложениях.

Метод, план и классификация

Как мы уже указывали ранее, метод обладает возможностью установки плана, более того, применение самого метода предполагает план. Этот план должен выполнять следующие структурные условия:

1. *Правила, которые должны быть применены в самом начале, должны соответствовать заданной исходной ситуации.*
2. *Подлежащие применению вначале правила, должны вести к поставленной общей цели.*
3. *Появляющиеся по надобности правила должны вести к созданию необходимых предпосылок для правил идущих за ними. Такой план принимает характер алгоритма.*

В условиях широкого поля и многообразия реализации для метода проблемой является его классификация. В качестве принципов классификации выступают:

- *степень всеобщности;*
- *целеполагание;*
- *семиотические воззрения (точки зрения);*

Во главе угла степени всеобщности стоит диалектический метод как всеобщий метод познания и действия. Вслед за ним находятся математические, логические и

кибернетические методы, применение которых естественно подлежит ограничению. Метод сравнения обладает в равной мере высокой степенью всеобщности и несколько меньшей метод наблюдения и эксперимента.

Из целеполагания мы можем грубо различать методы, которые изначально нацелены на изменение.

К составу первой группы принадлежат:

- *методы научного исследования, с целью получения новых знаний*
- *методы систематизации и представления полученных новых знаний*
- *методы художественного познания и представления действительности*
- *методы сообщения знаний из областей науки и искусства в преподавании (в обучении) и других формах сообщения.*

Во второй же группе методов - методы изменения (преобразования) действительности.

Ко второй группе методов – методов, ведущих к преобразованию действительности – относится, например, методы политической борьбы, методы производства, методы идеологической и культурной работы, в определённой степени педагогические методы. Педагогические методы (методы образования и воспитания) входят в парадигму методов как методы ведения и управления процессами развития личности и коллектива, как методы добычи и сообщения знаний, так и методы преобразования (в этом случае лучше) как методы развития личности обучающегося.

С точки зрения семиотики методы применимы:

- *к объектам реальности;*
- *к объектам мышления;*
- *к объектам языка.*

Подводя итого нашему методологическому экскурсу, мы можем сделать следующие выводы о сущности метода:

1. *Метод является средством для достижения цели. Такими целями выступают познание и преобразование действительности.*
2. *Основой метода является теория. В тоже время методы в свою очередь влияют на теорию.*
3. *Метод связан с предметностью, предметноадекватен. В этом смысле содержание определяет метод.*
4. *Метод есть система правил, которые носят характер указаний и императивных предложений.*
5. *Метод структурирован. Он является планомерным следствием действий и операций, которые находятся в системной связи.*
6. *Классификацию методов возможно осуществлять согласно степени общности, согласно характеру целей и семиотическим воззрениям (точка зрения)*

Поскольку в практике обучения имеют место объекты познания (дисциплины) средства, с помощью которых осуществляется процесс овладения дисциплинами и различные виды деятельности преподавателя и учащихся, то педагогика определила эти виды или способы деятельности как методы обучения, создав тем самым в своей научной парадигме направление, именуемое «методика обучения».

Список литературы: 1. *Педагогическая энциклопедия: В 2 т./К: «Наукова думка», 1993. – т.2. – с.412.* ***2.*** *Klaus G., Buhr M. Philosophisches Wörterbuch B.2. – Leipzig, 1969. – S. 717.* ***3.*** *Fogorasi B. Logik – Berlin 1955, S. 398.* ***4.*** *Онтология мировой философии, Гегель. Метод познания. – М.: «Мысли», 1971. – с. 298-299.*

ОЦЕНКА РАЗМЕРНОГО ФАКТОРА МОДИФИЦИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НАНОНАПОЛНИТЕЛЕЙ В ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ

Лиопо В.А., Кравченко В.И., Авдейчик С.В., Клецко В.В., Дудко В.Т.
(УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», 230023, г. Гродно, ул. Ожешко, 22, Беларусь)

It was investigated the influence of nanoparticles forms and sizes to modify action on polymeric composite materials. It was suggested the complex criterion of nanoparticles habit and change for doing effective nanogeomodifyers.

Введение. Нанокомпозиционные материалы на основе полимерных матриц находят все большее применение в современном машиностроении [1, 2]. Служебные характеристики нанокомпозитов зависят не только от содержания низкоразмерного модификатора [2–6], но и от особенностей его зарядового состояния, определяющего активность в процессах адсорбционного взаимодействия [7].

К числу наиболее распространенных низкоразмерных модификаторов полимерных матриц относятся порошки металлов и оксидов [4, 5], керамики [7], слоистых минералов [6, 7], углеродсодержащие продукты детонационного синтеза УДА, УДАГ [2]. Установлены общие закономерности модифицирующего действия наночастиц различного состава и технологии получения, основанные на изменении кинетики адсорбционного взаимодействия полимерных макромолекул с активными центрами поверхностного слоя и формировании упорядоченной структуры граничного слоя под действием электрических полей наполнителя [6].

Анализ исследований в области создания функциональных полимерных нанокомпозитов свидетельствует об отсутствии единой точки зрения на влияние размеров и формы наночастиц на эффективность их модифицирующего действия.

Цель исследований состояла в теоретической оценке влияния размерного фактора наночастиц на их модифицирующее действие в модельных системах.

Результаты и обсуждение. Одномерным нанокомпонентом являются частицы, у которых толщина (ℓ) соответствует критерию наноразмерности, то есть h<L, где $L = 230 \cdot (\theta)^{-1/2}$, θ – Дебаевская температура [8]. Размеры частицы для направлений, перпендикулярных ℓ, (S), могут иметь значения: $S >> L$. Модифицирующее действие чешуйчатых наночастиц описано, например, в работах [9–11].

Основными характеристиками наномодифицирующих чешуйчатых частиц являются:

h – средняя толщина одномерной наночастицы;

S – средняя площадь наночастицы;

H – толщина модифицированного слоя матрицы композита приповерхностного по отношению к частице вещества (рис. 1);

C_V – объемная концентрация модификатора.

Как следует из рисунка 1, объем композита, модифицированный одной частицей, равен:

$$V_{m\cdot 1} = 2H \cdot S. \quad (1)$$

Отсюда степень модифицирования частиц (М), равная отношению суммарного модифицированного объема к общему объему композита, равна

$$M = V_{m\cdot 1} \cdot n, \tag{2}$$

где n – концентрация частиц модификатора.

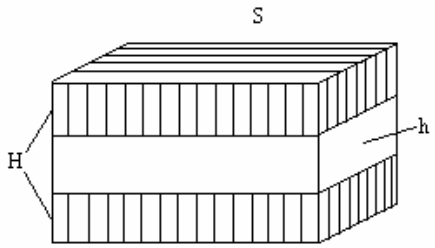


Рис. 1. К механизму модифицирования одномерным нанокристалом: h – толщина наночастицы, H – толщина модифицированного слоя, S – площадь пластинки

Так как:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} V_i}{h \cdot S} = \frac{C_v}{hS}, \tag{3}$$

то максимальная возможная степень модифицирования связующего в нанокомпозите при чешуйчатой форме частиц наполнителя-модификатора равна:

$$M = 2\frac{H}{h}C_v = 2\alpha C_v, \tag{4}$$

где $\alpha = \frac{H}{h}$.

Из условия (4) следует, что при $C_v = 0$ $M = 0$, при $C_v = 1$, $H = 0$, т.е. $M = 0$. Следовательно, величина H определяется не только свойствами наночастицы модификатора, но и величиной C_v. Однако, при малых значениях C_v основную роль будут играть поверхностные свойства частицы. Из выражения (4) следует, что максимальное значение величины α при малых значениях C_v и $M = 1$ равно:

$$\alpha = \frac{1}{2C_v}. \tag{5}$$

Отсюда следует, что для достижения максимального модифицирующего эффекта при использовании одномерных наночастиц и фиксированном C_v необходимо стремиться к уменьшению их толщины. Для слоистых силикатов, в частности, для слюд, h при различных методах измельчения имеет значение $h = 20\,\text{Å} = 2\text{нм}$ (два слюдяных слоя) [12]. Так как значение H для слюд может иметь значения 100 нм, то

$$C_v = \frac{h}{2 \cdot H} = \frac{2}{200} = 1\%.$$

Учитывая, что модифицирование полимерного композита не требует изменения всей матрицы, а в ряде случаев достаточно достичь значения M=0,2÷0,3 [13], то объемная концентрация нанонаполнителя в этом случае равна 0,2÷0,4 об.%.

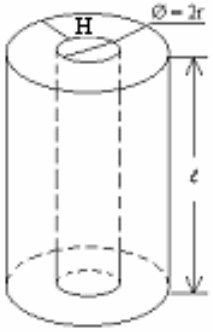


Рис. 2. К механизму модифицирующего действия вискерной частицы

Наряду с чешуйчатым габитусом частиц наномодификатора в качестве наполнителя полимера можно использовать так называемые «вискеры», то есть двухмерные наночастицы, у которых сечение – круг, со средним радиусом (r), а их средняя длина l>>r. Пусть толщина модифицированного вискерной частицей слоя равна H (рис. 2), тогда модифицированный одной частицей объем $(V_{m\cdot1})$ равен:

$$V_{m\cdot1} = \pi\left[(H + r)^2 - r^2\right] \cdot l, \tag{6}$$

то есть степень модифицирования (M) равна:

$$M = \frac{\left[\left(H - r^2\right) - r^2\right]}{r^2} C_v = \frac{H}{r}\left(\frac{H}{r} - 2\right) C_v = \beta \cdot (\beta - 2) \cdot C_v, \tag{7}$$

где $\beta = \frac{H}{r}$

При $C_V = 0$, $M = 0$. Если $C_V = 1$, то $H = 0$ и $M = 0$.

Если наночастица модификатора имеет сферическую форму и ее средний радиус равен r, а средняя толщина модифицированного слоя связующего равна H, то (рис. 3). В этом случае степень модифицирования

$$M = \frac{C_v\left[(H + r)^3 - r^3\right]}{r^3} = C_v\left[(\gamma + 1)^3 - 1\right] = \gamma\left(\gamma^2 + 3\gamma + 3\right) \cdot C_V, \tag{9}$$

где $\beta = \frac{H}{r}$.

Таким образом, степень модифицирования (M) для наночастиц наполнителя различного габитуса рассчитывается по следующим формулам:

- для чешуйчатой частицы:

$$M = 2\alpha C_V,$$

где $\alpha = \frac{H}{h}$ (рис. 1).

- для цилиндрической частицы (вискеры):

$$M = \beta(\beta - 2)C_V,$$

где $\beta = \frac{H}{r}$ (рис. 2).

- для сферических частиц:

$$M = \gamma\left(\gamma^2 + 3\gamma + 3\right)\cdot C_V,$$

где $\gamma = \frac{H}{r}$ (рис. 3).

$$V_{m\cdot 1} = \frac{4}{3}\pi\left[(H + r)^3 - r^3\right]. \quad (8)$$

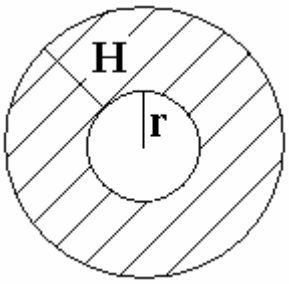


Рис. 3. К механизму модифицирующего влияния сферической частицы: r – радиус частицы, H – толщина модифицированного приповерхностного слоя

Рассмотрим случай наполнения полимерной матрицы, когда значение C_V для частиц различных габитусов одинаково, а $\frac{H}{h} = \frac{H}{r} = 10$. Тогда:

$$M_ч : M_в : M_c = (2\cdot 10) : (10\cdot 8) : (10\cdot 133) = 1 : 4 : 133 \quad (10)$$

Казалось бы, что согласно этим расчетам при выборе модификатора необходимо отдавать предпочтение сферическим частицам. Однако, в соотношениях (10) не учтены изменения полей электрически заряженных частиц с различной формой. Если частица не обладает нескомпенсированным зарядом, то ее модифицирующее действие снижается. Следовательно, электрический заряд – важнейший компонент модифицирования полимерных матриц.

Если объемная плотность заряда равна ρ, а линейный размер пластины-чешуйки (S) существенно превышает ее толщину, то для слоистых частиц, например,

геосиликатов обычно имеет место соотношение. При соотношении $\frac{H}{h}=10$ напряженность поля в периферии чешуйчатой наночастицы является постоянной величиной, равной:

$$E_{ч}=\frac{\rho\cdot h}{2E_0E}. \tag{11}$$

Для вискерной частицы на расстоянии R от оси значение E определяется из выражения:

$$E=\frac{r^2\cdot\rho}{2E_0E\cdot R}. \tag{12}$$

Для сферической частицы, когда R – расстояние точки поля до центра частицы, получим:

$$E=\frac{\rho\cdot r^3}{3E_0E\cdot R^2}. \tag{13}$$

Из сравнения напряженностей поля от заряженных наночастиц с одинаковыми значениями ρ и $h=5\text{нм}$, $R=H=50\text{нм}$ в формулах (11–13) получим:

$$E_{ч}:E_{в}:E_{с}=1:1/10:1/150. \tag{14}$$

Напряженность поля связана с величиной дисперсии углов молекулярных диполей к нормали в точку поверхности частицы, контактирующей с молекулой приповерхностного слоя связующего при прочих равных условиях. Чем выше величина E, тем больше толщина модифицированного слоя. Следовательно, совместный учет полученных отношений (10) и (14) показывает, что модифицирующее действие наночастиц чешуйчатых (ч), вискерных (в) и сферических (с) при прочих равных условиях определяется отношением

$$M_{ч}:M_{в}:M_{с}=1:0{,}4:0{,}8. \tag{15}$$

Таким образом, при малых концентрациях наномодификатора наиболее перспективным оказывается использование чешуйчатых частиц, к которым относится большая группа слоистых силикатов, широко распространенных в природе. Это обусловило широкое применение слоистых геомодификаторов (глин, слюд) при создании функциональных материалов на основе полимерных матриц [3, 6].

Выводы. При разработке функциональных композиционных материалов на основе полимерных матриц необходимо учитывать особенности строения низкоразмерных частиц модификатора в совокупности с их зарядовым состоянием.

Список литературы: 1. Витязь П.А. Перспективные нанофазные материалы на основе ультрадисперсных алмазов //Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. науч.тр. – Новополоцк. – 2001. – С. 4–8. **2.** Новые ресурсосберегающие технологии и композиционные материалы /Ф.Г. Ловшенко, Ф.И. Пантелеенко, А.В. Рогачев и др. – М.: Энергоатомиздат. – Гомель: БелГУТ. – 2004. –519 с. **3.** Чвалун С.Н. Полимерные нанокомпозиты //Природа. – 2001. – № 1. – С. 1–12. **4.** Натансон Э.М., Ульберг З.Р. Коллоидные металлы и металлополимеры. – Киев: Навукова думка. – 1971. – 336 с. **5.** Помогайло А.Д., РозенбергА.С., Уфлянд И.Б. Наночастицы металлов в полимерах. – М.: Химия. – 2000. – 672 с. **6.** Доклад Европейской экономической комиссии по новым материалам. – Женева. – 1999. – 50 с. **7.** Физические аспекты модифицирующего действия природных силикатов в полимерных нанокомпозитах /С.В. Авдейчик, В.А. Лиопо, В.А. Струк и др. //Доклады НАН Беларуси. – 2004. – Т. 48. – № 3. М С. 113–116. **8.** В.А. Лиопо Габитус нанокристаллов / Низкоразмерные системы-2. в.4. – 2005. – С. 175–186. **9.** С.В. Авдейчик, Е.В. Овчинников, В.А. Лиопо, В.А. Струк Особенности модифицирующего действия природных силикатов в полимерных композитах /Горная механика. – 2004. – № 1–2. – С. 35–44. **10.** Е.Ф.Кудина Разработка органосиликатных связующих и гибридных наполнителей для композиционных материалов машиностроительного назначения: Автореф. дис. … канд. техн. наук. – Гомель. – 2000. – 24 с. **11.** В.А. Лиопо, В.А. Струк, С.В. Авдейчик, В.В. Клецко, Е.В. Овчинников. Модельные представления о механизме модифицирования полимеров слоистыми силикатами /ДНАН Б – Т. 49. – № 6. – 2005. – С. 101–105. **12.** М.С. Мецик Механические свойства слюд. – Иркутск: Изд. ИГУ. – 1984. – 286 с. **13.** А.А. Скаскевич Структура и технология малонаполненных машиностроительных материалов на основе конструкционных термопластов, модифицированных углеродными нанокластерами: Автореф. дис. … канд. техн. наук. – Минск. – 2000. – 18 с.

МОДЕЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ТЕРМООБРАБОТКОЙ ГЕОСИЛИКАТОВ

Лиопо В.А., Струк В.А., Авдейчик С.В., Костюкович Г.А., Кравченко В.И.
(*УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», г. Гродно, Беларусь*)

It was investigated the mechanism of high temperature structural transformations in mica crystals. This one correlates with experimental yz-projections of electron density before and after heat treatment.

Введение. Низкоразмерные частицы природных силикатов широко используются в качестве функциональных модификаторов композиционных материалов на основе матриц [1-5]. При введении допинговых добавок наносиликатов наблюдается синергический эффект повышения триботехнических, адгезионных и физико-механических характеристик [6]. Характеристики полимерных нанокомпозитов в значительной мере определяются размером и технологией получения частиц силикатного модификатора. Установлено, что термообработка порошкообразного полуфабриката в заданном интервале обеспечивает формирование наночастиц с высокой активностью [6-8]. При выборе технологических параметров термообработки с целью получения активных низкораз-

мерных частиц необходимо учитывать особенности кристаллохимического строения природных силикатов.

К числу распространенных модификаторов полимерных матриц относятся слюды, типичный неорганический природный полимер. Специфическое строение этого слоистого минерала обусловливает различные механизмы и кинетику протекания физико-химических процессов в диапазоне температур 100-1500 ^{o}C, приводящих к разрушению исходных структур и образованию низкоразмерных частиц [8]. Исследование и описание механизма этих процессов и определило цель данной работы.

Результаты и обсуждение. В работах [9-11] была предложена методика расчета геометрического критерия размеров наночастиц (L). Если размер частицы l удовлетворяет условию $l > L$, то эта частица имеет физические свойства, совпадающие со свойствами аналогичного ей вещества в большом объеме. Если $l < L$, свойства частиц начинают зависеть от ее размера и она может быть названа наночастицей. Наносвойства частиц будут выражены тем сильнее, чем сильнее неравенство $l < L$.

Расчет величины L, при которой происходит изменения механизмов протекания физических процессов в низкоразмерных частицах, основан на тех же принципах, что и расчет температуры Дебая (q_D). Если температура вещества $T > q_D$, то для описания происходящих в нем процессов могут быть использованы методы классической физики. В частности C_v таких веществ становится величиной постоянной и подчиняется закону Дюлонга и Пти. Если $T < q_D$,то $C_V = f(T)$ и монотонно уменьшается с уменьшением температуры. Для объяснения этой зависимости необходимо привлекать квантово – механические представления. Температурная граница (q_D) между зависимостями $C_V = const$ и $C_V = f(T)$ и есть температура Дебая. При $T > q_D$ распределение фононов в веществе подчиняется классической статистике, при $T < q_D$ – квантовой. Частотная граница собственных колебаний фононов, равная

$$w_D = \frac{k}{\mathbf{h}}\theta_D, \tag{1}$$

(где $k, \mathbf{h}$ - постоянные Больцмана и Планка соответственно) называется дебаевской частотой, причем, как следует из [12]

$$w_D = u\left(6\pi^2 n\right)^{1/3}, \tag{2}$$

где u - средняя скорость звука в веществе, n - концентрация атомов.

Из понятия дебаевского импульса (P_D), определяемого условием:

$$\frac{P_D^2}{2m} = E_D = k\theta_D, \tag{3}$$

следует, что если $(P_D)_{i=1,2,3}$ – координатная (линейная) проекция дебаевского импульса, то с определенной степенью приближения можно считать, что

$$P_D^2 = \sum_{i=1}^{3}\left(P_D\right)_i^2. \tag{4}$$

С учетом соотношения неопределенностей

$$P_i L_i = h, \tag{5}$$

и условий (3) и (4) получим:

$$L = \frac{\sqrt{3}h}{\sqrt{2mk}} q_D^{-1/2} = 230 \cdot q_D^{-1/2} [нм], \tag{6}$$

где L и является геометрическим критерием наноразмерности. Расчет величины L с учетом выражений (1-6) можно выполнить и по формуле:

$$L = \sqrt{\frac{\mathbf{h}\left(36p^4\right)^{1/3}}{m}} \cdot n^{-1/6} \cdot u^{-1/2}. \tag{7}$$

После подстановки констант в формулу (7) получим:

$$L = 4{,}18 \cdot 10^{-2} \cdot n^{-1/6} \cdot u^{-1/2}. \tag{8}$$

Если N – число атомов в ячейке кристалла, а V – ее объем в $\overset{0}{A}^3$, то условие (8) примет вид:

$$L = 4{,}18 \left[\frac{V\overset{0}{A}^3}{N}\right]^{1/6} \cdot \frac{1}{\sqrt{u}} [нм]. \tag{9}$$

Средняя скорость звука (u) слюд в зависимости от их состава и дефектности лежит в интервале 2000 м/с – 3500 м/с, причем нижняя граница больше соответствует направлениюраспространения звука перпендикулярному, а верхняя – параллельному плоскости спайности [13-14]. Этим значениям u соответствует интервал значений L, равный: $12 нм < L < 16 нм$.

Обычные представления о процессах, происходящих в кристаллах при нагревании, сводятся к описанию колебаний атомов вокруг положения равновесия в кристаллической решетке. При этом увеличивается энергия колебаний атома, и, когда она становится больше энергии связи, атом начинает мигрировать по пространству кристалла. Перемещение атомов может происходить двояко: либо в виде непосредственного перехода атома в новое положение, либо как сложный переход, когда атом в течение некоторого времени находится вне обычных узлов решетки, то есть движется в «пространстве междуузлий» до тех пор, пока не займет новое устойчивое положение [9]. Следовательно, тепловое движение атомов в кристалле (и в любом твердом теле) слагается из:

- колебаний атомов вокруг из равновесных позиций;
- диссоциации связанных взаимодействием атомов;
- странствования диссоциированных атомов путем элементарных перемещений по междуузлиям;
- ассоциации диссоциированных атомов;

- странствования вакансий.

Прежде чем рассматривать процессы, происходящие в слюдах при их нагревании, рассмотрим структуру этой группы минералов. Наиболее типичными представителями слюд являются мусковиты и флогопиты. Атомная структура слюды-мусковита $\left[K_2(Si_3Al)Al_2O_{10}(OH)_2\right]$ представлена на рис. 1, на котором изображены два последовательных слюдяных блока, спроецированные на координатные плоскости *xz* (рис.1 а) и *yz* (рис. 1 б). Средние значения параметров ячейки приведенного на рис. 1 (а,б) мусковита равны: а=5,18 Å, в=9,02 Å, с=10,02Å. $\alpha = 90{,}00^0$, $\beta = 84{,}88^0$, $\gamma = 90{,}00^0$.

Как видно из рис. 1 а, б, атомы в мусковите расположены слоями и связаны между собой в основном блоке (между слоями калия) валентными связями высокой прочности.

Обычно структуры неорганических кристаллов сложного состава изображают так называемыми полиэдрическими моделями, которые строят исходя из следующих соображений. В минералах и других кристаллах все атомы по сродству к электрону разделяются на два типа: анионы и катионы. Центры анионов соединяются отрезками прямых, что приводит к выделению структурных полиэдров из анионов. В центрах этих полиэдров находятся катионы. Именно такая полиэдрическая модель мусковита изображена на рис. 2. В вершинах тетраэдров находятся атомы кислорода, а в их центрах – атомы Si и Al. Вершинами октаэдров являются атомы О и группы (ОН), а сами они заполнены атомами Al.

Природные слюды – это кристаллы с различными составами, но их структуру можно описать в рамках единого подхода на основании полиэдрической модели.

Кристаллическая структура слюд сформирована из двух плотно упакованных слоев кислорода, часть атомов которого замещается группой ОН (или F). В октаэдрических пустотах этой сетки размещаются атомы двух или трехвалентных металлов (атомы *A* на рис. 3).

Если атом *A* является трехвалентным, то в соответствии с принципом электростатической нейтральности Л. Полинга ими заполняется только 2/3 общего числа октаэдров и такие слюды называются диоктаэдрическими. В триоктаэдрических слюдах в октаэдрической сетке (*OC* на рис. 3) заполнены все октаэдрические пустоты (три из трех). К октаэдрической сетке по обеим ее сторонам примыкают по одному слою кислорода, часть атомов которого отсутствует, то есть в этой сетке возникают «лунки», образованные основаниями кислородных тетраэдров. Внутренняя вершина тетраэдра является одновременно вершиной октаэдра.

В тетраэдрических пустотах внешних сеток слюдяного блока размещаются атомы *Si*, часть из которых замещены атомами *Al* (или частично других элементов – Т). В слюдяном блоке возникает избыточный отрицательный заряд, который компенсируется межслоевым катионом (атомы М на рис. 3).

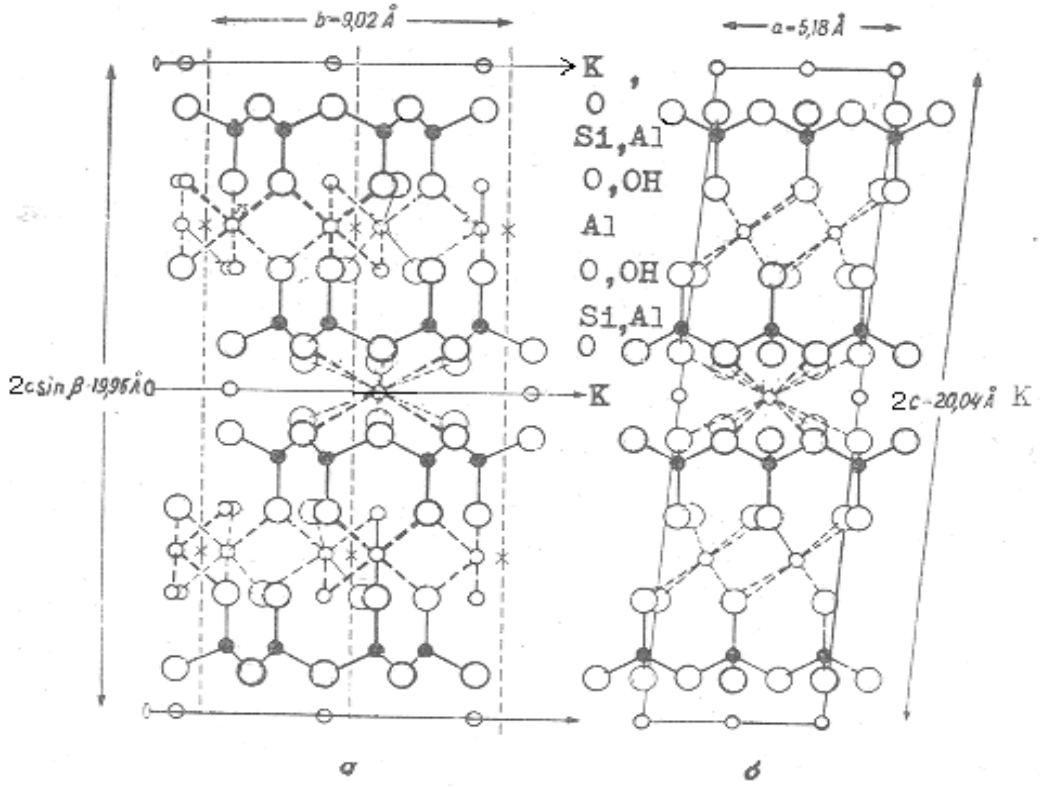


Рис.1. Проекции атомной структуры мусковита на координационные плоскости yz (а) и xz (б)

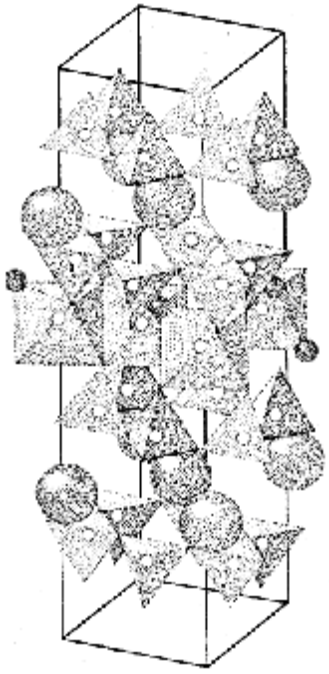


Рис. 2. Полиэдрическая модель структуры мусковита (с выделенной элементарной ячейкой). Крупные шары между присоединяющимися по обеим сторонам к октаэдрическому слою тетраэдрическим слоями – ионы K^+ [12]

Слюды – минералы с большой склонностью к изоморфизму. Их обобщенная кристаллохимическая формула имеет вид:

$$M_x^{+m} A_y^{+a} \left[Si_S, T_{4-S}^{+t} \right] O_{10} \left(OH, F \right)_2,$$

где *M, A, T* – межслоевой, октаэдрический и тетраэдрический катионы (в соответствии с рис. 3). Верхний индекс – валентность, нижний – число атомов, причем: $m \cdot x = 1, a \cdot y = 6$, величина S зависит от t. В качестве M выступают ионы K^+, Na^+, Li^+, Ca^{+2}; в качестве A – $Fe^{+2}, Fe^{+3}, Mg^{+2}, Mn^{+2}, Al^{+3}, Ti^{+4}$; в качестве T - $Al^{+3}, Ti^{+4}, Fe^{+3}$. Возможны вхождения в слюды комбинаций этих и некоторых других атомов, но во всех случаях должен выполняться принцип электростатической нейтральности. Межатомные связи в пределах слюдяного блока носят явно выраженный валентный характер, тогда как сами блоки связаны слабыми ван-дер-ваальсовыми силами, в основе которых лежит взаимодействие межслоевых катионов с гидроксильным диполем внутреннего октаэдрического слоя [12]. Группа OH^{-1} является только вершиной октаэдра и расположена под лункой тетраэдрической сетки, в которой размещается межслоевой катион. Эти структурные особенности слюд объясняют их весьма совершенную спайность и пластинчатый габитус, характерные как для больших кристаллов, так и для нанокристаллов.

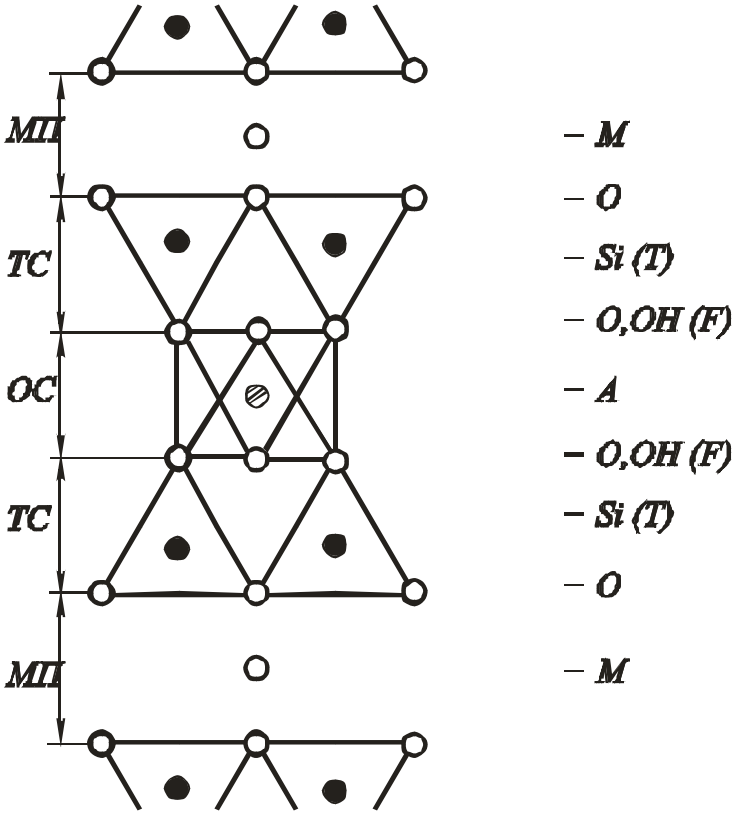


Рис. 3. Схема атомной структуры слюдяного слоя: *O* – атомы кислорода; *Si* – атомы кремния (*T* – тетраэдрический, *A* – октаэдрический, *M*–межслоевые катионы); *OH* – гидроксил; *F* – атом фтора; *ОС* – октаэдрическая сетка; *ТС* – тетраэдрическая сетка; *МП* – межслоевой промежуток

В природе встречаются не только трехслойные силикаты (слюды) с последовательностью слоев в блоке …*ТС-ОС-ТС*…, но и двухслойные с последовательностью …*ТС-ОС*…. Возможны случаи вхождения в межслоевой промежуток слоистого силиката не только межслоевого катиона, но и группы атомов, формирующих свой структурный полиэдр. Все это объясняет наличие достаточно большого числа разновидностей слоистых силикатов. В качестве примера укажем лишь на некоторые слоистые минералы [13], нашедшие применение в различных областях, в т.ч. в материаловедении:

двухслойные минералы:

Тальк – $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$;

Пирофиллит – $Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2$;

Каолинит (диккит, накрит) – $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$.

трехслойные минералы:

Мусковит – $K(Si_3Al)Al_2O_{10}(OH)_2$;

Флогопит – $K(Si_3Al)Mg_3O_{10}(OH)_2$;

Биотит – $K(Si_3Al)(Fe_xMg_{3-x})O_{10}(OH)_2$;

Парагонит – $Na(Si_3Al)Al_2O_{10}(OH)_2$;

Лепидолит – $K\,Si_4(Al\,Li_2)O_{10}(OH)_2$;

Циннвальдит – $K(Si_3Al)(Al, Fe, Li)O_{10}(OH)_2$;

Маргарит – $Ca(Si_2Al_2)Al_2O_{10}(OH)_2$;

Зейбертит – $Ca(Si_{4-x}Al_x)(Mg_{3-y}Al_y)O_{10}(OH)_2$;

Монтмориллонит – $Na_2(Si_{24}Al_8)(Al_2Mg_2)O_{60}(OH)_{12}$.

четырехслойные минералы:

Вермикулиты – $(Mg, Fe, Al)_3(Si_{4-x}Al_x)O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$.

Атомы в кристалле могут находится в различных кристаллоэнергетических позициях, тогда смещения некоторых атомов из равновесных положений могут наступать при различных температурах. Это обстоятельство очень хорошо объясняет возможность выхода гидроксилов из октаэдрического слоя элементарного блока слюд до разрушения кристалла. Выход гидроксилов облегчается еще и тем, что для него есть довольно большой канал, по которому это группа может мигрировать в межслоевой промежуток. Наличие гидроксила в слюдах определяет механизм термического разрушения их кристаллов [10].

Изменения в октаэдрическом слое слюд при определенных температурах (как показывают эксперименты, для мусковита при температурах $T > 800^0 - 850^0 C$, для флогопита при $T > 950^0 - 1000^0 C$) достигают таких величин, что никакие развороты тетраэдров не могут привести к соответствию этих двух слоев [11]. Слюдяной блок разрушается. Качественно механизм термических изменений при высоких температурах можно описать следующим образом.

При нагревании группа OH^-, как и отдельные атомы, начинает увеличивать энергию своих тепловых колебаний. Если у отдельных атомов эти колебания сводятся лишь к увеличению их энергии, то для группы OH^- необходимо учитывать взаимосмещения протона и O^{-2}. Надо также учитывать и тот факт, что в октаэдрах находится не одна, а две группы OH^-, причем октаэдры могут встречаться в двух типах. У одних из этих структурных полиэдров гидроксилы находятся на ребре октаэдра (цис-октаэдры), у других они связаны телесной диагональю (транс-октаэдры) [12].

При повышении температуры вследствие увеличения амплитуды (и частоты) валентных колебаний в группе OH^- существенно возрастает вероятность взаимодействия протона с соседней группой OH^-. При этом, естественно, образуется молекула H_2O, которая, в силу своей электонейтральности, слабо связана с остальными элементами структуры и начинает мигрировать через канал тетраэдрического слоя в сторону

межслоевого промежутка. Координация октаэдрического алюминия становится равной пяти. Это вызывает изменение координат оставшихся в октаэдрическом слое атомов кислорода, причем все эти атомы, кроме заменившего две гидроксильные группы, являются внутренними вершинами тетраэдров внешнего полиэдрического слоя элементарного блока. Для выполнения структурного соответствия между октаэдрической и тетраэдрической сетками тетраэдры должны развернуться вокруг, практически произвольных (не параллельных, и не перпендикулярных плоскости спайности) осей. В кристаллах слюды возникают области с сильными механическими напряжениями. Кристалл растрескивается. В областях растрескивания возникают новые поверхности, что облегчает выход других атомов из кристаллов.

Выход группы OH^- из октаэдрического слоя может быть зафиксирован дифракционными методами. Так как указанные изменения структуры нагляднее проявляются на проекциях $r(xz)$ или $r(yz)$, то нами исследовались рефлексы серии $F(0kl)$, что потребовало специальной обработки образцов с определением ориентации для получения поверхностей с требуемыми индексами граней. Наряду с рентгенодифрактометрическим методом «на отражение» использовали метод «на просвет», а также был выполнен и термоэлектронографический анализ влияния нагревания на структуру слюд [12]. Знаки $F(0kl)$ определены по идеальной модели мусковита. Нормировка осуществлена по рефлексу 00.10. Политипная модификация $(2M_1)$ определялась по классической методике, описанной в работе [13].

Точечная группа слюд $(C\,2/m)$ характеризуется наличием центра симметрии. Поэтому структурные амплитуды – действительные, а не комплексные величины. В некоторых случаях возможны такие размещения атомов, что центральная симметрия несколько нарушается. Тогда в структурной амплитуде, наряду с действительной частью $[\mathrm{Re}(F)]$, появляется и мнимая составляющая $[\mathrm{Im}(F)]$. Однако последняя настолько мала, что отношение $|\mathrm{Im}(F)|/|\mathrm{Re}(F)|$ практически не превышает погрешности эксперимента, которая при определении (F) в нашем случае составляла примерно 3%

В общем случае формула для расчета распределения электронной плотности $[\rho(xyz)]$ для центросимметричных кристаллов имеет вид:

$$\rho(xyz) = \sum_{hkl} F(hkl)\cos 2\pi(hx + ky + lz). \qquad (10)$$

При расчете проекций электронной плотности на координатную плоскость yz $[\delta(yz)]$ необходимо брать рефлексы с индексами $(0kl)$:

$$\delta(yz) = \sum_{kl} F(0kl)\cos 2\pi(ky + lz). \qquad (11)$$

В табл.1 представлены экспериментальные значения структурных амплитуд $F(0kl)$ кристалла мусковита при температуре $20^0 C$ и прогретого при $850^0 C$ в течение 150 часов. Нагревание проводили со скоростью 1^0 *мин*$^{-1}$, так как при более высокой1 скорости нагрева в образце возникают трещины, что делает невозможным качественное выполнение структурных исследований.

Таблица 1. Кристаллографические индексы рефлексов (kl) и структурные амплитуды F(20) и F(850) кристалла мусковита при 20^0C и после прогрева при 850^0C соответственно

k. l	F(20)	F(850)	k. l	F(20)	F(850)	k. l	F(20)	F(850)
02	8,8	9,4	2.24	1,3	0	6.13	1,0	0
04	-12,0	-8,9	40	-6,9	-5,0	6.14	-4,4	-6,7
06	22,7	23,2	41	-9,2	-7,6	6.16	-10,1	-9,1
08	12,1	21,1	42	10,7	16,9	6.17	2,7	0
0.10	-25,8	-25,8	43	9,0	17,2	6.19	-1,3	0
0.12	6,1	14,5	44	13,0	-15,7	6.20	-2,5	0
0.14	12,6	19,0	45	-1,6	-4,3	80	-4,1	0
0.16	17,3	19,2	46	-11,4	-11,3	81	1,5	0
0.18	4,1	0	47	-5,8	0	82	-4,7	0
0.20	11,6	16,3	48	-1,7	0	83	-4,7	0
0.22	13,2	18,4	49	0,8	0	84	-1,8	0
0.24	8,8	0	4.10	-3,5	-7,4	85	26,4	4,7
20	6,2	4,9	4.12	0	-9,4	86	-2,1	0
21	6,0	11,0	4.13	-4,6	--9,2	87	1,2	0
22	9,2	11,4	4.14	3,9	6,8	88	0,9	0
23	16,1	20,8	4.15	1,3	0	8.11	-1,1	0
24	17,5	21,0	4.17	4,0	4,3	8.13	3,0	0
25	-22,7	-21,3	4.18	-3,5	-4,6	8.14	1,2	0
26	-1,7	0	4.19	-0,8	0	8.15	-1,3	0
27	6,0	9,0	4.20	-0,8	0	8.16	0,4	0
28	0,8	4,9	4.21	-2,2	0	8.17	-1,1	0
29	1,3	0	4.22	1,9	0	8.18	-1,0	0
2.11	1,0	5,3	4.23	2,2	2,5	10.0	3,0	5,3
2.12	3,9	0	60	-35,6	-3,0	10.2	-1,8	0
2.13	-9,6	7,4	61	8,8	0	10.3	-0,6	0
2.14	-1,4	-11,3	62	11,0	0	10.4	22,4	0
2.15	5,2	0	63	-2,3	0	10.5	1,2	0
2.16	3,8	5,4	64	-8,3	0	10.6	0,6	0
2.17	0,9	0	65	-2,8	0	10.7	-0,6	0
2.18	3,4	0	66	-7,7	-8,2	10.8	-0,8	0
2.19	0,8	0	67	-1,6	0	10.9	-0,4	0
2.20	2,6	0	68	-13,8	-18,0	10.10	2,0	0
2.21	--3,3	0	69	6,6	7,5	10.11	0,4	4,2
2.22	0,7	0	6.11	1,3	0	10.12	6,2	2,8
2.23	1,9	4,2	6.12	0,9	0			

На рис.4 приведены распределения электронной плотности на yz-проекции, из которых видно, что максимум, соответствующий положению группы OH^-, существенно уменьшает свою интенсивность, а положение остальных максимумов изменяется незначительно по сравнению с исходным кристаллом.

Наряду с образованием молекулы воды по схеме $OH^{-1} + OH^{-1} = O^{-2} + H_2O$ с изменением координации октаэдрического катиона следует учитывать возможность

миграции протона по пространству кристалла. При этом кристалл в целом будет электронейтральным, но отдельные полиэдры будут иметь избыточные (положительные или отрицательные) заряды, что не только способствует разрушению кристалла при повышении температуры, но и приводит к возникновению заряженных участков внутри слюдяного блока. Если эти зарядовые кластеры лежат вблизи поверхностного слоя, то на поверхности возникает электростатическая мозаика участков с зарядами плюс, минус и нейтральным. Координация октаэдрического катиона при этом не обязательна будет заметна. При охлаждении может произойти диссоциация протонов в положении группы OH^-.

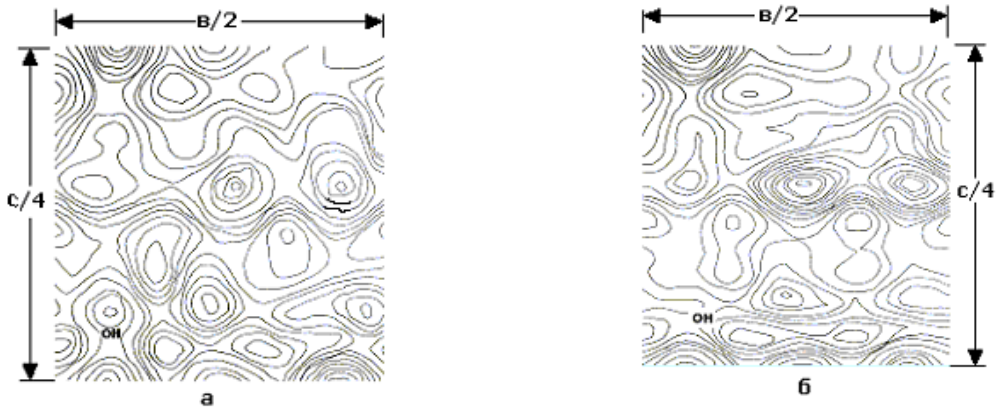


Рис. 4. Распределения электронной плотности на yz-проекциях в кристаллах мусковита при 20^0С (а) и после прогрева при 850^0С (б). *он* – положение гидроксила

При изучении процессов, происходящих в кристаллах слюды при их нагревании, необходимо учитывать, что многие из них могут протекать без затрагивания структуры кристалла. Например, такой сложный процесс как газоотделение при нагревании слюд определяется не только выходом молекул из слюдяных пакетов, но и выделением молекул из различных дефектов в виде включений, расслоений, микролинз и межблочных областей. При этом в первую очередь начинаются процессы, которые в наименьшей степени затрагивают кристаллическую решетку слюды. По мере увеличения температуры образца все большую роль приобретают изменения в структуре кристалла. При этом необходимо отметить, что влияние процесса газоотделения на характеристики кристаллов мусковита и флогопита различно.

При температуре около 500^0C кристаллы мусковита существенно ухудшают свои механические и диэлектрические характеристики, тогда как флогопиты, освобождаясь от адсорбированных и примесных молекул, могут заметно улучшить. Данный эффект проявляется только в условиях квазистатического прогрева.

Кроме построения проекции электронной плотности на плоскость (yz) нами анализировались и другие проекции, в частности на плоскость (xy), в том числе и разностный синтез функций электронной плотности, который для флогопита до и после прогрева при 950^0C приведен на рис. 5. Расчет разностного синтеза $R(xy)$ выполняли по формуле:

$$R(xy) = \sum_{hk} \left[F(hk)_{20} - F(hk)_{950}\right] \cos 2\pi(hx + ky + lz), \qquad (12)$$

где $F(hk)_T$ – структурная амплитуда рефлекса переноса *hk0* при температуре образца, равной 20^0C и после прогрева при 950^0C. Структурные амплитуды нормировали по условию:

$$\sum_{hk} F(hk)_{20} = k \sum_{h'k'} F(h'k'), \qquad (13)$$

где k – коэффициент нормировки, а $F(hk)$ – экспериментальные значения структурных амплитуд.

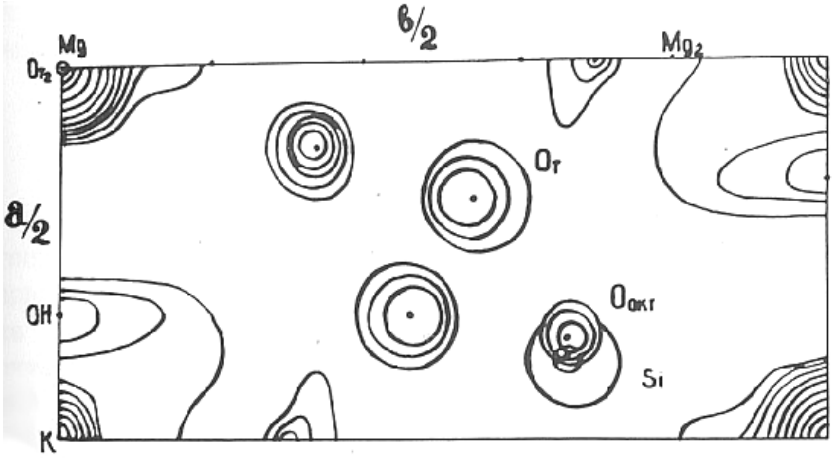


Рис. 5. Разностный синтез для исходного и прогретого при 950 °С кристаллов флогопита

Из карты разностного синтеза исходного (20^0C) и прогретого при 950^0C флогопита видно, что и у флогопита, как у мусковита, действительно происходят изменения в области расположения гидроксила, но при этом наблюдаются изменения и в других точках структуры, что связано со смещением атомов под влиянием структурных изменений, вызванных термической обработкой.

Анализ структурных изменений слюд при нагревании, показал, что после разрушения кристаллов наблюдается следующие фазовые превращения [10]:

$$мусковит \xrightarrow{1000^0-1100^0} каллисилит \xrightarrow{1200^0-1300^0} муллит;$$

$$флогопит \xrightarrow{1100^0-1300^0} энстатит \xrightarrow{1300^0-1500^0} форстерит.$$

В последние годы слюдяные одномерные наночастицы, представляющие собой чешуйки с толщиной около 20 нм и поперечными размерами в несколько десятков микрометров эффективного используются в качестве геомодификаторов функциональных композитов на основе полимеров [1-6, 14]. Для облегчения процесса диспергирования крупных образцов слюд и активизации образующихся частиц в процессах взаимодействия с полимерной макромолекулой их целесообразно подвергать температурной обработке [8]. При этом частицы полуфабриката не следует нагревать до температур, превышающих температуру, при которой происходит выход молекул воды, образованных при конденсации OH^--групп. В противном случае полученные частицы будут обладать значительно меньшими поверхностными зарядами по сравнению с термически необработанными частицами.

Выводы. Таким образом, при нагревании в кристаллах слюд происходят изменения по следующей схеме. На первом этапе $\left(100^0 \div 150^0 C\right)$ начинается выход молекул воды из водных включений в микролинзах и микротрещинах, что особенно характерно для сильно гидрогированных кристаллов. При температурах $\left(250^0 \div 400^0 C\right)$ начинается выход межслоевой воды, которая в большей степени присутствует в триоктаэдрических слюдах. Дальнейшее увеличение температуры до $\left(600^0 \div 700^0 C\right)$ приводит к большему, по сравнению с остальными, увеличение ребра октаэдра $OH^- - OH^-$. При этом происходит разворот октаэдров и гофрировка поверхности слюдяного слоя, образованной верхними и нижними основаниями октаэдров. Изменения в октаэдрическом слое приводят к развороту тетраэдров в слюдяном блоке, что вызывает появление гофрировки непосредственно на поверхности кристалла, что фиксируется методом атомно-силовой микроскопии [15].

При дальнейшем увеличении температуры ребро $OH^- - OH^-$ (или $OH^- - O^{-2}$) изменяется больше, чем остальные ребра октаэдров, что приводит к искажению этого слоя. На следующем этапе тетраэдры разворачиваются для выполнения соответствия с октаэдрическим слоем на больший угол. Далее начинается выделение молекул воды, образованных по схеме $OH^{-1} + OH^{-1} = H_2O + O^{-2}$. Координация октаэдрического катиона меняется, и никакие развороты тетраэдров не могут привести в соответствие тетраэдрические и октаэдрические слои. Кристалл разрушается.

Исследования показали, что несмотря на изменение координации октаэдрического катиона, она ни в одном из кристаллов не уменьшалась до пяти, т.е. кристалл разрушается раньше, чем произойдет полное выделение гидроксильных групп.

Рассмотренный механизм термических изменений свойственен как мусковиту, так и флогопиту, которые отличаются друг от друга не только заполнением октаэдров внутренних слоев (у мусковита – это трехвалентный алюминий, у флогопита – двухвалентный магний), но и геометрией «лунки», образованной основаниями кремнекислородных тетраэдров. У флогопита эта лунка практически гексагональная, у мусковита она имеет выраженную дитригональную форму. Это определяет более высокую вероятность вхождения молекул воды в межслоевой промежуток триоктаэдрических слюд, типичным представителем которых флогопит и является.

Кажущаяся меньшая термостойкость триоктаэдрического флогопита по сравнению с мусковитом объясняется низкотемпературным выходом воды из межслоевого промежутка, что и приводит к растрескиванию кристалла, но не затрагивает структуры элементарного слоя слюды.

Флогопиты при нагревании обладают большей, по сравнению с мусковитами, структурной термостойкостью, то есть разрушения слюдяного слоя флогопита начинаются при более высокой температуре по сравнению с мусковитом.

Рассмотренный механизм термического разрушения слюд, как типичного минерала, имеющего специфический состав и кристаллохимическое строение, позволяет обосновать технологические параметры получения низкоразмерных функциональных модификаторов для полимерных композиционных материалов путем термической обработки природных слоистых минералов типа глин, слюд, трепела и др. [8].

Список литературы: 1. Погосян А.К., Оганесян К.А., Исаджаян А.Р. Композиционные материалы на полимерной основе с использованием минеральных наполните-

лей //Трении и износ – 2002. –Т. 23. - №3. – С. 324-328. **2.** Абдурагимова Л.А., Мискаров А.К, Асланова С.Б., Джафаров З.С. Гидрофобный бентонит – наполнитель резиновых смесей /Каучук и резина. -1981. -№ 1. – С. 37-39. **3.** N. Salahuddin, A. Meet., A. Hiltner, E. Baer. Nanoscale nighlyfilled epoxy nanocomposite //European polymer J. – 2002. – V. 38. – p. 1477. **4.** Доклад Европейской комиссии по новым материалам – Женева, - 1999. – 50 с. **5.** Покидько Б.В. Адсорбционное модифицирование слоистых силикатов для получения полимер-силикатных нанокомпозитов. Дисс. канд. техн. наук. – М.: РГБ. – 2005. – 120 с. **6.** Авдейчик С.В. Функциональные композиционные материалы на основе высоковязких полимерных матриц и наномодификаторов. Дисс. канд. техн. наук. – Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы. – 2004. - 130 с. **7.** Патент RU 2040535 C1, 1995. **8.** Патент RU 2269556 C1, 2006. **9.** Computer modeling of electronic and atomic processes in Solids / (ed. R.C. Tennyson and A.E. Kiv) Wroclav/ Poland/ NATO advanced Research/ 1997. – 356 p. **10.** Кузнецова Г.А., Калихман В.М., Лиопо В.А, Мецик М.С., Швецов Б.Н. Рентгенографическое изучение структурных превращений мусковита и флогопита при нагревании до 1500^0 С / Рентгенография минерального сырья. Воронеж: Изд. ВГУ. – 1979. – С.11-116. **11.** Кузнецова Г.А. Рентгенографическое исследование высокотемпературных превращений в слюдах. Дисс. канд. физ.-мат. наук. Иркутск. ИГУ. 1999. – 128 с. **12.** Звягин Б.Б. . Электронография и структурная кристаллография глинистых минералов. М.: Наука. 1964.– 282 с. **13.** Рентгенография основных типов породообразующих минералов (ред. В.А. Франк-Каменецкий). Л.: Недра.- 1983. – 359 с. **14.** Лиопо В.А., Авдейчик С.В., Струк В.А., Овчинников Е.В., Клецко В.В. Модельные представления о механизме модифицирования полимеров слоистыми силикатами // Д НАН РБ. 2005. – Т. 49. – №6. – С.110-114. **15.** Лиопо В.А., Шелег А.У., Сенько А.Н., Дрозд А.А. Изучение процессов на ювенильных поверхностях монокристаллов методом атомно-силовой микроскопии // Вестник ГрГУ. 2005. – С.2. – №2 (34). – С.123-128.

РІШЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ПРИПІКАННЯ ПОРОШКОВИХ ПОКРИТЬ НА ЦИЛІНДРИЧНІ ДЕТАЛІ

Лопата Л.А, Красота М.В., Лопата В.М., Кулижський В.М.
(КНТУ, м.Кіровоград, Україна)

In the article under consideration appears the analytical approach of the determination of temperature pattern when application of coating with the following electrocontacting hardening on the external surface of the cylindrical parts based on the solution for equation of thermal conductivity for half — infinite cylinder.
The data received in the research of the equation solution of thermal conductivity allows to adjoin force parameter of the heating process with temperature patterns in the paten and of the surface, and vary these parameters depending on the thermal distribution requested.

Вступ. Температура є одним з найважливіших технологічних параметрів процесу нанесення покриттів. Тому при виборі найбільш оптимальних режимів процесу нагріву, для визначення виникаючих температурних напружень необхідно знати розподіл температурного поля в деталі і шарі, що наноситься, у тому числі і на поверхні контакту між ними, що є необхідним для оцінки явищ, що відбуваються на межі основи з покриттям, що наноситься.

Стан питання. Практика нанесення покрить припіканням показала, що фізико-механічні властивості покрить, головним чином міцність зчеплення, пористість,

твердість розподілені нерівномірно по ширині шару, що наноситься на поверхню деталі. Дане явище пояснюється неоднорідністю температурного поля в елементарній зварювальній плямі. Дослідження проведені в роботі [1] показали, що нерівномірне нагрівання порошкових шарів при припіканні і вказані вище дефекти покрить, до яких воно приводить, пов'язане з величиною пористості порошкового шару і її розподіленням в покритті. Внаслідок згущення ліній електричного струму в центральній зоні спостерігається локальне підвищення температури. Крім того, пори є діелектричною фазою і збільшують електроопір на периферійних дільницях. Нерівномірна пористість покрить була усунена зміною механізму ущільнення порошку шляхом використання при ЕКПП електроду з фасонною контактною поверхнею [2].

Постановка задачі. При електроконтактному припіканні важливою задачею є правильний вибір режимів процесу, зокрема температури. Інтервал температур при якому виконується процес обмежується границями $(0{,}9\ldots0{,}95)T_{пл}$. Нагрівання порошку до нижчих температур, ніж вказані значення не дозволить отримати якісне спікання порошку в покриття, а перевищення температурного інтервалу призводить до розплавлення порошку, і як результат до виплеску його та до погіршення властивостей покрить. Для усунення цих негативних явищ важливо установити характер розподілу температури в деталі в процесі нагрівання і на основі цього визначити технологічні способи стабілізації температурного режиму. Вирішити поставлену проблему представляється можливим за допомогою аналітичного розгляду теплової задачі, що дозволяє зв'язати розподіл температурного поля з технологічними параметрами процесу наварювання, оцінити ступінь впливу кожного з них.

Теоретичне дослідження розподілу температури при електроконтактному припіканні. Теплова задача для процесу нанесення покрить з металевих порошків, є нелінійною, оскільки теплофізичні характеристики матеріалів деталі і покриття залежать від температури. Нарівні з цим, для покриття ефективні значення цих характеристик залежать також від його пористості, що, у свою чергу, змінюється в процесі спікання. Для спрощення аналітичного рішення подібних теплових задач використовують лінеаризацію [3, 4]. Лінеаризація являє собою визначену послідовність операцій над нелінійною математичною моделлю, у результаті якої виходить лінійна математична модель, що відповідає з прийнятим ступенем похибки заданої нелінійної моделі. Одним з методів лінеаризації, що найбільше часто зустрічаються при рішенні теплових задач стосовно до нанесення порошкових покрить є метод послідовних інтервалів [4, 5], суть якого полягає в тому, що весь процес нагрівання розбивається на окремі тимчасові інтервали, при цьому на кожнім відрізку теплофізичні характеристики приймаються постійними. Знайдене за даних умов розподілення температури в тілі кінці першого часового інтервалу є початковим розподілом температури для наступного відрізка часу і т.д. Отримане рішення для тимчасових відрізків від $i = 1$ до $i=n$ дає повне представлення про зміну температури в деталі протягом усього процесу нанесення покриття.

Розглянемо допущення, що можливі при рішенні теплової задачі для електроконтактного спікання порошкових покрить. По-перше, через малу товщину покриття, що наноситься, градієнтом температури в ньому можна знехтувати [3, 6], по-друге, для спрощення задачі, як показують роботи [4, 7], можна прийняти, що теплообмін деталі з навколишнім середовищем відсутній. Тоді при вирішенні теплової задачі для процесу електроконтактного наварювання покрить на поверхні деталей типу “вал” стосовно до одиничного часового інтервалу можливо сформулювати наступні умови:

1. По циліндричній поверхні суцільного циліндра радіуса R і довжини l переміщаються по гвинтовій лінії з кутовою швидкістю ω і осьовою

швидкістю υ два діаметрально розташованих джерела тепла потужністю B(φ,z,t), що мають довжину b і кутову ширину відповідно β_1 і β_2 (рис. 1).

2. У циліндрі діють внутрішні теплові джерела питомою потужністю D(r,z,t), розташовані в дисковидній області, що переміщається синхронно з поверхневими джерелами тепла в осьовому напрямку.
3. Теплофізичні характеристики матеріалу циліндра постійні.
4. Пористість та електричний опір по довжині b сталі.
5. Теплообмін з навколишнім середовищем відсутній.

Тоді математично теплову задачу записуємо у виді рівняння теплопровідності

$$\frac{\partial T(r,j,z,t)}{\partial t}=a\left(\frac{\partial^2 T(r,j,z,t)}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial T(r,j,z,t)}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T(r,j,z,t)}{\partial j^2}+\frac{\partial^2 T(r,j,z,t)}{\partial z^2}\right)+Q(r,j,z,t) \tag{1}$$

$$0\le r\le R,\ 0\le j\le 2p,\ 0\le z\le \mathbf{l}$$

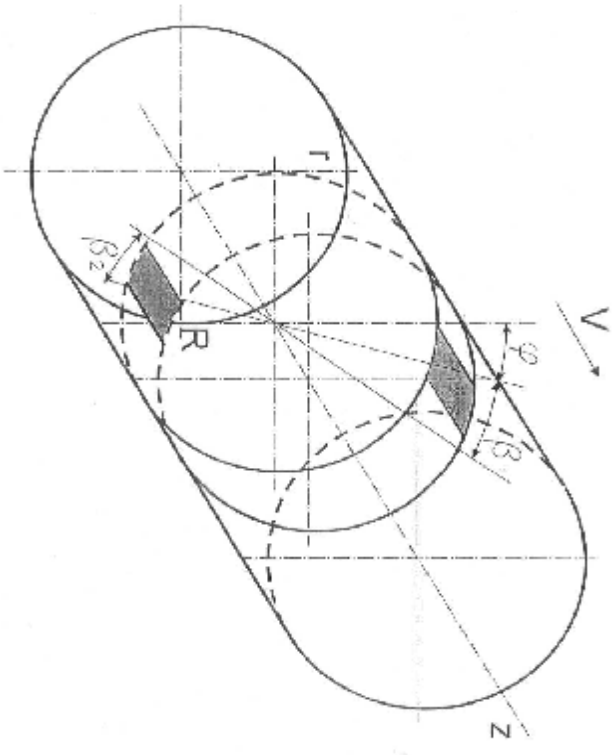


Рис.1 Схема до розрахунку температурного поля

при початковій умові

$$T(r,j,z,t)\big|_{t=0}=A(r,j,z) \tag{2}$$

та граничних умовах

$$\frac{\partial T(r,j,z,t)}{\partial z}\Big|_{z=0}=\frac{\partial T(r,j,z,t)}{\partial z}\Big|_{z=l}=0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial T(r,j,z,t)}{\partial r}\Big|_{r=R} = C(j,z,t) = \frac{1}{l} B(j,z,t)\cdot d(j,z,t) \qquad (4)$$

де

$$d(j,z,t) = \begin{cases} 0,\ при \begin{cases} 0 \le j \le wt,\ wt+b_1 \le j \le wt+p,\ wt+p+b_2 \le p \le 2p \\ ut \le z \le ut+b \end{cases} \\ \\ 1,\ при \begin{cases} wt \le j \le wt+b_1,\ wt+p \le j \le wt+p+b_2 \\ ut \le z \le ut+b \end{cases} \end{cases}$$

$$Q(r,j,z,t) = \frac{1}{cg} D(r,j,z,t)\cdot d_1(z,t) \qquad (5)$$

де

$$d_1(z,t) = \begin{cases} 0\ при\ ut > z > ut+b \\ 1\ при\ ut \le z \le ut+b \end{cases}$$

λ, a, γ, c - відповідно коефіцієнти тепло-, температуропроводності, густина і питома теплоємність матеріалу циліндра.

Рішення задачі (1) - (5) здійснюємо, застосовуючи потрійне інтегральне перетворення виду [8, 9]

$$T(r,j,z,t) = \frac{1}{2pl} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \sum_{k=1}^{\infty} U_{nk}(y_{nk} r) \exp(inj) \overline{\overline{\Phi}}(y_{nk}, n, m) \qquad (6)$$

де

$$\overline{\overline{\Phi}}(y_{nk}, n, m) = \overline{\overline{A}}(y_{nk}, n, 0)\exp(-ay_{nk}^2 t) + aRJ_n(y_{nk}R)\times$$
$$\times \int_0^t \overline{\overline{C}}(n,0,t)\exp(-ay_{nk}^2(t-t)dt + \int_0^t \overline{\overline{Q}}(y_{nk}, n, 0, t)\exp(-ay_{nk}^2(t-t))dt +$$
$$+ 2\sum_{m=1}^{\infty} \Big\{ \overline{\overline{A}}(y_{nk}, n, m)\exp(-a(y_{nk}^2 + p_m^2)t) + aRJ_n(y_{nk}R)\times$$
$$\times \int_0^t \overline{\overline{C}}(n,m,t)\exp(-a(y_{nk}^2 + p_m^2)(t-t))dt + \int_0^t \overline{\overline{Q}}(n,m,t)\times$$
$$\times \exp(-a(y_{nk}^2 + p_m^2)(t-t))dt \Big\} \cos p_m z.$$

$$U_{nk} = 2\frac{y_{nk}^2 J_n(y_{nk} r)}{(y_{nk}^2 R^2 - n^2) J_n^2(y_{nk} R)}.$$

Далі визначимо вид функцій A (r, φ, z), C(φ, z, t) і Q(r, φ, z, t).

Приймаючи, що в початковий момент часу температура в циліндрі розподілена рівномірно, маємо

$$A(r, j, z) = T_0 \tag{7}$$

Тепер розглянемо тепловий баланс у зоні тепловиділення. Тепло, що виділяється під електродом Q_B, йде на нагрівання деталі з покриттям $Q_Д$ і нагрів електрода $Q_Э$. При цьому співвідношення між цими тепловими потоками визначається теплофізичними характеристиками матеріалів деталі й електрода і може бути представлене у вигляді [10,11]

$$\frac{Q_Д}{Q_Э} = K_e \tag{8}$$

де

$$K_e = \sqrt{\frac{l_Д C_Д g_Д}{l_Э C_Э g_Э}}$$

Тоді з урахуванням того, що $Q_B = Q_Д + Q_Э$, одержуємо

$$Q_Д = K_a Q_B, \tag{9}$$

де

$$K_a = \frac{K_e}{1 + K_e}$$

Тепер визначимо потужність тепловиділення під електродами і питомі потоки в деталь. Повна потужність тепловиділення при пропусканні струму силою I через опір R при $k = \frac{t_u}{t_u + t_n}$ (t_u, t_n - відповідно тривалість імпульсу і паузи) складає $Q_B = kI^2R$. Для джерела 1 (у зоні спікання)

$$R_1 = \frac{r(П)d}{S_1} \tag{10}$$

де

$r(П)$ - питомий електроопір пористого порошкового шару під електродом;

$П$ - пористість шару;

d - товщина шару;

S_1- площа плями тепловиділення в порошковому шарі.

Вид функції $r(П)$ вибирається на основі положень теорії узагальненої провідності для двокомпонентних систем з урахуванням усереднених значень пористості в зоні тепловиділення [4,12,13].

Для джерела 2 (під підтримуючим електродом)

$$R_2 = \frac{r_{пер}\Delta}{S_2} \tag{11}$$

де $r_{пер}$ - питомий електроопір контакту “деталь - підтримуючий електрод”;

Δ- умовна товщина перехідного шару;

S_2 - площа плями тепловиділення під підтримуючим електродом.

Тоді, приймаючи

$$B(j,z,t)=\frac{Q_{Дi}}{S_i}=B_i \qquad (12)$$

де i =1, 2 - номер поверхневого теплового джерела, маємо

$$B_1=K_a\frac{kI^2 r(П)d}{b^2 b_1^2 R^2}, \qquad (13)$$

$$B_2=K_a\frac{kI^2 r_{пер}\cdot\Delta}{b^2 b_2^2 R^2} \qquad (14)$$

Тепер визначимо вид функції *D(r, j ,z,t).*

Приймаючи, що внутрішні джерела тепла $Q_{вн}$ розподілені в дисковидній області обсягом $V_{вн}$ рівномірно, і апроксимуючи цю область областю у формі паралелепіпеда такого ж обсягу $V_{вн}$ і товщини b, маємо

$$D(r,j,z,t)=\frac{Q_{ВН}}{V_{ВН}}=\frac{kI^2 r_Д l_{пр}}{S_{пр}V_{ВН}}=D \qquad (15)$$

де r_∂ - питомий електроопір матеріалу деталі;

$l_{пр}=\sqrt{p}\ R$ - приведена довжина області внутрішнього тепловиділення;

$S_{пр}=b^{\chi}l_{пр}=\sqrt{p}\,Rb$ - приведена площа поперечного перерізу області внутрішнього тепловиділення;

$V_{ВН}=pR^2b-$ об´єм області тепловиділення.

Підставляючи в (15) вираз для $l_{пр}$, $S_{пр}$ *і* $V_{вн}$, одержуємо

$$D=\frac{r_Д kI^2}{p^{\frac{3}{2}}b^2R^2} \qquad (16)$$

Підставляючи у вираз (6) знайдені види функцій *A(r, j ,z), C(j ,z,t)* і *Q(r, j , z, t)* і розкриваючи отримані інтеграли, маємо рішення задачі (1) - (5) у вигляді

$$T(r,j,z,t)=\frac{1}{2pl}\sum_{k=1}^{\infty}U_{ok}(y_{ok}r)\left\{\frac{2plRJ_1(y_{ok}R)}{y_{ok}}T_0\exp(-ay_{ok}^2t)+\right.$$

$$+\left[bRJ_0(y_{ok}R)\cdot(b_1B_1+b_2B_2)+\frac{2pbR}{y_{ok}}J_1(y_{ok}R)\cdot D\right]\frac{1}{ly_{ok}^2}(1-\exp(-ay_{ok}^2t))+$$

$$+2\sum_{m=1}^{\infty}B_{km}(t)\frac{1}{cg}\left[\frac{2R}{p_m}J_0(y_{ok}R)\cdot\sin(\frac{p_mb}{2})\cdot(b_1B_1+b_2B_2)+\frac{4pR}{y_{ok}p_m}J_1(y_{ok}R)\cdot D\times\right.$$

$$\left.\left.\times\sin\left(\frac{p_mb}{2}\right)\right]\cos(p_mz)\right\}+\frac{1}{plcg}\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{k=1}^{\infty}U_{nk}(y_{nk}r)\left\{\frac{2bR}{n}J_n(y_{nk}R)\times\right.$$

$$\times\left[B_1\sin\left(\frac{nb_1}{2}\right)\cdot A_{1nk}(j,t)-B_2\sin\left(\frac{nb_2}{2}\right)\cdot A_{2nk}(j,t)\right]+\frac{4R}{p_m}\sin\left(\frac{p_mb}{2}\right)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}J_n(y_{nk}R)\left[B_1\sin\left(\frac{nb_1}{2}\right)\cdot C_{1nkm}(j,t)-B_2\sin\left(\frac{nb_2}{2}\right)\cdot C_{2nkm}(j,t)\right]\times$$

$$\left.\times\cos(p_mz)\right\},\qquad(17)$$

де

$$A_{ink}(j,t)=\frac{1}{a^2y_{nk}^2+n^2w^2}\left\{\cos\left[n\left(j-\frac{b_i}{2}\right)\right]\cdot[ay_{nk}^2\cos(nwt)+nw\sin(nwt)-\right.$$

$$-ay_{nk}^2\exp\left(-ay_{nk}^2t\right)]+\sin\left[n\left(j-\frac{b_i}{2}\right)\right]\times$$

$$\left.\times\left[ay_{nk}^2\sin(nwt)-nw\cos(nwt)+nw\exp\left(-ay_{nk}^2t\right)\right]\right\};$$

$$B_{km}(t)=\frac{1}{a^2\left(y_{ok}^2+p_m^2\right)^2+p_m^2u^2}\left\{\cos\left(p_m\frac{b}{2}\right)\cdot\left[a\left(y_{ok}^2+p_m^2\right)\cos(p_mut)+\right.\right.$$

$$\left.+p_mu\sin(p_mut)-a\left(y_{ok}^2+p_m^2\right)\exp\left[-a\left(y_{ok}^2+p_m^2\right)t\right]\right]-\sin\left(p_m\frac{b}{2}\right)\times$$

$$\left.\left.\times\left[a\left(y_{ok}^2+p_m^2\right)\sin(p_mut)-p_mu\cos(p_mut)+p_mu\exp\left[-a\left(y_{ok}^2+p_m^2\right)t\right]\right]\right\};$$

$$C_{inkm}(j,t)=\sum_{a=-1;1}\frac{1}{a\left(y_{nk}^2+p_m^2\right)^2+(p_m u-anw)^2}\left\{\cos\left[p_m\frac{b}{2}+an\left(j-\frac{b_i}{2}\right)\right]\times\right.$$

$$\times\left[a\left(y_{nk}^2+p_m^2\right)\cos[(p_m u-anw)t]+(p_m u-anw)\sin[(p_m u-anw)t]-\right.$$

$$-a\left(y_{ok}^2+p_m^2\right)\exp\left[-a\left(y_{nk}^2+p_m^2\right)t\right]\ ]-a\sin\left[p_m\frac{b}{2}+an\left(j-\frac{b_i}{2}\right)\right]\times$$

$$\times\left[a\left(y_{nk}^2+p_m^2\right)\sin[(p_m u-anw)t]-(p_m u-anw)\cos[(p_m u-anw)t]+\right.$$

$$\left.\left.+(p_m u-anw)\exp\left[-a\left(y_{nk}^2+p_m^2\right)t\right]\right]\right\};$$

$$i=1,2$$

Отримане аналітичне вираження (17) було використано для побудови номограми вибору технологічних параметрів процесу електроконтактного нанесення покрить на деталі типу “вал”.

Розрахунок значень функції *T(r, j ,z,t)* проводився за допомогою головної програми, реалізованої мовою програмування Бейсик версії 2.00, і ряду підпрограм для розрахунку функцій exp, sin, cos, J_n і коренів трансцендентного рівняння, до яких відбувалося автоматичне звертання при визначенні *T(r, j ,z,t)*. Тривалість часу інтервалів розбивання вибиралася виходячи з температурної залежності теплофізичних характеристик матеріалу циліндра [15,16]. При цьому перехід від одного часового інтервалу до іншого здійснювався при досягненні середньої температури деталі $T_{cp}=\frac{1}{2pR^2l}\int_0^R\int_0^{2p}\int_0^l T(r,j,z,t)drdjdz$ значення, кратного 50.

За матеріал циліндра приймалася сталь 45, матеріал електрода - бронза Бр.Х. Діаметр електродів 0,15 м, ширина 0,008 м. При розрахунку приймалося, що значення b_1R = 0,0025 м, b_2R = 0,001 м, питомий електроопір матеріалу покриття $\rho_0=1{,}6\cdot10^{-5}$Ом·м. Усереднена за час спікання пористість шару під електродом вважалася рівною 10%. Колова швидкість переміщення електрода розраховувалася із співвідношення $u=\frac{bw}{2p}$. Сила струму вибиралася в діапазоні I=1...5 кА при k = 0,5. Колова швидкість деталі складала ω=0,01...0,33 c^{-1}. При розрахунку оцінювалася температура циліндра в точці з координатами $r=R$, $j=wt+\frac{b_1}{2}$, $z=ut+p_i$, тобто по лінії на поверхні деталі, що проходить через центр плями контакту електрода 1 ($p_i=b/i$ – довжина і-го інтервалу по ширині плями контакту до точки вимірювання температури, приймалося i=1...10).

Застосування електрода з фасонною контактною поверхнею досягає досягнути більш рівномірного розподілу температури в покритті. Отримані теоретичні залежності підтверджуються експериментальними результатами.

На рис. 2 приведені результати чисельних розрахунків температури T по ширині смуги контакту *в* для одержання зносостійких покрить системи Fe-B-C.

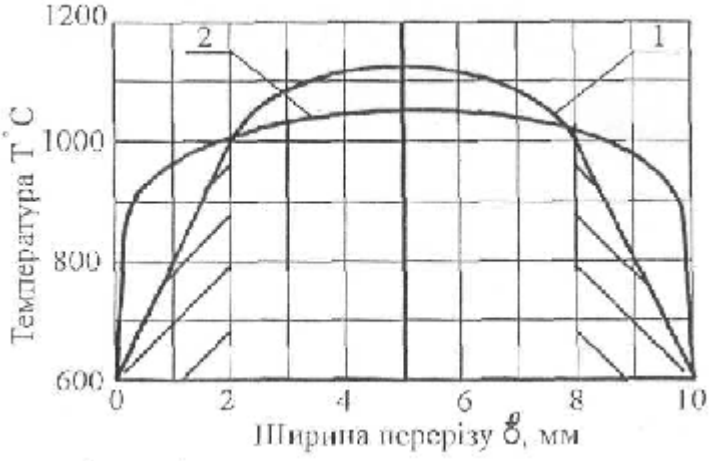


Рис. 2. Теоретичні криві температури:
1 – з використанням стандартного електроду;
2 – з фасонною контактною поверхнею;
заштриховано область температур непридатних для ЕКПП.

Висновок. Запропонована нами схема кінетики ущільнення при припіканні роликовим електродом із фасонною поверхнею дозволяє усунути градієнт температур по ширині електрода.

Список литературы: 1. Лопата Л.А, Красота М.В. «Досягнення рівномірного нагріву порошковихшарів при електроімпульсному припіканні металевих порошків. В кн.: «Труды Таврической государственной академии». Вип. 2. Том 7., Мелитополь 1999 с. 67-69. **2.** Патент на винахід «Електрод для електроконтактного припікання порошків» № 37465а від 15.05.2001. Л.А.Лопата, Ф.Й. Златопольський, М.В.Красота. **3.** Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А. Электроконтактное упрочнение. - Минск: Наука и техника, 1982.-256 с. **4.** Дорожкин Н.Н., Абрамович Т.М., Жорник В.И. Получение покрытий методом припекания. - Минск: Наука и техника, 1980. -176 с. **5.** Шумаков Н.В. Метод последовательных интервалов в теплометрии нестационарных процессов. - Москва: Атомиздат, 1979. - 216 с. **6.** Верещагин В.А., Лопата Л.А., Жорник В.И. Анализ температурных полей при электроконтактном упрочнении деталей сельскохозяйственных машин/ Конструирование и производство сельскохозяйственных машин.-Межведомств, респ. научн.-техн. сборник, Киев: Техника, 1989,вып. 9, с. 88-91. **7.** Дорожкин Н.Н., Жорник В.И., Ярошевич В.К., Верещагин В.А. Расчет температурного поля при электроконтактном упрочнении длинномерных деталей // Сварочное производство, 1983, №2, с. 13-15. **8.** Карташов Э.М. Аналитические методы в теплопроводности твердых тел. - Москва: Высшая школа, 1979. - 415 с. **9.** Лыков А.В. Тепломасообмен. - Москва: Энергия. - 480 с. **10.** Лыков А.В. Теория теплопроводности. - Москва: Высшая школа 1967, -600с. **11.** Жорник .В.И., Полуян А.И., Верещагин В.А. Анализ тепловых процессов при обработке неметаллических материалов // Тр. Междунар. конф., «Математика в индустрии», Таганрог, 1998, с. 136-139. **12.** Дульнев Г.Н., Новиков В.В. Процессы переноса в неоднородных средах. Ленинград, Электроатомиздат, 1991. **13.** Оделевский В.И. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем //Журнал техн. физики, 1951, т.21, вып.5 - с.667-685. **14.** Жорник В.И. Оценка влияния вида нагрева на распределение температуры в системе «Покрытие - основа» // Известия АН БССР, сер. физ.-техн. наук, 1985, №1, с. 118-129. **15.** Таблицы

физических величин. Справочник /Под ред. И.К.Кикоина. -Москва: Атомиздат, 1976. - 1008 с. **16.** Теплофизические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике / Под ред. Б.Е. Неймарка. - Москва: Энергия, 1967. - 239 с.

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕДЕНИЯ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ НА КРУПНОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Лось И.П., Минин А.А. *(ГП НПКГ «Зоря-Машпроект», г. Николаев, Украина)*

In this article the author considers the basic stages and methods of jobs on classification and coding of the technical and economic information functioning into complex information system of the large machine-building enterprise.

Одной из основных задач построения комплексной автоматизированной системы управления предприятием на государственном предприятии «Научно-производственный комплекс газотурбостроения «Зоря»-«Машпроект»» (www.zmturbines.com) являлась задача построения и наполнения нормативно-справочной информацией (НСИ) всех необходимых классификаторов, обеспечивающих работу ERP-системы на базе программного обеспечения «IT-Предприятие™» (разработчик ООО «Информационные технологии», г. Киев, www.it.ua).

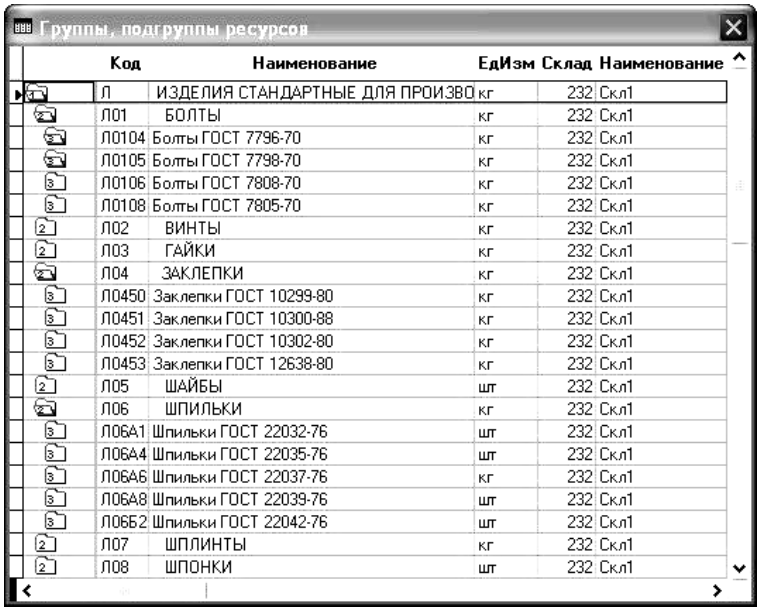
Для реализации этой задачи были выполнены следующие работы:

- разработаны и внедрены стандарты, инструкции и регламенты ведения НСИ;
- создана однозначная система классификации и кодирования технико-экономической информации, состоящая из государственных классификаторов, классификаторов, созданных государственными органами управления, локальных заводских классификаторов;
- проведены необходимые настройки программного обеспечения, обеспечивающего ведение НСИ, контроль вводимой информации и поддержание логической целостности информационной базы;
- обеспечена информационно-содержательная полнота системы НСИ, т.е. выполнено наполнение информацией и ведение всех необходимых справочников.

Для перевода информации с естественного языка на формализованный применялись различные системы классификации и кодирования. Классификация - это разделение множества объектов на подмножества по их сходству или отличию в соответствии с принятыми методами, среди которых наиболее применяемыми являются: иерархический (последовательное деление множества объектов на подчиненные классификационные группы) и многоаспектный (в качестве основания классификации используется несколько независимых признаков – аспектов). В свою очередь многоаспектный метод разделяется на фасетный (параллельное деление множества объектов на независимые классификационные группы - фасеты) и дескрипторный (дескриптор - ключевое слово, определяющее некоторое понятие, которое формирует описание объекта и дает принадлежность этого объекта к классу, группе и т.д.).

При построении иерархической системы классификации сначала выделяется некоторое множество объектов, подлежащее классифицированию, для которого определяются полное множество признаков классификации и их соподчиненность друг другу, затем производится разбиение исходного множества объектов на классификационные группировки на каждой ступени классификации. Преимуществом иерархического ме-

тода есть его логичность, большая информационная вместимость и простота, но его жесткая структура затрудняет перегруппировки объектов. Поэтому при разработке классификаторов следует учитывать, что иерархический метод классификации предпочтителен для объектов с относительно стабильными признаками (см. пример на рис.1).



Код	Наименование	ЕдИзм	Склад	Наименование
Л	ИЗДЕЛИЯ СТАНДАРТНЫЕ ДЛЯ ПРОИЗВО	кг	232	Скл1
Л01	БОЛТЫ	кг	232	Скл1
Л0104	Болты ГОСТ 7796-70	кг	232	Скл1
Л0105	Болты ГОСТ 7798-70	кг	232	Скл1
Л0106	Болты ГОСТ 7808-70	кг	232	Скл1
Л0108	Болты ГОСТ 7805-70	кг	232	Скл1
Л02	ВИНТЫ	кг	232	Скл1
Л03	ГАЙКИ	кг	232	Скл1
Л04	ЗАКЛЕПКИ	кг	232	Скл1
Л0450	Заклепки ГОСТ 10299-80	кг	232	Скл1
Л0451	Заклепки ГОСТ 10300-88	кг	232	Скл1
Л0452	Заклепки ГОСТ 10302-80	кг	232	Скл1
Л0453	Заклепки ГОСТ 12638-80	кг	232	Скл1
Л05	ШАЙБЫ	шт	232	Скл1
Л06	ШПИЛЬКИ	кг	232	Скл1
Л06А1	Шпильки ГОСТ 22032-76	шт	232	Скл1
Л06А4	Шпильки ГОСТ 22035-76	шт	232	Скл1
Л06А6	Шпильки ГОСТ 22037-76	кг	232	Скл1
Л06А8	Шпильки ГОСТ 22039-76	шт	232	Скл1
Л06Б2	Шпильки ГОСТ 22042-76	шт	232	Скл1
Л07	ШПЛИНТЫ	кг	232	Скл1
Л08	ШПОНКИ	шт	232	Скл1

Рис. 1. Иерархическая классификация

Фасетный метод более гибок, но он сложнее для использования в многоаспектных номенклатурах и имеет ограниченную емкость классификации. Фасеты могут быть единичными и групповыми. Значение групповой фасеты формируется как сочетание значений единичных фасет. Внутри фасеты значения признаков могут просто перечисляться по некоторому порядку или образовывать сложную иерархическую структуру, если существует соподчиненность выделенных признаков.

В используемых на заводе классификационных схемах часто одновременно используются оба метода классификации. Для полной формализации информации недостаточно классификации, поэтому проводят кодирование, т.е. процесс присвоения условных обозначений объектам и классификационным группам по соответствующей системе кодирования. Присвоенные объектам классификации коды, фиксируются в специальных документах - классификаторах. Методы кодирования могут носить самостоятельный характер – регистрационные (порядковые и серийно-порядковые), или быть основанными на предварительной классификации объектов – классификационные (последовательные и параллельные).

По сфере действия выделяют следующие виды классификаторов:

- международные, предназначенные для передачи информации между организациями разных стран;
- общегосударственные, обязательные для организации процессов передачи и обработки информации между экономическими системами государственного уровня внутри страны;
- отраслевые, используемые для выполнения процедур обработки информации и передачи ее между организациями внутри отрасли;

- локальные, разрабатываемые для внутреннего использования на предприятии в соответствии с поставленными задачами.

При этом для каждого классификатора необходимо закрепить службу, ответственную за:

- организационно-методическое руководство по вопросам классификации и кодирования согласно этого классификатора;
- проведение изменений в электронном и, при необходимости, бумажном виде классификатора;
- организацию учета и хранения соответствующего классификатора при необходимости ведения его в бумажном виде.
-

Таблица 1. Перечень общегосударственных классификаторов Украины

Наименование классификатора	**Номер классификатора**
Классификация форм собственности	ДК 001:2004
Классификация организационно-правовых форм хозяйствования	ДК 002:2004
Классификатор профессий	ДК 003:2005
Классификатор нормативных документов	ДК 004-2003
Классификатор отходов	ДК 005-96
Классификатор валют	ДК 006-96
Классификатор государств мира	ДК 007-96
Классификатор полезных ископаемых и подземных вод	ДК 008-96
Классификатор видов экономической деятельности	ДК 009:2005
Государственный классификатор управленческой документации	ДК 010-98
Классификатор системы обозначений единиц измерения и учета	ДК 011-96
Классификатор услуг внешнеэкономической деятельности	ДК 012-97
Классификация основных фондов	ДК 013-97
Классификатор объектов административно-территориального устройства Украины	ДК 014-97
Классификация видов научно-технической деятельности	ДК 015-97
Государственный классификатор продукции и услуг	ДК 016-97
Украинская классификация товаров внешнеэкономической деятельности	ДК 017-98
Государственный классификатор зданий и сооружений	ДК 018-2000
Государственный классификатор чрезвычайных ситуаций	ДК 019-2001
Единый классификатор предметов снабжения	ДК 020:2004

На нашем предприятии работу по управлению фондом международных, общегосударственных классификаторов (таблица 1) на бумажных и электронных носителях проводит конструкторско-технологическое бюро стандартизации в отделе метрологии и стандартизации.

Исключение составляет классификатор ДК 017-98 «Украинская классификация товаров внешнеэкономической деятельности», который в электронном виде ведет бюро таможенных операций отдела сбыта управления материально – техническим снабжением в составе автоматизированного рабочего места «Таможенный брокер».

Классификаторы, созданные и утвержденные министерствами статистики, экономики, финансов, налоговыми службами содержат информацию, которая относится к конкретным областям применения, коды которых обязательны к применению на всех предприятиях всех отраслей (Таблица 2). Организационно - методическое руководство по применению этих классификаторов закреплено за подразделениями по принадлежности.

Таблица 2. Часть перечня классификаторов, созданных государственными органами

Наименование классификатора	**Ответственное подразделение**	**Кем введен**
Общеукраинский классификатор предприятий и организаций	Управление информационных технологий	Минстат Украины
Справочник банков Украины	Отдел управления финансовыми ресурсами	Минфин Украины
План счетов бухгалтерского учета	Главная бухгалтерия	-«-
Справочник идентификационных номеров плательщиков налогов	Финансовое управление	Налоговая служба Украины
Классификатор видов таможенных и иных платежей Государственного бюджета	Отдел сбыта	Таможенная служба Украины
Классификатор видов таможенных сборов	Отдел сбыта	-«-
Всего около 50 классификаторов по различным направлениям деятельности		

Каждый из более 400 локальных классификаторов создаётся заинтересованным подразделением предприятия, которое является держателем контрольного экземпляра, как на бумажном носителе, так и в электронном виде. При создании классификатора в электронном виде структура классификатора, метод кодирования и регламент его ведения обязательно согласовывается с управлением информационных технологий, осуществляющем соответствующие настройки в комплексной информационной системе предприятия. При этом наиболее сложными вопросами, которые приходится решать при разработке локального классификатора, являются:

- выбор методов классификации и кодирования и выбор системы признаков классификации;
- выбор последовательности использования признаков классификации по ступеням классификации при иерархическом методе классификации (на верхних ступенях должны использоваться признаки, к которым будут наиболее частые запросы);
- определение минимально-необходимого реквизитного состава классификатора (количество реквизитов в зависимости от классификатора колеблется от 2 до 30);
- определение регламента ведения классификатора (кто и каким образом инициирует и проводит изменения в классификаторе).

В качестве примера можно привести построение классификатора ресурсов предприятия, в котором код ресурса строится по модели: ABBCCDDXXXXXXXX, где

A - раздел ресурса, являющийся обязательным уровнем иерархии, предназначенный для распределения ресурса по видам их использования;

BB - группа ресурса предназначена для разделения ресурса по однородности и характеру производства;

CC - подгруппа ресурса предназначена для дальнейшей конкретизации характеристик ресурса (марка, тип, сортамент, типоразмер и т.п.);

DD - код характеристики

X…X - порядковый номер ресурса внутри раздела, группы, подгруппы или набор значений фасет (включая групповые).

Среди основных реквизитов этого классификатора следует отметить: код; обозначение; наименования ресурса для отображения документов; единицы измерения ресурса (учетная, в конструкторских документах, в нормах) и переводные коэффициенты между ними; ГОСТ, ТУ.

При таком огромном объеме НСИ, используемой на предприятии, вести её возможно только на базе высокоэффективных информационных технологий, решающих задачу многопользовательского доступа к НСИ в реальном режиме времени с возможностью физического разграничения полномочий, реализующих взаимодействие пользователей с ответственными за ведение классификаторов, обеспечивающих масштабирование системы.

ИСЛЕДОВАНИЕ ДИСКРЕТНО-ИМПУЛЬСНОГО МИКРОВОЛНОГО НАГРЕВА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ ШАМПИНЬОНОВ

Лупашко А. С., Тарлев В.П., Баля В. М., Казаку О. М.
(ТУМ, Кишинев, Молдова)

In this thesis is study the influence of the conditions kinetic about impulse-hushed process of the drying of mushrooms with application of microwave energy. Was found that with increasing of impulses value the time of drying is shorter than before, because of increasing the drying speed.

Особое место в развитии человеческого организма имеет применение продуктов двойного направления. Это - как пищевой продукт, и как медико-биологический.

Известно, что второе место в мире, по смертности населения занимает инфаркт миокарда. Его предрасположенность как отмечается в [1] определяется уровнем эластичности сердечно-мышечной ткани, которая улучшается по мере накопления в организме калия. Поэтому целесообразно использовать в рационе питания такие продукты, которые богаты калием. К ним, в частности, относятся и грибы шампиньоны [2].

Концентрация калия во много раз увеличивается в продуктах после их сушки.

Сушка грибов в настоящее время осуществляется в условиях теневой воздушно – солнечной сушки. Такой способ сушки имеет ряд существенных недостатков, таких как: большая продолжительность процесса сушки, плохое качество из-за появления макро- и микрофлоры, потребность в больших площадях и.т.д.

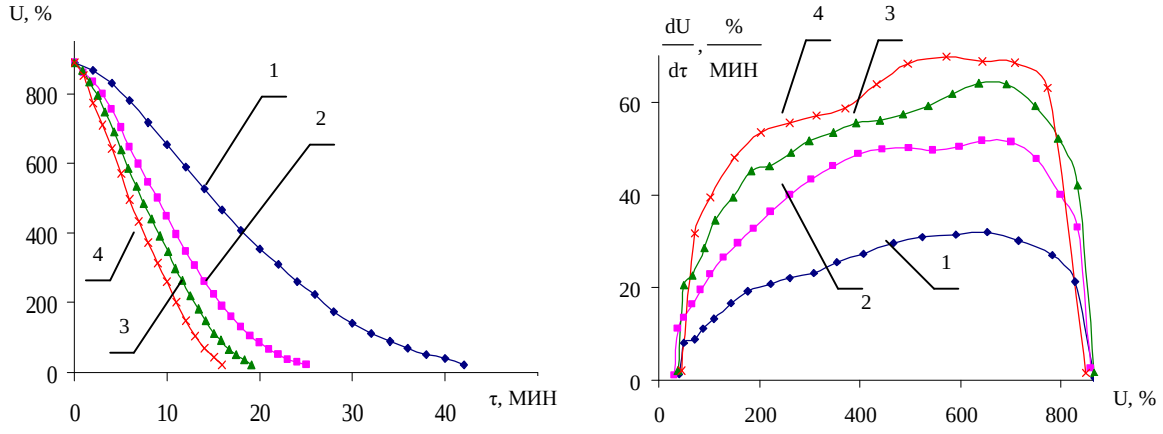
Определённые перспективы в устранении этих недостатков может дать сушка с использованием микроволновой энергии (СВЧ). Для выявления степени воздействия СВЧ полей на процесс сушки шампиньонов, были проведены исследования кинетики

процесса их сушки на специальной установки [3]. Установка позволяла сушить грибы с использованием комбинированного энергоподвода – конвекция + СВЧ (в дискретном

импульсном режиме). В процессе сушки температура сушильного агента изменялась от 60 до 100°С, а режим дискретно – импульсного нагрева осуществляется по программе – 5с/10с, 10с/10с, 15с/10с, 20с/10с. Здесь числитель режима сушки определяет длительность СВЧ - нагрева, а знаменатель время отлёжки. Также изменялись и размеры дисперсности эквивалентного диаметра грибов $0{,}5D_e$ и $0{,}25D_e$. Грибы сушились до конечной влажности 8,5 %.

На рис. 1 (а) представлены кривые сушки грибов при комбинированном энергоподводе для случая температуры сушильного агента 100°С, мощиность магнетрона 600W и размер резки $0{,}5D_e$. Из графиков видно, что с ростом дискретно-импульсного режима, время сушки уменьшается. Так для режима 5с/10с она составило 42 минуты, а для остальных режимов отмеченных выше, составило соответственно, 25, 19 и 16 минут. Таким образом, использование дискретно-импульсного метода сушки положительно влияет на величину продолжительности процесса сушки. При этом время сушки уменьшается более чем в 2,5 раза.

По кривым сушки (рис. 1 (а)) для комбинированного подвода тепла были расчитаны кривые скорости сушки (рис. 1 (б)). Из рис. 1 (б) видно, что с ростом значения дискретно-импульсного режима растут и значения максимальных скоростей сушки. Так при режимах 5с/10с, 10с/10с, 15с/10с и 20с/10с они составили, соответственно 31,9; 51,7; 64,1 и 69,8 %/мин. Таким образом, процесс сушки интенсифицируется более чем в два раза.



а) б)

Рис. 1. Кривые сушки (а) и кривые скорости сушки (б) шампиньонов, при комбинированном подводе тепла, для температуры сушильного агента 100° , мощности магнетрона 600 W и размер грибов $0{,}5D_e$
(1 – 5с/10с; 2 – 10с/10с; 3 – 15с/10с; 4 – 20с/10с)

На рис. 2 (а) представлены кривые сушки грибов при комбинированном энергоподвода для случая температуры сушильного агента 100°С, мощность магнетрона 600W и размер грибов $0{,}25D_e$. Из этих графиков видно, что с ростом дискретно-импульсного режима, время сушки уменьшается. Так для режима 5с/10с она составило 30 минуты, а для остальных режимов отмеченных выше, составило соответственно, 23, 18 и 15 минут. Таким образом, использование дискретно-импульсного метода сушки ведет к уменьшением времени сушки более чем в 1,8 раза.

Также по кривым сушки (рис. 2 (а)) для размер грибов 0,25D_e были рассчитаны кривые скорости сушки (рис. 2 (б)). Из рис. 2 (б) видно, что с ростом значения дискретно-импульсного режима растут и значения максимальных скоростей сушки. Так при режимах 5с/10с, 10с/10с, 15с/10с и 20с/10с они составили, соответственно 40,3; 57,1; 73,4 и 75 %/мин. Таким образом, процесс сушки интенсифицируется более чем в 1,8 раза.

Из рис. 1(б) и 2(б) видно, что на кривых скорости сушки, при данных режимах уже появляется период с постоянной скоростью сушки. Это объясняется тем, что при наложения микроволновой энергии градиент влагосодержания направлен от центра продукта к его поверхности, что соответствует перемещению влаги в жидком состоянии от центра к поверхности грибов. Визуально было отмечено, что на поверхности грибов появлялись капельки влаги. Это приводит к случаю испарения воды как со свободной поверхности, что и ведет к появлению участка с постоянной скорости.

Сравнивая кривые сушки и кривые скорости сушки шампиньонов с размерами 0,5D_e и 0,25D_e, можно сделать вывод, что вместе с уменьшением размеров грибов уменьшается длительность сушки для 5с/10с, 10с/10с, 15с/10с и 20с/10с на 28,6; 8,0;5,2 и 6,25% соответственно.

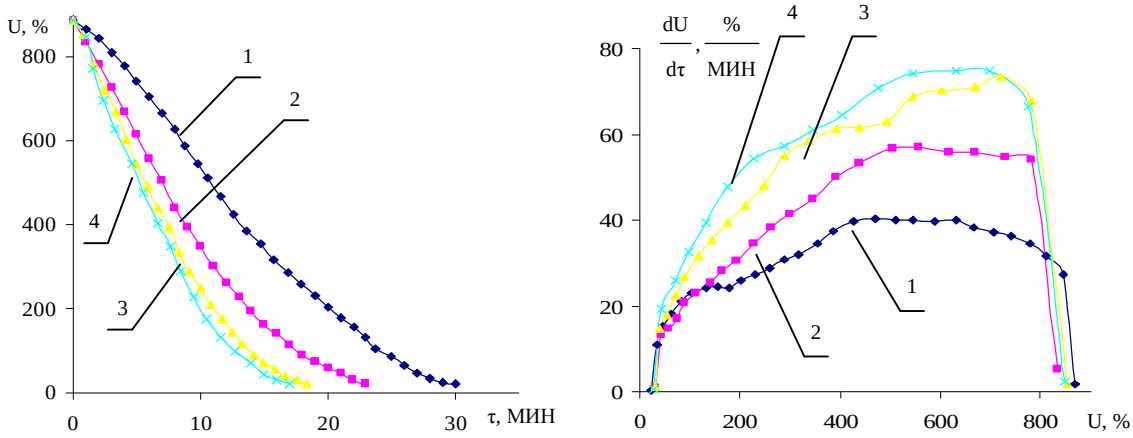


Рис. 2. Кривые сушки (а) и кривые скорости сушки (б) шампиньонов, при комбинированном подводе тепла, для температуры сушильного агента 100° , мощности магнетрона 600 W и размер грибов 0,25D_e
(1 – 5с/10с; 2 – 10с/10с; 3 – 15с/10с; 4 – 20с/10с)

Значит, вместе с уменьшением длительности сушки грибов различной формы увеличивается скорость сушки для 5с/10с, 10с/10с, 15с/10с и 20с/10с на 20,8; 9,45; 12,7 и 6,9%/мин соответственно.

Вывод: при сушке грибов с комбинированным энергоподводом тепла конвекция + СВЧ с температурой сушильного агента 100°С, мощностью магнетрона 600W и размером грибов 0,5D_e и 0,25D_e наблюдается ускорение процесса сушки вместе с увеличением дискретно-импульсного режима и с уменьшением размера грибов.

Список литературы: 1. Турова А.Д. Лекарственные растения СССР и их применение. – М.: Медицина, 1974. – 424 с. **2.** Химический состав пищевых продуктов/ Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергической ценности пищевых продуктов//Под ред. акад. АМН СССР А.А. Покровского. –М.: Пищевая

промышленность, 1979. -228с. **3.** Установка для дослидження кінетики процессу сушіння/ І. Ф. Малежик, А.С. Лупашко, М. П. Берник, В. П. Тарлев и др. //матеріали конференція „Нові технологіі та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи". – Киів. –НУХТ. – 17- 19 ноября2005.–стр.2.

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ДИСКРЕТНО – ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА СУШКИ НА СОДЕРЖАНИЯ КАЛИЯ В ШАМПИНЬОНАХ

Лупашко А. С., Тарлев В.П., Баля В. М., Стурза Р.А., Казаку О.М.
(ТУМ, Кишинев, Молдова)

We study influence of the conditions impulse-hushed about content of the potassium in dried mushroom through compound method: convection + SHF. We observe that of we raise the length of the microwaves action; we observe that the content of potassium is decreasing. In continuation of this process we observe a decreasing of it at onle with decreasing of mushrooms size.

Важнейшнее значении в жизни деятельности человеческого органисма играет акой химический элемент как калий.

Калий регулирует кислотно-щелочное равновесие крови. Он участвует в передаче нервных импульсов, активизирует работу ряда ферментов, активизирует мышечную работу сердца, благотворно влияет на работу кожи и почек. Калий обладает защитным действием против нежелательного влияния избытка натрия и нормализует давление крови [1].

При нарушении сердечной деятельности полезны продукты, содержащие калий. Калий способствует выведению из организма жидкости. Отличительная особенность калия - его способность вызывать усиленное выведение воды из организма. Поэтому пищевые рационы с повышенным содержанием элемента облегчают функционирование сердечно-сосудистой системы при ее недостаточности, обусловливают исчезновение или существенное уменьшение отеков.

Калий, как макроэлемент, является основным внутриклеточным ионом, тогда как главный внеклеточный ион - натрий. Взаимодействие этих ионов имеет важное значение в поддержании изотоничности клеток. Ионы калия играют существенную роль в регулировании многочисленных функций организма. Калий участвует в процессе проведения нервных импульсов и передачи их на иннервируемые органы. Способствует лучшей деятельности головного мозга, улучшая снабжение его кислородом. Оказывает положительное влияние при многих аллергических состояниях. Снижает АД крови. Калий необходим также для осуществления сокращений скелетных мышц. Он улучшает сокращение мышц при мышечной дистрофии, миастении.

Основным источником калия в организме являются пищевые продукты. Богаты калием, являются и грибы, в особенности шампиньонов [2]. Его концентрация в грибах во много раз увеличивается в случая сушки грибов. Обычно, грибы сушат в тени при использовании воздушно-солнечной энергии. Этот способ сушки обладает серьезными недостатками, такие как: большая продолжительность процесса, плохое качество (из-за появления макро - и микрофлоры), потребность в больших площадях и т.д.

Для исключения данных недостатков были проведены исследования кинетики процесса сушки шампиньонов с использованием микроволновой энергии в дискретно-импульсном режиме. В процессе сушки температура сушильного агента изменялась от

60 до 100°С, а режим дискретно – импульсного нагрева осуществляется по программе – 5с/10с, 10с/10с, 15с/10с, 20с/10с. Здесь числитель режима сушки определяет длительность СВЧ - нагрева, а знаменатель время отлёжки. Также изменялись и размеры дисперсности эквивалентного диаметра грибов $0,5D_e$ и $0,25D_e$. Грибы сушились до конечной влажности 8,5 %.

При оценки одного или другого метода термической обработки с целю сушки, конечное значение относится к качественными показатели готового продукта. Для этого были проведены исследования по содержания калия в грибах. Оценка того или иного метода сушки грибов осуществлялась по качественным показателям высушенного продукта. За основу была взята концентрация калия в грибах. Калий определялся фламфотометрическим методом.

Результаты исследования влияние микроволнового дискретно – импульсного режима сушки на содержания калия в шампиньонов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Конечная содержания калия в сушеных грибах в комбинированом энергоподводе тепла

№	Температура сушки, °С	Режим сушки/размеры грибов							
		5с/10с		10с/10с		15с/10с		20с/10с	
		$0,5\ D_e$	$0,25D_e$	$0,5\ D_e$	$0,25D_e$	$0,5\ D_e$	$0,25D_e$	$0,5D_e$	$0,25D_e$
1	Свежие грибы	3686.7							
2	60	3099,7	2632,5	2531,2	2263,0	2292,9	2199,0	2052,4	2082,1
3	70	2964,6	2969,6	2415,4	2602,3	2082,3	2378,2	1934,2	2302,3
4	80	2759,3	2793,8	2365,0	2673,8	1945,6	2270,3	1688,4	2070,3
5	90	2154,1	2624,7	1919,9	2462,6	1798,9	2282,1	1605,2	2188,5
6	100	1979,2	2794,6	1533,0	2739,5	1467,9	2159,7	1449,5	2047,9

Как видно из таблицы 1, при комбинированном энергоподводе тепла конвекция + СВЧ при сушке грибов содержание калия изменяется вместе с увеличением времени воздействия микроволн. При температуре сушильного агенте 60°С и размере гриба $0,5D_e$ содержание калия уменьшается вместе с увеличением длительности воздействия микроволн для 5с/10с, 10с/10с, 15с/10с и 20с/10с по отношению к свежим грибам соответственно на15,9; 31,3;37,8 и 44,3%. А при температуре сушильного агента 100°С и таких же размерах гриба содержание калия уменьшается уже соответственно на 46,3; 58,4; 60,2 и 60,7%.

Анализируя содержание калия, при размерах гриба $0,25D_e$ наблюдается уменьшение содержания калия при температуре сушильного агента 60°С по сравнению с содержанием в свежих грибах вместе с увеличением времени воздействия микроволн также уменьшается для 5с/10с, 10с/10с, 15с/10с и 20с/10с соответственно на 28,6; 38,6; 40,35 и 43,5%. А при температуре сушильного агента 100°С и таких же размерах гриба содержание калия уменьшается уже соответственно на 24,2; 25,7; 41,4 и 44,5%.

Эти процессы объясняются тем, что при воздействии микроволн градиенты температуры и влажности направлены изнутри продукта к его поверхности. Вместе с увеличением длительности воздействия микроволн увеличивается значение градиента влажности, что ведет к ускорению перехода межмолекулярного сока изнутри продукта к его поверхности с образованием капелек влаги и его потере. На основании предельных исследований можно отметить, что для процесса сушки грибов чем больше дисперсность D_e, тем концентрация калия увеличивается.

Список литературы: 1. Турова А.Д. Лекарственные растения СССР и их применение. – М.: Медицина, 1974. – 424 с. **2.** Химический состав пищевых продуктов/ Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергической ценности пищевых продуктов//Под ред. акад. АМН СССР А.А. Покровского. –М.: Пищевая промышленность, 1979. –228 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОВОЛН ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СУШЕНОЙ ВИШНИ В РЕСПУБЛИКЕ МОЛДОВА

Лупашко А. С., Дикусар Г. К., Мошану А. А. *(Т У М, Кишинёв, Молдова)*

There was made an analysis for production dynamics of dried cherry in the conditions of the Republic of Moldova. According to the given results, there was proposed a scheme of an industrial drying machine using a combined method of heat deflection (convection + microwaves) and a technological line of dried cherry production.

Национальная экономика Республики Молдова находится в состоянии перехода к рыночной экономике, которая базируется на новых технологиях, обеспечивающих высокое качество готового продукта, создание условий для более полной переработки собранного урожая, уменьшения потерь за счёт автоматизации, механизации и значительной интенсификации процесса, а также снижения энерго-затрат на производство продукции.

Стабильное развитие индустрии Республики Молдова зависит от развития отраслей агропромышленного комплекса, занимающих значительный объём в экономике страны.

Большое значение в этой отрасли имеет индустрия переработки фруктов, включая фрукты вишни.

Плантации садов семечковых и косточковых занимают около 115 тыс. га, что составляет 3,2 % от вспаханных площадей [7].

На рис.1 представлена диаграмма распределения площадей косточковых плодов по всем категориям хозяйств.

В 2002 году общий урожай вишни в РМ составлял 14,2 тыс. т, достигнув уровня 1998 года – 14,3 тыс. т [2].

Рис.1. Диаграмма распределения площадей

косточковых плодов по всем категориям хозяйств

Снижение производства вишни в 1999 – 2000 годах было вызвано экономическим кризисом, через который проходила страна, связанный, в первую очередь с инфляцией (примерно 40 %) и возросшей ценой на энергоносители (до 45 %) [4]. В меньшей степени снижение урожая было связано с вырубанием садов, уменьшением посадок и неблагоприятными климатическими условиями.

Эффективность деятельности сельского хозяйства находится в обратнопропорциональной зависимости от продолжительности переработки сырья и расхода энергоресурсов.

Часть фруктов с косточкой и без перерабатывают в сухофрукты, которые являются полуфабрикатами для производства компотов, наполнителей для кондитерских изделий, соусов, порошков для мороженого, порошковых концентратов соков, порошков для пудингов и детского питания.

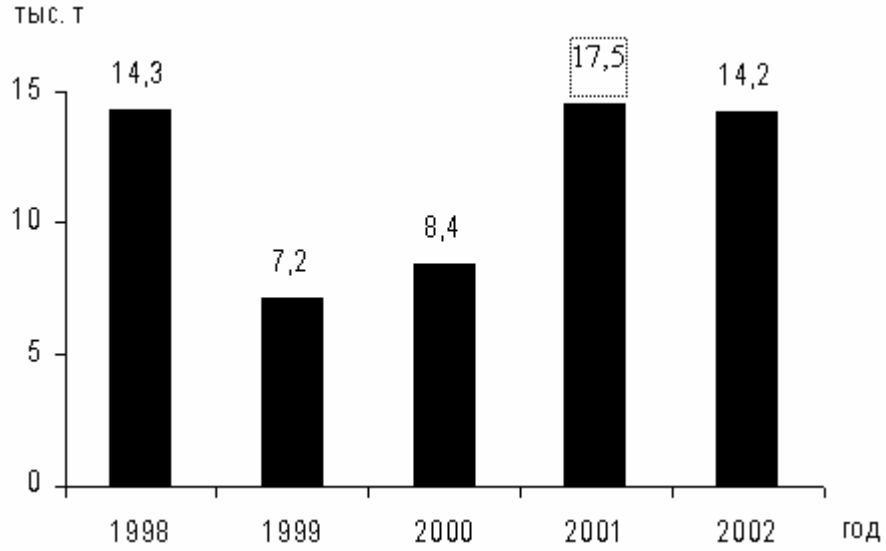


Рис. 2. Динамика урожая вишни по всем категориям хозяйств РМ

В настоящее время сушка фруктов осуществляется в основном конвективным методом, который имеет ряд существенных недостатков, а именно: большая продолжительность процесса, высокое потребление энергоресурсов, использование больших производственных площадей, неоднородное прогревание, вследствие нестабильности внешних факторов и недостаточно высокое качество конечного продукта.

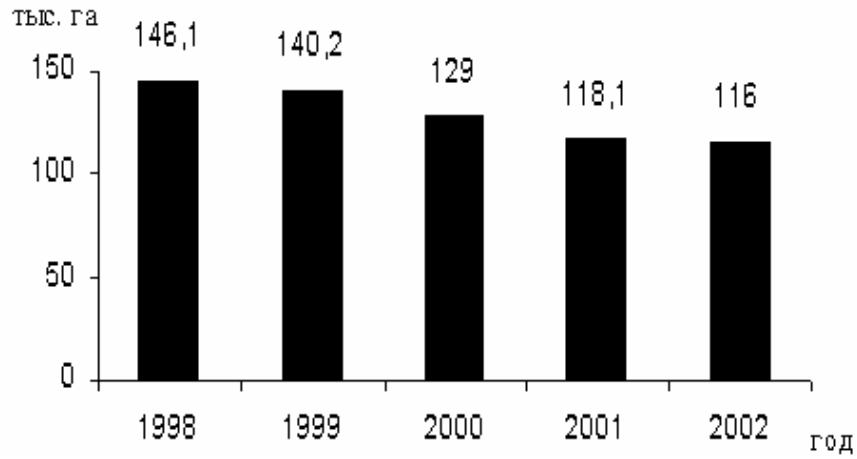


Рис. 3. Снижение площадей вишнёвых садов в РМ

Согласно статистическим данным в 2002 году в Республике Молдова было произведено 0,3 тыс. т сухофруктов [3], в то время как в США 160 – 180 тыс т слив и абрикос, 60 тыс. т сушеных яблок (Калифорния) и 40 – 60 тыс т сушеных абрикос в Турции.

Дальнейшее развитие производства сухофруктов, повышение требований к качеству продукции и совершенствование технологий переработки требует разработки новых методов сушки, которые обеспечивают высокое качество конечного продукта, снижение потребления энергоресурсов, автоматизацию, механизацию и интенсификацию процесса сушки.

Был предложен и запатентован способ сушки вишни с косточкой и без с использованием комбинированного (конвективно-микроволнового) подвода теплоты [5,6]. Были проведены экспериментальные исследования процесса сушки вишни сорта Шпанка на лабораторной установке, позволяющей изменять температуру сушильного агента (воздуха) в пределах 60 – 100 °С, мощность магнетрона от 25 – 100 % и режим осцилляции микроволн $\tau' = 0,2; 0,6; 1,0; 1,4; 1,8; 2,4$.

Осциляция τ' представляет собой отношение времени воздействия токов СВЧ к времени чисто конвективной сушки. При использовании данного способа продолжительность сушки вишни сокращается с 1365 мин при конвективном методе до 180 мин, а потери содержания витамина С сократились с 91 % до 58 %.

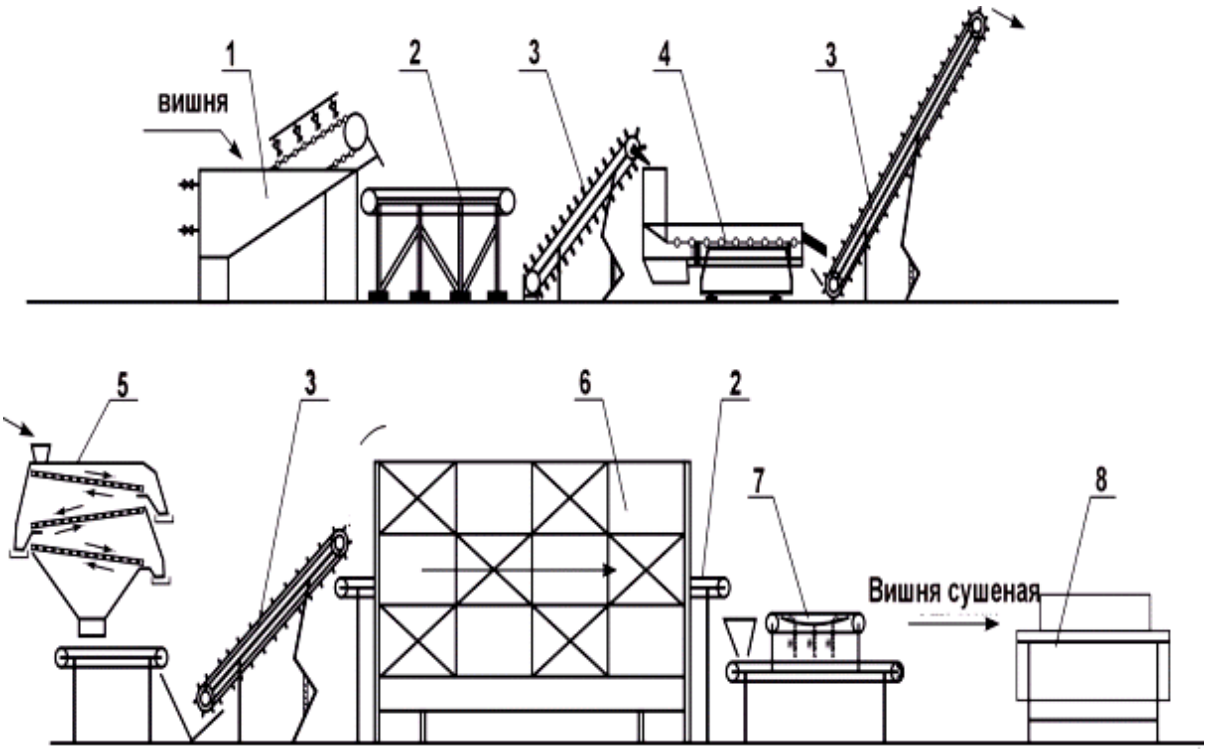


Рис. 4. Линия для сушки вишни комбинированным способом с использованием СВЧ: 1 – моечная машина; 2 – инспекционный транспортёр; 3 – устройство для перемещения продукта; 4 – машина для отрыва плодоножек; 5 – калиброватель; 6 – сушилкп с применением СВЧ; 7 – машина для извлечения косточек; 8 – фасовочная машина.

На основе зкспериментальных исследований была предложена схема промышленной линии по переработке вишни, включающая ленточную конвективно-микроволновую сушильную установку. Собранная вишня поступает на моечную машину 1, где плоды подвергаются мойке в мягком режиме. Вымытые вишни подаются на инспекционный транспортер 2. Линейная скорость ленты ничтожно мала и оператор успевает отбраковывать плоды незрелые, порченные, пораженные вредителями и деформированные.

Проинспектированные плоды посредством транспортера 3 подаются на черенкоотрывочную машину 4. Таким образом, плоды очищенные от черенков посредством скребкового транспортера 3 подаются на калибровочную машину 5 для получения вишни различных фракций. Полученные вишни требуемых размеров отправляются в микроволновую сушилку 6, где вишни сушатся. Процесс сушки вишни осуществляется до конечной влажности 19 %, в соответствии с ГОСТом. При необходимости получения вишни без косточки, сушеная вишня с влажностью 33 % направляется в косточковыбивную машину 7. Полученные таким образом сушеные вишни без косточек, могут сложить как полуфабрикатом, так и готовой продукцией. Если сушеная вишня отправляется на хранение, то её следует подсушить до конечной влажности.

Рассчитанный годовой экономический эффект при использовании предложенной сушильной установки составляет около 50000 у.е.

Список литературы: 1. Мошану А. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса сушки вишни с применением микроволн. Диссертация на соискание

ученой степени доктора технических наук, Технический Университет Молдовы, Кишинев, 2005. www.csa.md. **2.** Agricultura Republicii Moldovei. Departament statistică şi sociologie al Republicii Moldova.-Statistica Moldovei, 2003. **3.** Anuarul statistic. Departamentul de statistică din Republica Moldova, 2004. **4.** Basarabia la răscruce. http://www.intelnet.8m.net/custom.html. **5.** Dicusar G., Lupaşco A., A.Moşanu ş.a. Procedeu de uscare a vişinelor. Brevet de invenţie № 2596 Int. Cl A 23 B 7/005, 7/01. **6.** Dicusar G., Lupaşco A., A.Moşanu ş.a. Procedeu de uscare a vişinelor. Brevet de invenţie № 2656 Int. Cl A 23 B 7/005, 7/01. **7.** Râmbu N., Mâtcu M., Secara V. Geografia R.S.S.M. - Chişinău: Lumina, 1989. -98p.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ КОМПЛЕКТОВ

Лышов Д.В., Струк В.А., Радевич А.М., Горбацевич Г.Н., Кравченко В.И.
(*УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», ОАО «ГродноАзот, Беларусь*)

The methodology of reception of composite materials for manufacturing hermetics complete sets the lock armatures of raised reliability is considered.

Введение. Для обеспечения надежной герметизации подвижных и неподвижных сопряжений в течение заданного технического ресурса используют уплотнения из различных материалов: резины, органических волокон природного и искусственного происхождения (льна, хлопка, конопли, полиамида, политетрафторэтилена и т.п.), асбестовые материалы, углеграфитовые материалы и т. п. [1] Такие материалы, объединенные термином «герметизаторы», распространены в современной технике [2]. Опыт эксплуатации герметизаторов различного типа свидетельствует о существенном влиянии на ресурс устройства не только состава материала, но и конструкции уплотнительного элемента. Типовыми конструкциями уплотнительных элементов являются прокладки, манжеты различного профиля, сальниковые набивки и шнуры круглого и квадратного сечения [5]. Для изготовления уплотнений используют специальные набивки и шнуры. Существенным недостатком традиционных герметизаторов является относительно низкая стойкость к воздействию термоокислительных сред и агрессивных жидкостей. Для обеспечения технического ресурса герметизирующих устройств, применяемых на предприятиях химической промышленности и теплоэнергетики, эксплуатируемых при повышенных температурах, давлениях и воздействии агрессивных сред, широко применяют герметизаторы из фторопласта и углеродных материалов. Однако стоимость таких материалов высока и не позволяет их использовать в промышленных масштабах [1]. Кроме того, для изготовления герметизирующих изделий из материалов подобного строения требуется специальное технологическое оборудование, например, вязальные автоматы типа «August Gerzog» стоимостью от 100 тыс. дол. США.

Широкое распространение в технике получили комплекты для сальниковых уплотнений, выпускаемые по ТУ 5728-009-13267785-99 в Российской Федерации концерном «Унихимтек» [5]. Комплекты уплотнений представляют собой наборы из 6-ти или 4-х колец, выполненных из различных герметизирующих материалов. При этом внутренние кольца (2, 4 или более) изготавливают из композиционного материала на основе термически расщепленного графита «Графлекс», а наружные – из углеродных плетеных уплотнительных набивок (рис. 1).

Такая конструкция уплотнения позволяет обеспечивать герметизацию подвижных и неподвижных соединений паро-, водяной запорной арматуры высокого давления тепловых станций.

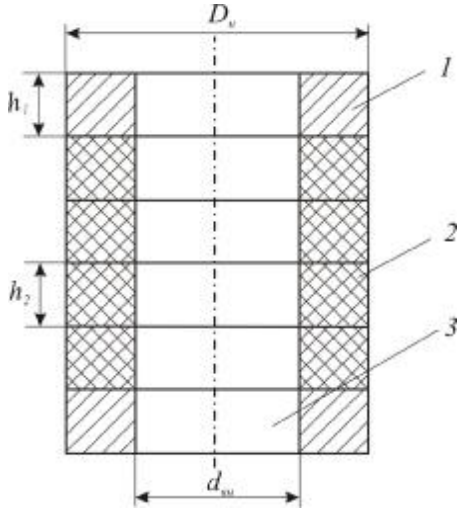


Рис. 1. Уплотнительный комплект по ТУ 5728-009-13267785-99 [5]: 1 – наружное кольцо из плетеных уплотнительных набивок; 2 – внутреннее кольцо их термически расщепленного графита ТРГ; 3 – шток

Существенным недостатком подобного сальникового уплотнения является высокая стоимость, обусловленная наличием в составе комплекта наружных колец из плетеных уплотнительных набивок из углеграфитового волокна, а также их недостаточная герметичность, обусловленная пористой структурой набивки.

Кроме того, для получения основных элементов комплекта используют термически расщепленный графит (ТРГ), который имеет сложную и экологически опасную технологию получения, включающую операции окисления полуфабриката в сильном окислителе, промывки окислителя, нейтрализации остатков окислителя, термической обработки (расщепления) и прессования.

Задача настоящего исследования состояла в повышении технических характеристик герметизирующих комплектов сальниковых уплотнений при снижении их стоимости и увеличении технологичности.

Результаты и обсуждение. Поставленная задача решается применением в конструкции герметизирующего комплекта внутренних колец из гидрофобизированного графита, а наружных – из политетрафторэтилена или композиционного материала на его основе, причем последние могут быть получены из порошкообразных компонентов холодным прессованием. Конструкция герметизирующего комплекта сальниковых уплотнений согласно изобретению приведена на рис. 2 (*а*-*е*).

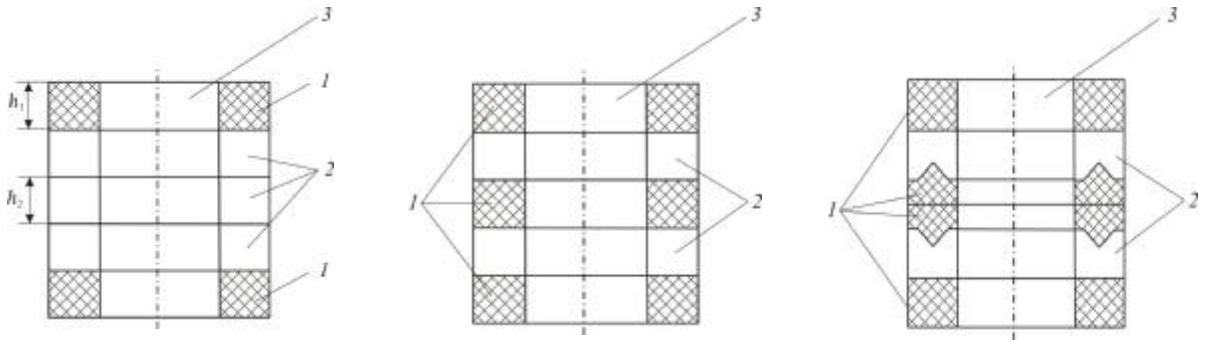
При использовании колец из политетрафторэтилена (ПТФЭ) или композиции на его основе в составе комплекта обеспечивается высокая степень уплотнения за счет разницы в показателях прочности, деформативности и износостойкости графита и фторопласта. Поэтому при затяжке грундбуксы кольца из ПТФЭ передают усилия на кольца из графита, вызывая их деформирование и заполнение объема камеры. При вращении штока 3 кольца из ПТФЭ предотвращают износ уплотнительных колец из графита и препятствуют уносу частиц графита из сопряжения. Наружные кольца из плетеной набивки, согласно [5], таким качеством не обладают из-за сравнимых показателей прочности с кольцами из графита.

В разработанной конструкции кольца из фторопласта 1 могут чередоваться с кольцами из графита (рис. 2 *б, в*), что обеспечивает дополнительное увеличение износостойкости уплотнительного комплекта. Кроме того, кольца из фторопласта могут иметь выступ на контактной поверхности (рис. 2 *е, г, д*), что приводит к дополнительному уплотнению границы раздела при затягивании грундбуксы.

Выступ на кольце имеет форму конуса, расположенного по диаметру, с высотой 0,1÷0,5 h_2, где h_1 – толщина кольца. Конусообразный выступ получают при прессовании кольца в металлической оснастке соответствующей конфигурации.

Выступ на фторопластовом кольце внедряется в сопряженное графитовое кольцо, вызывая его деформирование и формирование плотного сопряжения непосредственно в процессе установки комплекта в рабочую камеру запорной арматуры. Важной особенностью разработанной конструкции является изготовление колец 1 из частиц фторопласта (или композита на его основе) методом холодного прессования при давлениях, превышающих предел текучести. В этом случае формируется кольцо с достаточной для осуществления монтажа прочностью, существенно превышающей прочность графитовых колец.

Такие кольца также будут увеличивать герметичность и износостойкость комплекта при температурах эксплуатации до 300 °С, а при превышении этой температуры будет происходить спекание частиц фторопласта и образование монолитной структуры материала непосредственно в процессе эксплуатации уплотнительного комплекта. Применение в конструкции колец из гидрофобизированного графита вместо колец из ТРГ также обуславливает дополнительные преимущества разработанной конструкции по сравнению с известными решениями. Гидрофобизированный графит получают смешиванием графита с 1–3 мас.% гидрофобной добавки – парафинов природного или синтетического происхождения. Гидрофобизированный графит обладает более высокой стойкостью к воздействию перегретого пара и водных растворов агрессивных жидкостей (кислот, щелочей, солей) по сравнению с термически расщепленным графитом. Кроме того, он не оказывает коррозионного действия на сопряженные металлические поверхности, т.к. не содержит адсорбированных остатков окислителя и активных, т. н. «кислотных центров», которые свойственны ТРГ. Использование при получении гидрофобизированного графита в качестве функционального компонента фторсодержащих олигомеров типа «Фолеокс», «Эпилам» и др. с молекулярной массой до 5 000 ед. позволяет придать кольцам из такого графита ингибирующее и противоизносное действие на сопряженное контртело. Фторсодержащие олигомеры «Фолеокс» и «Эпилам» выпускаются опытными производствами «Научно-исследовательского института синтетического каучука им. Лебедева» и «Научно-исследовательского института прикладной химии».



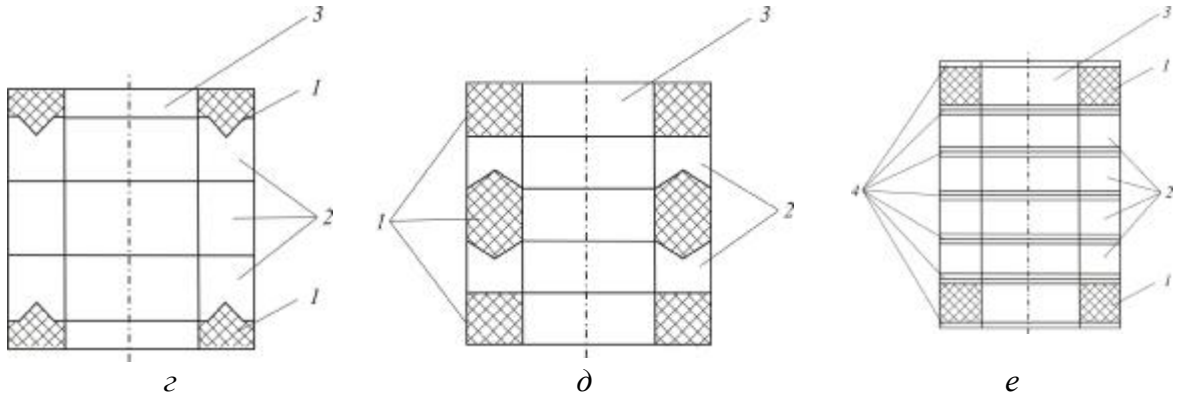


Рис. 2. Конструкция герметизирующих комплектов сальниковых уплотнений (ее варианты): 1 – кольцо из ПТФЭ или композиционного материала на его основе; 2 – кольцо из гидрофобизированного графита; 3 – шток; 4 – слой из фторсодержащего олигомера

Важным отличием разработанного технического решения является наличие на кольцах, входящих в состав комплекта, тонкого слоя (1-5 мкм), формируемого из фторсодержащего олигомера (рис. 2 е). Такой слой получают окунанием готовых колец в раствор олигомера. Наличие подобного слоя обеспечивает более прочное адгезионное взаимодействие на границе раздела колец и увеличивает их механическую прочность при монтаже. Кроме того, олигомер увеличивает устойчивость поверхностного слоя уплотнительных элементов к воздействию водных сред и повышенных температур.

Для формирования уплотнительного комплекта возможно применение, как сплошных, так и разрезных колец, что обеспечивает возможность ремонта запорной арматуры без разборки и остановки технологического процесса на длительное время. Соотношения геометрических размеров колец, прежде всего, толщины, выбираются в зависимости от конструкции уплотнительной камеры и условий эксплуатации. Традиционным соотношением толщин h_1 и h_2 является 1:1÷0,1÷1. В некоторых конструкциях возможно использование разнотолщинных колец. При этом соотношение толщин внешнего кольца h_1 и внутреннего h_2 должно находиться в переделах 0,75:1÷0,1÷1,0. Количество колец в комплекте подбирается, исходя из условий эксплуатации и конструкции запорной арматуры, однако, в любом случае наружные кольца комплекта выполняются из ПТФЭ или композиции на его основе.

Для изготовления наружного кольца могут быть использованы композиционные материалы на основе ПТФЭ типа «Флубон», «Флувис». Кроме того, могут быть использованы отходы в виде стружки, которые образуются при механической обработке заготовок точением. Прессование отходов в форме заданного профиля позволяет получить наружное или промежуточное кольцо 1 заданных размеров и прочности.

Для снижения стоимости материалов, применяемых для изготовления наружных колец уплотнительного комплекта, разработаны композиционные материалы на основе политетрафторэтилена, содержащие в качестве модификатора комплексного действия высокодисперсные частицы геосиликатов, полимерных термопластичных материалов, металлов [6-8]. Разработанные композиты обладают повышенной износостойкостью вследствие армирующего действия низкоразмерных частиц силикатов, обладающих нескомпенсированным электрических зарядом, или формированием пространственной структуры типа «сетка в сетке». Доступность использованных модификаторов и про-

стота технологии их получения обусловили снижение стоимостных показателей разработанных материалов по сравнению с углеродсодержащими типа «Флувис» и «Флубон».

Сравнительные характеристики уплотнительных комплектов различных конструкций приведены в табл. Как следует из представленных данных, разработанная конструкция герметизирующего комплекта для сальниковых уплотнений обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с известными техническими решениями.

Уплотнительные комплекты использованы в запорной арматуре, применяемой на теплоцентралях, и показали высокую эксплуатационную надежность.

Заключение. Разработана конструкция герметизирующих комплектов сальниковых уплотнений из композиционных материалов на основе модифицированного графита и политетрафторэтилена. Конструкция уплотнения и составы композиционных материалов защищены патентами РФ на изобретение [6-8].

Уплотнительные комплекты рекомендуются для запорной арматуры повышенной надежности, применяемой на предприятиях теплоэнергетики и химической промышленности, эксплуатируемой при рабочих давлениях до 50 МПа и температурах среды до 500 ^{o}C.

Таблица 1. Характеристики герметизирующих комплектов для сальниковых уплотнений

Характеристика	**Показатель для уплотнительного комплекта**	
	Уплотнение УНИХИМТЕК	**Предлагаемая конструкция**
1. Термостойкость внутренних элементов, ^{o}C	до 550 – пар до 500 – воздух	550 550
2. Наличие колец из плетеной набивки	2 кольца	нет
3. Ресурс эксплуатации комплекта без дополнительного обслуживания, час., не менее	10 000	20 000
4. Давление рабочей среды, МПа	не более 38	не более 50
5. Технология изготовления крайних колец	плетение на специальной установке	прессование
6. Стоимость материала крайних колец	75-80 дол. США за 1 кг	7-15 дол. США за 1 кг
7. Герметизируемые среды	водяной пар, газы, нефтепродукты, водные растворы солей, кислот, щелочей	водяной пар, газы, нефтепродукты, водные растворы солей, кислот, щелочей
8. Технологический цикл изготовления внутренних колец	окисление графита, нейтрализация, термообработка (расщепление), дозирование, прессование	смешивание компонентов, прессование
9. Материал для внутренних колец комплекта	термически расщепленный графит (ТРГ)	гидрофобизированный графит

10. Возможность повторного использования регенерированного комплекта	необходим повторный цикл регенерации: измельчение, окисление, расщепление, прессование. Наружные кольца повторно не используются	измельчение и холодное прессование. Наружные кольца повторно используются

Список литературы: 1. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник. /Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.В. Гордеев и др. Под общ. Ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова – Изд. 2-ое, перераб и дополн. М.: Машиностроение, 1994. – 448 с. **2.** Сиренко Г.А. Антифрикционные карбопластики. Киев: Техника, 1985. – 196 с. **3.** Пинчук Л.С. Герметология. Мн.: Навука і тэхніка, 1992. – 215с. **4.** Графит как высокотемпературный материал. Сб. статей, пер. с англ. Под ред. К.П. Власова, М.: Мир, 1964. – 423 с. **5.** Высоконадежные сальниковые кольца серии «Графлекс». Проспект фирмы «Унихимтек». М. 2003. **6.** Состав для получения композиционного герметизирующего материала. Патент РФ на изобретение № 2269550, 2006. **7.** Способ получения низкоразмерных наполнителей из природных слоистых минералов для полимерных материалов. Патент РФ на изобретение № 2269554, 2006. **8.** Композиционный термостойкий триботехнический материал. Патент РФ на изобретение № 2268273, 2006.

Именной указатель

А

Аблясова А.Г., 41
Авдейчик С.В., 272, 277
Алимов М.А., 28
Антипенко Е.И., 169

Б

Багаутдинова А.А., 41
Баля В. М., 301, 304
Беляковский В.П., 169
Булатова М.Н., 218
Буряк В.Ю., 7

В

Варфоломеев А.А., 223, 231
Варфоломиев А.А., 227
Витренко А.В., 67
Воронцов С.А., 43
Воронцов С.Б., 67

Г

Галимов Э.Р., 41, 43
Галяткин С.П., 117
Гладиш П.В., 179
Голембиевская Т.Н., 61
Гоман А.М., 85
Горбацевич Г.Н., 309

Д

Данилова В.А., 3
Дарковский Ю.В., 7
Девойно О.Г., 108, 113
Девятов В. В., 11
Демьянцева Л.А., 14
Дикусар А.И., 21
Дикусар Г. К., 17, 306
Добровольский Г.И., 7
Долгов О.М., 235
Дубровська Г.М., 25
Дудко В.Т., 132, 272
Думанский А.М., 28
Дьомін В.П., 158
Дьяченко О.В., 104

Е

Ерохин В.В., 32, 72

Ж

Жорник В.И., 36
Жуков В.Р., 158

З

Звягинцева А.В., 46, 51
Зверев Э.В., 41, 43
Зеббар Абделкадэр, 54
Зеббар Джаллел, 54
Зинкевич А.И., 41

И

Иванов В.И., 169
Иванов И.А., 58
Ивахник А.В., 36
Ивченко Т.Г., 61, 64
Игнатенко О.Г., 67
Ильицкий В.Б., 72
Ильницкая Г.Д., 75

К

Казаку О.М., 17, 301, 304
Калински В., 81
Калюжна Т.М., 235
Камко А.И., 85
Кантин В.Г., 93
Каплун В.Г., 98
Каплун П.В., 98
Каплюхин А.А., 267
Кардаполова М.А., 104, 108, 113
Карзов Г.П., 117
Кармажи Х.Т.Е., 58
Карпусь В. Е., 120
Кашицин Л.П., 124
Кипнис М.Е., 132
Киселев Е.С., 139, 146
Киселев М.Г., 154
Кисіль В.В., 158
Кисіль О.В., 158
Клецко В.В., 272
Кликушин Ю.Н., 163
Клименко С.Е., 124
Клышко А.Н., 167
Клюева Е.В., 169
Клягин Г.С., 172
Коваленко В.І., 158

Ковальногов В.Н., 139
Коломиец В.В., 223, 231
Комаров А.И., 175
Кондир А.І., 179
Копп В.Я., 184
Костюкович Г.А., 132, 277
Кошеков К.Т., 163
Кошкин К.В., 188, 193
Кравец С.Б., 197
Кравченко В.И., 272, 277, 309
Кравченко П.Д., 201, 207
Красиков В.Л., 93
Красота М.В., 289
Кретинин К.М., 210
Кривошеев В.А., 213
Крюков В.А., 218
Кузнецов Б.И., 223, 227, 231
Кузнецов Г.В., 235
Кузнецов Ю.Н., 238
Кузнецова А.В., 64
Кузнецова Л.Г., 223, 231
Кулижський В.М., 289
Купченко В.Г., 247
Купченко Г.В., 247
Курбанов Х.К., 250

Л

Лабуда Э., 11
Лаздынь С.В., 254
Ларина Н.Е., 14
Лахин А.М., 258
Лебедев В.Я., 262
Леванцевич М.А., 85
Левченко Г.Г., 267
Летучев С.А., 218
Лиопо В.А., 272, 277
Лопата В.М., 289
Лопата Л.А., 289
Лось И.П., 297
Лупашко А.С., 17, 301, 304, 306
Лупу О. Ф., 17
Лутай С.Н., 227
Лышов Д.В., 309
Лямзин В.А., 28

М

Майонов А.В., 247
Маслюков В.А., 7
Маттис А.В., 146
Миненко Д. А., 120
Минин А.А., 297
Миронов А.М., 262
Михайлов А.Н., 258
Михалева Э.И., 117
Михалчык Я., 11
Мороз О.К., 3
Морозовская И.А., 117
Мошану А. А., 306
Мухина О.С., 67

Н

Невструев Г.Ф., 75
Нетреба Н. Н., 17
Никитина Т.Б., 223, 227, 231

О

Овчинников Е.В., 132
Осауленко І.А., 25

П

Паздрій І.П., 179
Паршенко К.А., 98
Патеюк А., 36
Петренко В. И., 21
Пиллих В., 81
Поко О.А., 247
Польченко В.В., 64
Потеряхин В.Б., 167

Р

Радевич А.М., 309
Романишин Б.М., 179
Романчук Н.П., 188
Рудина И.А., 61
Рушика И.Л., 21

С

Свиць А., 167
Секирин А.И., 254

Серга Г.В., 210
Сергеев Л.Е., 262
Смирнов А.И., 267
Соколов А.Н., 75
Сосновский И.А., 124
Степаненко Д.А., 154
Степчева З.В., 146
Струк В.А., 277, 309
Стурза Р.А., 304
Султан С.А.И., 58
Суханова Е. В., 113

Т

Тараненко В., 167
Тарлев В.П., 301, 304
Тиньков О.В., 21
Тукбаев Э.Е., 41, 43

Ф

Фельдштейн Е.Э., 104

Х

Худолей А.Л., 124

Ц

Цынцару Н.И., 21

Ч

Чернов С.К., 193
Чмеренко А.Н., 93
Чуб О.П., 184

Ш

Шурло О.В., 227

Я

Яблоновский И.М., 207
Яни А.Ю., 188
Яцкевич О.К., 108

СОДЕРЖАНИЕ

Данилова В.А., Мороз О.К.
ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ……..…..3

Дарковский Ю.В., Буряк В.Ю., Добровольский Г.И., Маслюков В.А.
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАУКИ И ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ……..7

Девятов В. В., Михалчык Я., Лабуда Э.
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАЗДАЧИ ТРУБЫ…….....11

Демьянцева Л.А., Ларина Н.Е.
ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО ВНЕДРЕНИЮ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ УРОВНЯ I АККРЕДИТАЦИИ……...…14

Дикусар Г.К., Лупашко А.С., Лупу О.Ф., Нетреба Н.Н., Казаку О.
О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СУШКИ БЕССЕМЯННЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА……..…..17

Дикусар А.И., Петренко В.И., Рушика И.Л., Тиньков О.В., Цынцару Н.И.
РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИИ СПЛАВОВ Co – W……..21

Дубровська Г.М., Осауленко І.А.
НАУКОВО – МЕТОДИЧНИЙ ДОСВІД ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ “СИСТЕМИ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ”……..25

Думанский А.М., Алимов М.А., Лямзин В.А.
РЕОЛОГИЯ И ДЛИТЕЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ…….……28

Ерохин В.В.
РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ СТАНОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ……..…32

Жорник В.И., Ивахник А.В., Патеюк А.
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМИ АЛМАЗОГРАФИТОВЫМИ ДОБАВКАМИ……...……36

Зверев Э.В., Тукбаев Э.Е., Галимов Э.Р., Багаутдинова А.А.,
Аблясова А.Г., Зинкевич А.И.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ СВЕТООТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ……41

Зверев Э.В., Воронцов С.А., Тукбаев Э.Е., Галимов Э.Р.
ПОЛИМЕРНЫЕ ПОРОШКОВЫЕ ПОКРЫТИЯ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ……..43
Звягинцева А. В.
ХРОМИРОВАНИЕ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ
ПОКРЫТИЯ Ni – B…….46

Звягинцева А.В.
НОВОДОРОЖИВАНИЕ СТАЛЬНОЙ ОСНОВЫ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ СНИ-
ЖЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ……...…51

Зеббар Джаллел, Зеббар Абделкадэр
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООТВОДА ОТ ГАЗА К СТЕНКАМ
ЦИЛИНДРА ЧЕРЕЗ ПОРШЕНЬ И ПОРШНЕВЫЕ КОЛЬЦА ДИЗЕЛЯ…….……...54

Иванов И.А., Султан С.А.И., Кармажи Х.Т.Е.
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЕН-
НЫХ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫ
УСТРОЙСТВ…….….58

Ивченко Т.Г., Голембиевская Т.Н., Рудина И.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ
В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕ-
НА……61

Ивченко Т.Г., Польченко В.В., Кузнецова А.В.
РЕГЛАМЕНТАЦИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАНОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ И ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ……..64

Игнатенко О.Г., Витренко А.В., Мухина О.С., Воронцов С.Б.
ЗУБОТОЧЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С
ЭВОЛЬВЕНТНЫМ ПРОФИ-
ЛЕМ…….67

Ильицкий В.Б., Ерохин В.В.
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК……..72

Ильницкая Г.Д., Невструев Г.Ф., Соколов А.Н.
ШЛИФПОРОШКИ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА
РАЗЛИЧНОЙ ПРОЧНО-
СТИ…….……75

Калински В., Пиллих В.
**СВЯЗАННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ МАЧ-
ТЫ…….....81**

Камко А.И., Гоман А.М., Леванцевич М.А.
МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С УЧЕТОМ КОПИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ПОЧВЫ…….85

Кантин В.Г., Чмеренко А.Н., Красиков В.Л.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В Co-Cr-Mo СПЛАВЕ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ…….93

Каплун В.Г., Каплун П.В., Паршенко К.А.
ВПЛИВ МЕТАСТАБІЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ЗАЛИШКОВОГО АУСТЕНІТУ НА КОНТАКТНУ ВИТРИВАЛІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ СТАЛІ ПРИ ДІЇ ЦИКЛІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ……..98

Кардаполова М.А., Дьяченко О.В., Фельдштейн Е.Э.
ОПТИМИЗАЦИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЙ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ……..….104

Кардаполова М.А., Девойно О.Г., Яцкевич О.К.
ПОВЫШЕНИЕ КОМПЛЕКСА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ЛЕГИРОВАНИЕМ МОЛИБДЕНОМ……...……108

Кардаполова М.А., Девойно О.Г., Суханова Е. В.
ФОРМИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ БОРИДАМИ……...…113

Карзов Г.П., Галяткин С.П., Михалева Э.И., Морозовская И.А.
ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАПЛАВКИ АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ КОРПУСОВ РЕАКТОРОВ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВОДНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ……117

Карпусь В.Е., Миненко Д.А.
ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ……120

Кашицин Л.П., Сосновский И.А., Худолей А.Л., Клименко С.Е.
ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ……124

Кипнис М.Е., Костюкович Г.А., Дудко В.Т., Овчинников Е.В.,
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ОПОРЫ КАРДАННОЙ ПЕРЕДАЧИ……..132

Киселев Е.С., Ковальногов В.Н.
ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗАГОТОВКИ, ФОРМИРУЕМОГО ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА……...…139

Киселев Е.С., Степчева З.В., Маттис А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СИГНАЛА ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ……...….146

Киселев М.Г., Степаненко Д.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩЕНИЯ…….154

Кисіль В.В., Жуков В.Р., Дьомін В.П., Кисіль О.В., Коваленко В.І.
МЕТАЛУРГІЯ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.....158

Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т.
АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ……163

Клышко А.Н. , Потеряхин В.Б. , Тараненко В., Свиць А.
МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЧПУ НЦ-31М…….167

Клюева Е.В., Беляковский В.П., Иванов В.И., Антипенко Е.И.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДГОТОВКЕ НЖЕНЕРОВ….169

Клягин Г.С.
ПРЕПОДАВАТЬ НА ФРАНЦУЗСКОМ ЯЗЫКЕ? ЭТО НЕ ТАК ПРОСТО…...…172

Комаров А.И.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННЫХ ПРОЧНОСТНЫХ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОКСИДНЫХ МИКРОПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ……175

Кондир А.І., Паздрій І.П., Романишин Б.М., Гладиш П.В.
КІНЕТИКА НАКОПИЧЕННЯ МІКРОПОР У СТАЛІ 15ХМ ПІД ЧАС ПОВЗУЧОСТІ……...…179

Копп В.Я., Чуб О.П.
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ……184

Кошкин К.В., Романчук Н.П., Яни А.Ю.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ……...……188

Кошкин К.В., Чернов С.К.
РЕФОРМИРОВАНИЕ ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ЧЕРЕЗ РЕОРГАНИЗАЦИЮ НАУКОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ…….193

Кравец С.Б.
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ АЭС С ПОЗИЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ……..197

Кравченко П.Д.
НЕОБХОДИМОСТЬ НОВЫХ ПОДХОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ……...201

Кравченко П.Д., Яблоновский И.М.
СРАВНЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ МАШИН ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ С ЖЕСТКИМ И ГИБКИМ ПОДВЕСОМ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА…….207

Кретинин К.М., Серга Г.В.
РАЗРАБОТКА НЕТРАДИЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРЕССИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЕПАРАЦИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ……210

Кривошеев В.А.
СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО САМОСОЗНАНИЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ…….213

Крюков В.А., Булатова М.Н., Летучев С.А.
ДИНАМИКА ЧЕРВЯЧНОГО ПРИВОДА АВТОМАТИЧЕСКИХ РОТОРНЫХ ЛИНИЙ В РЕЖИМЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ……..218

Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В., Кузнецова Л.Г., Варфоломеев А.А.
НЕЛИНЕЙНОЕ РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЛАВНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ БЛЮМИНГА В РЕЖИМЕ ПРОБУКСОВКИ ВАЛКОВ……...…223

Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Лутай С.Н., Шурло О.В., Варфоломиев А.А.
СИНТЕЗ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБМОТОЧНОЙ МАШИНОЙ……..227

Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В., Кузнецова Л.Г., Варфоломеев А.А.
РОБАСТНОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ В НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ……231

Кузнецов Г.В., Долгов О.М., Калюжна Т.М.
ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ СУЧАСНОЇ ОСВІТИ.....235

Кузнецов Ю.Н.

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ СТАНКОВ, МЕХАНИЗМОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ……..…...238

Купченко Г.В., Майонов А.В., Поко О.А., Купченко В.Г.
ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕРАБОТКИ СОДЕРЖАЩЕГО ДРАГМЕТАЛЛЫ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ……...247

Курбанов Х.К.
РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЖДУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИМ РОСТОМ…….….250

Лаздынь С.В., Секирин А.И.
СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ УЧАСТКАМИ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА……...……..254

Лахин А.М., Михайлов А.Н.
ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ……...…258

Лебедев В.Я., Миронов А.М., Сергеев Л.Е.
МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС…….262

Левченко Г.Г., Каплюхин А.А., Смирнов А.И.
ФЕНОМЕН, ПОНЯТИЕ И ПРОБЛЕМАТИКА «МЕТОДА ОБУЧЕНИЯ»…….267

Лиопо В.А., Кравченко В.И., Авдейчик С.В., Клецко В.В., Дудко В.Т.
ОЦЕНКА РАЗМЕРНОГО ФАКТОРА МОДИФИЦИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НАНОНАПОЛНИТЕЛЕЙ В ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ……...……272

Лиопо В.А., Струк В.А., Авдейчик С.В., Костюкович Г.А., Кравченко В.И.
МОДЕЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ТЕРМООБРАБОТКОЙ ГЕОСИЛИКАТОВ……...277

Лопата Л.А, Красота М.В., Лопата В.М., Кулижський В.М.
РІШЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ПРИПІКАННЯ ПОРОШКОВИХ ПОКРИТЬ НА ЦИЛІНДРИЧНІ ДЕТАЛІ…….….289

Лось И.П., Минин А.А.
СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕДЕНИЯ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ НА КРУПНОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ…….....297

Лупашко А.С., Тарлев В.П., Баля В.М., Казаку О.М.

ИСЛЕДОВАНИЕ ДИСКРЕТНО-ИМПУЛЬСНОГО МИКРОВОЛНОГО НАГРЕВА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ ШАМПИНЬОНОВ……...…301

Лупашко А.С., Тарлев В.П., Баля В. М., Стурза Р.А., Казаку О.М.
ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ДИСКРЕТНО – ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА СУШКИ НА СОДЕРЖАНИЯ КАЛИЯ В ШАМПИНЬОНАХ……...……304

Лупашко А.С., Дикусар Г.К., Мошану А.А.
ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОВОЛН ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СУШЕНОЙ ВИШНИ В РЕСПУБЛИКЕ МОЛДОВА……306

Лышов Д.В., Струк В.А., Радевич А.М., Горбацевич Г.Н., Кравченко В.И.
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ КОМПЛЕКТОВ.....….....309

XIII международная
научно-техническая конференция

«МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА»

Сборник трудов

Том 2

ISBN 966-7907-20-1

Компьютерная верстка – Чернышев Е.А.