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 4

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. 4. – 310 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.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СВЕРХЗВУКОВОГО ГЕТЕРОФАЗНОГО ПЕРЕНОСА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСО- И КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Фармаковский Б.В., Васильев А.Ф., Кузнецов П.А. *(ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург, Россия)*

In this work the results of researches on receiving of wear-resistant and corrosion protection coatings from materials with amorphous, nanocrystalline and intermetallide structures by a controlled plasma flow and the method of supersonic cold gas-dynamic spraying (CGDS) are shown. The realization of the specified technological circuits has allowed to increase a wear-resistance of friction pairs in 2,0-2,5 times and to create coverings for machine components proofed to influence of aggressive environments (acid, alkali, oil etc.).

Анализ федеральных программ ведущих зарубежных стран в области новых материалов показывает, что до 80% всех изделий изготавливается с покрытиями различного функционального назначения. Это, во-первых, позволяет существенно сэкономить материалозатраты, и, во-вторых, обеспечивает гибкость производства.

К наиболее перспективным технологиям нанесения покрытия относятся газотермические методы и методы испарительной конденсации. За последнее время существенно возрос интерес к наноструктурированным покрытиям на основе новых материалов, т.н. метаматериалов. Регулируя структуру таких материалов, можно получить для одного и того же стехиометрического состава различный уровень эксплуатационных свойств.

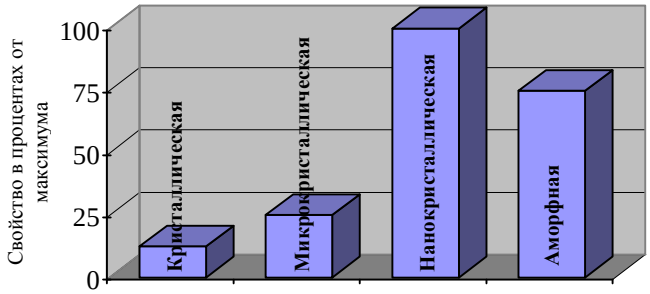


Рис. 1. Влияние структуры на эксплуатационные свойства покрытий.

Поэтому ведущими материаловедами и технологами в настоящее время проводятся интенсивные исследования в области технологий, обеспечивающих получение функциональных покрытий с управляемой структурой. При этом отдается предпочтение технологиям высокоскоростного гетерофазного переноса [1].

В известных газотермических методах напыления порошковых материалов на подложку, обеспечивающих высокую адгезию покрытия, используются высокотемпературные двухфазные потоки. Формирование таких покрытий происходит при взаимодействии с подложкой расплавленных или близких к этому состоянию частиц напыляемого материала. Высокотемпературные газовые потоки получают при помощи дорогих и сравнительно сложных с технической точки зрения устройств, например, плазмотроны, газопламенные горелки, детонационные пушки и т.п. Применение при напылении высокотемпературных, "горячих" потоков приводит к возникновению в обрабатываемом материале значительных

температурных градиентов. Это ухудшает качество покрытий, а в некоторых случаях делает невозможными нанесение покрытий, например, на легкоплавкие подложки, при использовании химически активных материалов и т.д. Определённые сложности вызывает напыление композитов из разнородных материалов вследствие различных кристаллографических особенностей, разности коэффициентов термического расширения, несоответствия температур плавления и т.д. Все перечисленные недостатки значительно снижают качество покрытия и сужают область использования их при решении различных технических задач [2].

Особый интерес вызывает у специалистов поиск альтернативных технологий, направленных на резкое сокращение времени пребывания частицы напыляемого материала в газодинамическом потоке, и снижение температурного поля потока. Наиболее реальным путём при этом являются методы, связанные с существенным повышением скорости при одновременном снижении температур переносимого дисперсного материала.

В России этой проблемой занимались с 1984 г. Были созданы установки для разгона дисперсных частиц. При исследовании обтекания тел сверхзвуковым двухфазным потоком воздух - твердые частицы было обнаружено [2], что при определенных режимах возможно образование прочного слоя металлических частиц на фронтальной поверхности обтекаемого тела. Эксперименты проводились на установке, которая обеспечивала следующие параметры двухфазного потока: давление в форкамере P_0 = 8,5x10^5 Па, температура T_0 = 300 К, число Маха на срезе M = 2,6, скорость воздуха V=550 м/с.

Эффект образования напыленного слоя на фронтальной поверхности наблюдался при обтекании тел потоком газа с частицами алюминия ($D_{чср}$ = 50 мкм). Было высказано предположение, что принципиальную роль в формировании этих покрытий играет большая скорость частиц [2]. Сравнение основных параметров двухфазного потока, при которых был зарегистрирован данный эффект, с параметрами, реализуемыми в газотермических методах напыления, показывает, что они существенно различаются по температурно-скоростным параметрам газовых потоков. Отсутствие высоких температур, характерных для известных газотермических методов напыления, позволяет говорить о том, что в данном случае реализован новый метод нанесения покрытий, который назван методом «холодного» газодинамического напыления (ХГДН). Термин «холодное» введен для того, чтобы подчеркнуть, что температура частиц существенно меньше их температуры плавления, а термин «газодинамическое» указывает на первостепенную роль высокой скорости частиц при формировании данных покрытий.

Установка ХГДН, представленная на рис. 2, состоит из следующих основных узлов: ресивер с рабочим газом, система очистки рабочего газа, камера нагревания, дозаторы, пистолет со специальным нагревателем и соплом Лаваля. Установка малогабаритная и позволяет осуществлять процесс напыления, например, в полевых условиях, что принципиально важно при ремонтно-восстановительных работах.

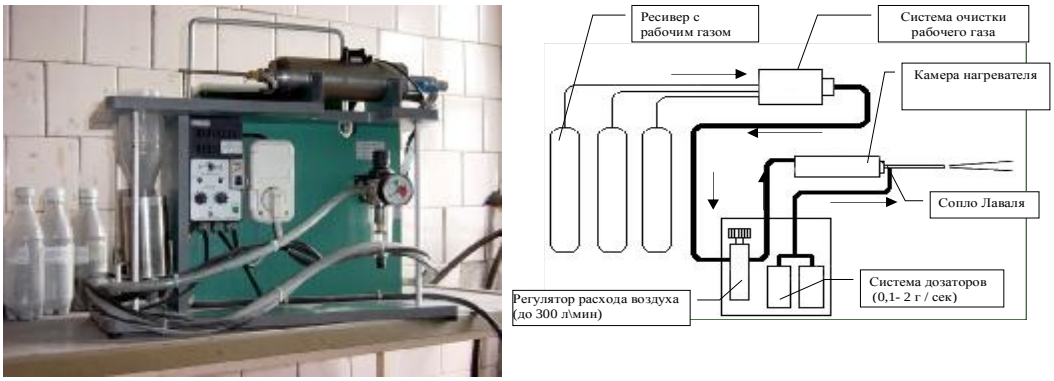


Рис. 2. Фотография установки ХГДН и ее принципиальная схема.

Для оценки температурно-скоростных параметров процесса напыления нами совместно с учеными Санкт-петербургского государственного университета разработан измерительный комплекс, позволяющий определять температуру и скорость гетерофазного потока, и отдельно температуру и скорость дисперсных частиц в этом потоке, общий вид которого представлен на рис. 3а. Измерения показали, что скорость гетерофазного потока в зоне напыления достигает 2-х Махов (рис. 3б). При этом температура напыленных частиц составляет 80-120 ºС и при этих режимах удается получать покрытия толщиной от 5 мкм до 5 мм [4, 5].

а)

б)

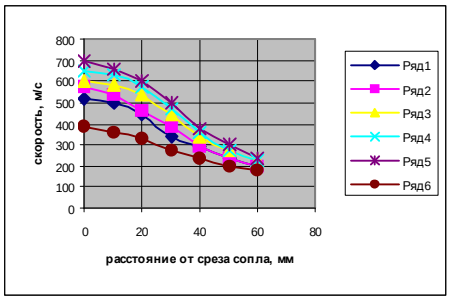


Рис. 3. Общая схема стенда по исследованию характеристик газового потока установки ХГДН. Зависимость скорости потока от расстояния до среза сопла. Цифры 1-5: положение регулятора температуры установки. 6–холодный газ. Давление газа на входе установки 6,0 ата.

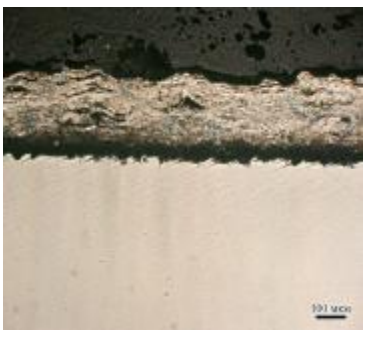


Рис. 4. Поперечные сечения износостойкого покрытия из сплава на основе Al.

Рис. 5. Поперечные сечения покрытия из сплава системы Co-Cr.

Следует особо отметить, что метод имеет широкий спектр применения, и позволяет получать покрытия как из пластичных сплавов, например, на основе Cu, Al, Ti, так и на основе твердых сплавов Co-Cr, представленных на рис. 4 и 5. Видно, что технология обеспечивает хорошую сплошность покрытия и равномерность по толщине.

На полученных образцах проведено измерение микротвердости и адгезивной прочности. Установлено, что для сплавов на основе Cu и Al микротвердость составляет 60-85 кг/мм^2, а для сплавов на основе кобальта – до 110 кг/мм^2.

Изучение микроструктуры таких образцов на АСМ «Наноскан» показывает наличие наноструктурированных образований в виде равномерно распределенных в матрице наночастиц, основной размер которых составляет 70-200 нм (рис. 6).

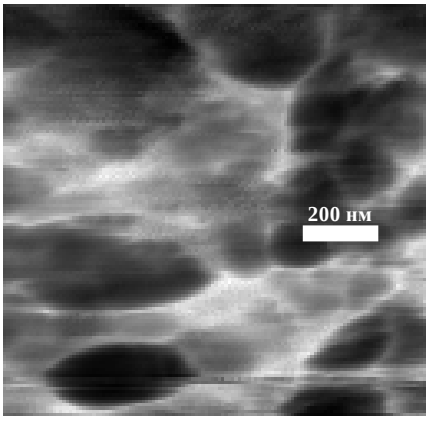


Рис. 6. Наноструктура износостойкого покрытия.

Следует особо отметить, что нами разработана и запатентована технология получения функционально-градиентных покрытий методом ХГДН с изменением состава и свойств по заранее заданному закону по толщине покрытия [6].

Полученные методом ХГДН покрытия весьма перспективны для решения современных проблем инженерии новых материалов в машиностроении.

Нами создан технологический модуль на базе установок ХГДН для исследования и разработки технологии нанесения функциональных покрытий для пар терния, арматуры, восстановления и ремонта узлов и деталей машин.

Выводы:

1. Обозначены перспективы использования метода сверхзвукового холодного газодинамического напыления для решения широкого спектра инженерии новых материалов для практической реализации в машиностроении.

2. Исследованы температурно-скоростные параметры процесса ХГДН. Установлены оптимальные режимы напыления покрытий при скоростях гетерофазного потока 2-2,5 Маха и температуры напыляемых частиц 80-120 ºС, при этом обеспечивается высокая адгезия и микротвердость покрытия.

3. Изучена структура полученных покрытий. Показано, что наличие наноструктурных образований размером 70 – 200 нм повышает эксплуатационные свойства покрытия.

Список литературы: 1. Алхимов А.П. Экспериментальное исследование сверхзвуковых двухфазных потоков методами лазерной диагностики. Автореф. дисс. Новосибирск, 1979. **2.** Алхимов А.П. Место ХГДН среди газотермических методов нанесения покрытий. Новосибирск, 1995. **3.** Алхимов А.П., Косарев В.Ф. Научные основы технологии ХГДН. Устройства напыленных материалов. Монография. Новосибирск. НГТУ, 2005. **4.** Фармаковский Б.В., Джуринский Д.В. Исследования процесса нанесения покрытий из разнородных материалов на металлические подложки методом ХГДН. // Вопросы материаловедения. 2003. № 2 (34). **5.** Фармаковский Б.В., Виноградова Т.С., Джуринский Д.В. Использование сверхзвукового холодного газодинамического напыления для получения каталитических покрытий для систем паровой конверсии топлива и химической регенерации тепла. Докл. на 4-м Междунар. симп. «Термохимические процессы в плазменной аэродинамике» // СПб, ХК «Ленинец». 2003. **6.** Патент РФ «Способ нанесения функциональных покрытий с высокими адгезионными свойствами» / Фармаковский Б.В., Васильев А.Ф., Джуринский Д.В. (Россия).- № 2004123574, заявл. от 27.07.2004, положительное решение от 30.01.2006.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ТЕРМОУДАРНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Феник Л.Н., Байков А.В., Потылицын А.А. *(ГВУЗ ДонНТУ, МЧНПП "Мозаика" г. Донецк, Украина)*

One of the important directions in development of applied researches is decrease in power consumption of technological processes in a manufacturing industry. Offered work considers conditions of occurrence of the phenomenon of thermal impact at processing products from a natural stone and his influence on power parameters of process. On the basis of the lead researches it is shown, that negative influence of heating in a zone of cutting under certain conditions can appear useful and lower power inputs at grinding products from a natural stone.

Существующие технологические процессы распиловки заготовок из природного камня характеризуются невысокой производительностью, низким качеством обработанной поверхности, повышенным износом алмазного инструмента, значительными затратами электроэнергии.

Это связано с тем, что используется классический принцип шлифования, т.е. микрорезание обрабатываемой поверхности большим числом алмазных зёрен. При заглублении инструмента в массив обрабатываемого материала возрастают силы резания и ухудшается доступ охлаждающей жидкости в зону резания.

В практике обработки материалов из горных пород применяются так называемые термомеханические способы, в которых для предварительного снижения сопротивляемости материала механическому разрушению используется тепловая энергия. При этом скорость термомеханического разрушения в несколько раз превышает сумму скоростей термического и механического разрушений в отдельности [1].

Для термомеханического способа обработки рассматриваются три варианта нагрева – прямой, косвенный, и комбинированный [2].

При прямом нагреве подвод тепла осуществляется от внешнего источника, а наводимые поля температур определяются тепловыми свойствами пород и зависят от характера теплообмена с внешней средой и параметров генератора тепла. Подвод тепловой энергии осуществляется через обрабатываемую поверхность, а распределение температуры по объёму тела в значительной степени зависит от теплопроводности обраба-

тываемого материала. Учитывая низкую теплопроводность горных пород и ограниченность времени теплового воздействия характер нагрева можно считать поверхностным.

При косвенном нагреве поля температур в большей степени зависят от других свойств материала, таких как, например, электропроводность, оптические и радиационные характеристики и т.д.. Тепло выделяется в объёме нагреваемого материала от внешних источников энергии и приводит к изменению физических характеристик. Одним из вариантов косвенного нагрева можно считать нагрев трением. При комбинированном методе используются преимущества каждого из рассмотренных вариантов.

При распиловке гранитных блоков в зоне резания всегда выделяется определенное количество тепла. Это тепло частично уносится охлаждающей средой, частично распространяется в массив обрабатываемого материала. Гранитные породы относятся к классу материалов, имеющих высокую склонность к терморазрушению. Однако то количество тепла, которое поступает от процесса резания, не обеспечивает необходимых параметров для терморазрушения.

Для реализации процесса термоударного шлифования необходимо создать такие условия, при которых в зоне резания в короткий промежуток времени создавалась высокая температура, разогревающая поверхность материала, а затем происходило резкое охлаждение этой зоны. В результате хрупкого разрушения материала в поверхностном слое значительно облегчается съём припуска обрабатывающим инструментом.

Обработка гранита по методу термоударного шлифования основывается на том, что разупрочнение разогретого до температуры плавления материала в зоне контакта его с алмазным инструментом осуществляется за счёт попадания на него охлаждающей жидкости и возникновения эффекта термического удара. В результате слой материала под кругом мгновенно пронизывает огромное количество микротрещин и теряет сплошность. Время нагревания поверхности материала в зоне контакта с инструментом и её температура зависит от величины сил трения в зоне резания, а следовательно, от величины давления инструмента на обрабатываемую поверхность. Роль алмазного круга в этом процессе – нагревание за счёт трения обрабатываемой поверхности до температуры плавления и вынос разупрочнённого термическими ударами слоя материала в виде шлама высокой дисперсности.

В качестве критерия эффективности термоударного процесса при шлифовании удобно использовать удельную мощность шлифования:

$$N_{уд} = \frac{N_{эф}}{Q},$$

где $N_{уд}$ – удельная мощность шлифования;

$N_{эф}$ – эффективная мощность шлифования, Вт;

$Q = b\ s\ t$ – производительность шлифования, $м^3/с$; b – ширина распила, м; S – подача, м/с; t – глубина прохода, м.

В общем виде связь между удельной работой шлифования и технологическими параметрами процесса можно представить как функцию от давления инструмента на материал, скорости вращения алмазного круга, расхода охлаждающей технологической среды и глубины резания.

Создание условий для возникновения термического удара в зоне обработки возможно путём увеличения удельных давлений инструмента на обрабатываемый матери-

ал или увеличения частоты вращения алмазного круга, приводящему повышенному выделению тепла за счёт трения.

Влияния давления исследовалось на специальном стенде при прорезании паза алмаз-ным отрезным кругом в гранитной заготовке. Величина давления варьировалась в пре-делах от 0,1 до 20 Мпа. Рабочая скорость инструмента в данной серии экспери-ментов оставалась постоянной и составляла 54 м/с. Расход охлаждающей среды – 2,5 л/мин - так же оставался постоянным.

Представленный график влияния величины давления на удельную мощность (рис. 1) позволяет проанализировать процессы, происходящие в зоне резания.

Здесь достаточно чётко прослеживаются четыре зоны, сохраняющие своё положение при постоянстве глубины резания, условий охлаждения и характеристик обрабатываемого материала.

Первая зона лежит в пределах давления до 0,7÷0,8 МПа. Она характеризуется доволь-но резким возрастанием удельной работы шлифования и, как следствие, возрастанием энергозатрат. Характер разрушения материала соответствует принципу механического разрушения, т.е. микрорезание алмазными зёрнами обрабатываемой поверхности.

Обработка твёрдых пород приводит к интенсивному затуплению инструмента, алмазные зёрна имеют большие площадки износа, а весь алмазный круг низкую режущую способность. Рост давлений приводит к увеличению сил трения поверхности инструмента по обрабатываемой поверхности и резкому возрастанию эффективной мощности резания. Однако энергии, поступающей в зону обработки от внешнего источника (электродвигателя) недостаточно для нагревания зоны контакта до температур, при которых начинает проявляться эффект термического удара. Кроме того, охлаждающая жидкость, поступающая в зону шлифования, интенсивно охлаждает трущиеся поверхности.

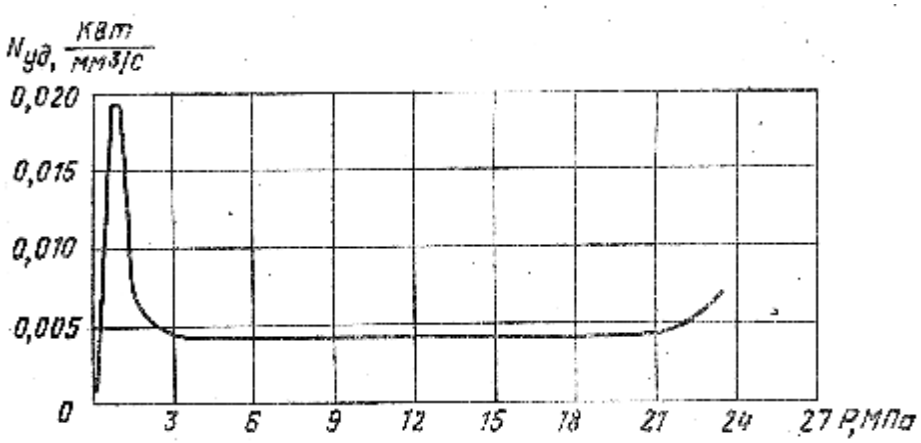


Рис. 1. Зависимость удельной мощности резания давлений в зоне обработки.

В районе давлений 1 МПа наблюдается экстремум, а дальнейшее увеличение давлений до 3 МПа (зона2) приводит к уменьшению значений удельной работы. Экстремум можно объяснить тем, что при таких давлениях температура в зоне достигла такой величины, при которой попадание жидкости на разогретый материал приводит к возникновению теплового удара, хотя процесс ещё не стабилен.

Увеличение давлений до 3 МПа приводит к монотонному уменьшению удельной работы шлифования. Возникают условия, при которых более интенсивно начинает про-

являться процесс разупрочнения материала за счёт высокоскоростного охлаждения нагретой поверхности при поступлении охлаждающей жидкости. Резкое охлаждение нагретой породы, находящейся в напряжённом состоянии приводит к мгновенному разрыву межкристаллических связей. На поверхности образуется большое количество микротрещин, снижающих прочность поверхностного слоя. Появление разупрочнённого слоя в зоне обработки приводит к интенсивному росту производительности и снижению удельных энергозатрат на формообразование поверхности.

Дальнейшее увеличение давлений до значений примерно 20 МПа (на графике зона 3) не приводит к снижению удельной работы шлифования. Энергозатраты на разрушение стабилизируются. Это свидетельствует о наступлении равновесия в технологической системе. Наступает баланс между объёмом разупрочнённого материала и количеством материала, которое алмазный круг способен вынести из зоны резания при данных режимах обработки.

Процессы, происходящие в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, носят циклический характер.

Под действием высоких давлений возникают значительные силы трения между поверхностью вращающегося инструмента и изделием. Температура поверхности обрабатываемого материала в зоне резания достигает теплоты плавления, вследствие чего под кругом образуется тонкий расплавленный слой материала. Под действием охлаждающей жидкости расплав мгновенно охрупчивается и алмазный круг выносит высокодисперсный шлам из зоны резания. Образовавшаяся новая поверхность материала изделия, ещё не разогретая до соответствующей температуры, вступает в контакт с инструментом и под действием сил резания быстро разогревается до температуры плавления. Процесс повторяется многократно и с большой скоростью.

Как показывает график, процесс термоударного разупрочнения материала существует в достаточно большом (от3 до 20 МПа) диапазоне давлений при неизменных осталь-ных параметрах технологического процесса.

Рост давлений свыше 20 МПа приводит к нарушению теплового равновесия в технологической системе. Увеличение работы трения приводит к прогреву до температуры плавления большего объёма материала. Охлаждающая жидкость при принятых условиях не может охладить этот объём до состояния, при котором возникает термоудар во всём разогретом объёме, а происходит это только в поверхностном слое расплава. Удалив диспергированный слой, алмазный круг попадает в зону пластичного материала и "вязнет" в расплаве, а разрушение материалов в пластичном состоянии требует значительно больших затрат энергии. Так как энергозатраты на разогрев материала увеличились, а объём разрушаемого материала за счёт термоудара остался на прежнем уровне, общие удельные затраты возрастают.

Проведенные исследования показывают, что создавая определённые условия в зоне контакта инструмента с обрабатываемым материалом класса горных пород можно достичь такого состояния материала, при котором достаточно вредное с точки зрения технологов явление – нагрев материала и инструмента – позволяет резко сократить энергозатраты на разрушение материала припуска. Увеличивая давление выше некоторого предельного значения для традиционных методов шлифования при создании дополнительных условий -подвод определённого объёма охлаждающей жидкости в зону контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью - можно снизить потребляемую мощность на шлифование в 4 раза. Явление термоударного шлифования существует в достаточно широком диапазоне давлений, пригодном для практической реализации процесса.

Список литературы: 1. Зеленский Н.М. и др. О применении термомеханического способа разрушения горных пород в рабочих органах проходческих машин. // Известия ДГИ, № 47.-Киев: Наукова думка, С.17-18. **2.** Галяс А.А., Полуянский С.А. Основы термомеханического разрушения горных пород.-Киев: Наукова думка, 1972.-235с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХУСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Фёдоров В. П., Нагоркин М. Н., Ковалёва Е. В. *(БГТУ, г, Брянск, Россия)*

The questions of technological flexibility and stability of the systems of the mechanical processing and their influence upon shaping parameter quality to surfaces and working characteristic under transient condition of the usages are considered.

Показатели эксплуатационных свойств (ЭС) соединений, как и определяющие их параметры качества поверхностного слоя (КПС), формируются в основном на заключительной стадии технологического процесса – на чистовых и финишных операциях. В связи с этим технолог должен решать достаточно сложную задачу управления в процессе обработки группой геометрических и физико-механических параметров КПС, которая является одной из важнейших проблем инженерии поверхности.

Соединения деталей машин, определяющие надёжность и эффективность работы изделия в целом, эксплуатируются, в основном, в двух режимах: стационарном и нестационарном.

Постоянство внешних возмущений свойственно стационарным режимам эксплуатации технических объектов, к которым, в частности, относятся и пары трения скольжения, работающие как в присутствии смазки, так и без неё.

Практически в большинстве случаев имеют место нестационарные условия эксплуатации, характеризующиеся неравномерным распределением нагрузок, скоростей относительного скольжения и других возмущающих воздействий по контактирующим поверхностям трибоэлементов. В таких случаях при изотропности параметров КПС будет иметь место анизотропность эксплуатационных свойств поверхности, проявляющаяся, например, в различных величинах износа и контактной жёсткости её отдельных локальных участков, потере ими требуемой герметичности и т. д. Это будет отрицательно сказываться на качестве эксплуатационных свойств характеристик изделия в целом, то есть на определяющем этапе его жизненного цикла, связанного с потребителем.

В процессе эксплуатации пар трения скольжения (рис. 1а) со стороны элемента 1 на поверхность *П* элемента 2 в общем случае могут действовать следующие виды нагрузок: 1) статическая ($P_1 = P_0 = const$); 2) динамическая P_2, которая в частном случае может иметь амплитуду a_p и период T; 3) P_3 – нагрузка в виде стационарной случайной функции с математическим ожиданием $M\{P_3\} = P_0 = const$ (рис. 1б); 4) $P_4 = F(X)$ – закономерно изменяющаяся (имеющая экстремум или монотонная); P_5 – нагрузка в виде нестационарной случайной функции, математическое ожидание которой (в данном случае $M\{P_5\} = P_4$) зависти от X (рис. 1в).

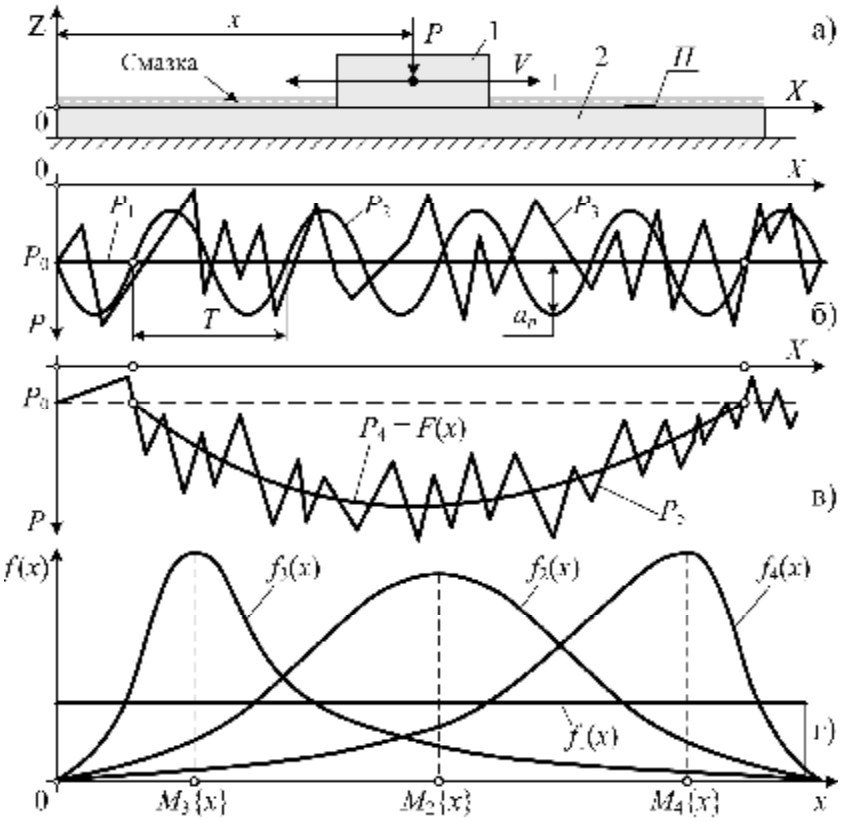


Рис. 1. Модель пары трения скольжения (а), возможные виды действующих нагрузок *P* (б, в) и законы распределения величины *x* (г)

Вид нагрузки, передаваемый со стороны элемента 1 на поверхность *П* не может однозначно определять условия эксплуатации соединения. Если рассматривать величину износа h поверхности *П*, то она будет равнораспределённой при нагрузке P_1 и равномерном законе распределения $f_1(x)$. Имеется в виду, что параметры КПС распределены изотропно по поверхности. При любой стационарной нагрузке (P_1, P_2, P_3), но при распределениях $f_i(x)$, отличных от равномерного $f_1(x)$, величина износа h поверхности *П* будет распределена неравномерно. Это приводит в общем случае к потере точности и выходу из строя оборудования, особенно технологического.

В этом случае наиболее худшая ситуация возникает при действующих нагрузках P_4 и P_5 и функции распределения положения f_2 ползуна 1 относительно поверхности *П*. В окрестностях точки $M_2\{x\}$ ($X = M_2\{x\} \pm ks(x)$) при этом будет наблюдаться повышенный износ, величина которого пропорциональна функции $F(X)$. Всё это относится и к цилиндрическим направляющим трения скольжения.

Таким образом, стабильность условий эксплуатации соединений трения скольжения характеризуется законом действия нагрузки $P_i = f_i(x)$ и плотностью распределения положения точки её приложения к поверхности $f_i(x)$.

Избежать нежелательной анизотропии показателей ЭС поверхностей при эксплуатации в нестационарных условиях можно при условии обеспечения соответствующей анизотропности гаммы лимитирующих параметров КПС обработкой в системе с повышенной технологической гибкостью, под которой понимается способ-

ность обеспечить заданные множества параметров КПС и ЭС в регламентированных интервалах с заданной надёжностью посредством направленного варьирования условиями обработки и управления механизмом технологического наследования.Анализ существующих процессов обработки показывает, что возможны два рода технологической гибкости систем (ТГС):

1) **технологическая гибкость 1-го рода** (ТГС-1) – существует возможность выбора гаммы методов обработки поверхностей (в общем случае различной физической природы) для заключительных операций технологического процесса и группы управляемых факторов каждого из них, постоянных по величине в пределах соответствующего перехода и обеспечивающих изотропность поверхности по регламентируемым значениям параметров КПС в заданных пределах с требуемой надёжностью;

2) **технологическая гибкость 2-го рода** (ТГС-2) – возможность выбора гаммы методов обработки поверхностей (в общем случае различной физической природы) для заключительных операций технологического процесса и группы управляемых факторов каждого из них, одним или несколькими из которых можно программно управлять в пределах перехода по закону, обеспечивающему в итоге заданную анизотропность распределения параметров КПС или ЭС по обрабатываемой поверхности с требуемой надёжностью.

Все системы обработки поверхностей, в которых отсутствуют элементы программного управления типа CNC, обладают технологической гибкостью первого рода. К ним можно отнести следующие методы формирования поверхностей деталей машин на чистовых и финишных стадиях технологического процесса обработки: 1) резание (чистовое и тонкое точение, фрезерование, шлифование, алмазно-абразивная обработка и др.); 2) резание + нанесение покрытий (гальванические, ФАБО, твёрдые нитридсодержащие, лазерное легирование, ионная имплантация и др.); 3) резание + ППД (накатывание шариками, роликами, дорнование, алмазное выглаживание, вибронакатывание, вибровыглаживание и др.); 4) резание + ППД + покрытия; 5) резание + покрытия + ППД; 6) электрофизические и электрохимические методы обработки.

Технологическая гибкость 2-го рода присуща системам ЧПУ, где имеется возможность изменять условия обработки (факторы) программным способом в пределах перехода.

Очевидно, что важным показателем процесса обработки является степень его технологической гибкости, которой целесообразно придавать какое-то численное значение. Если взять режимы обработки для точения (V, S, t) и для ППД (Q, S, V), то управляемых факторов в каждом случае по три, но технологическая гибкость процесса ППД значительно выше: в этом случае всеми параметрами КПС (макро- и микрогеометрия, физико-механические свойства и др.) можно управлять в гораздо более широких пределах и более надёжно, чем при точении. Применение той или иной системы зачастую способствует формированию совершенно новых, не свойственных основному материалу детали свойств (методы 2; 4…6).

Целесообразно, чтобы численная оценка технологической гибкости 1-го или 2-го рода отражала, наряду с числом управляемых факторов обработки, номенклатуру, количество и достижимый диапазон варьирования показателей формируемого КПС, то есть являлась комплексной.

Для решения актуальной научно-технической задачи повышения триботехнических характеристик поверхностей типа направляющих, герметичности фланцевых

соединений, отделочных работ в плане дизайна и др. в БГТУ разработан программный способ обработки поверхностным пластическим деформированием (ППДПС), включающий предварительное моделирование поверхности (при необходимости) и реализацию её обработки на станках с компьютерными системами ЧПУ. Можно программно обрабатывать поверхности с целью создания заданных законов изменения физико-механических свойств, шероховатости, микрорельефа в пределах одной функциональной поверхности, используя для этого простейшее устройство ППД с периферийно (ПИ) или центрально (ЦИ) расположенным индентором (шарик или алмазный выглаживатель).

Результаты моделирования микрорельефов для различных поверхностей при различных исходных данных (рис. 2) убедительно свидетельствуют о высокой сте-

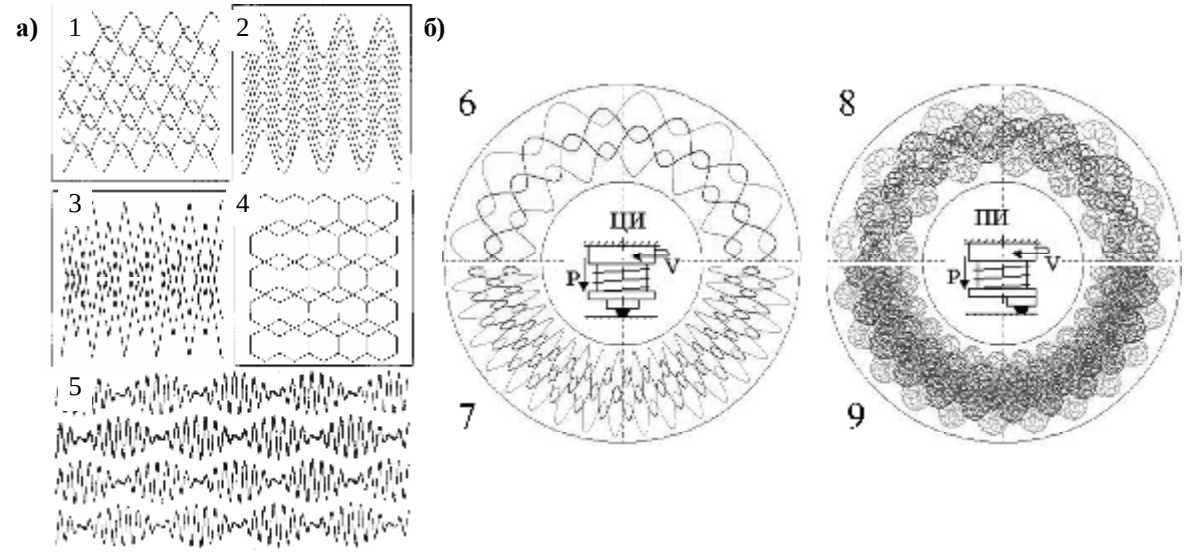


Рис. 2. Результаты моделирования микрорельефов, реализуемых в системе ППДПС: а – плоские поверхности типа направляющих скольжения; б – плоские фланцевые поверхности.

пени технологической гибкости обработки ППДПС поверхности.

Модели 1…7 соответствуют обработке ППДПС с центрально расположенным индентором (ЦИ), а модели 8, 9 – с периферийным (ПИ). При моделировании в случаях 6…9 (рис. 2б) предусмотрено изменение силы воздействия индентора на поверхность в процессе обработки. Тёмные линии рельефа соответствуют её увеличению. Таким образом, изменяются параметры КПС и ЭС соответствующих участков обработанных реальных поверхностей, что характеризует обработку ППДПС как систему с технологической гибкостью 2-го рода.

На качество поверхности, обрабатываемой методами ППД (ППДПС) устройствами упругого действия сильное влияние оказывает динамика процесса. Установлено , что для обеспечения заданных параметров качества динамической устойчивости процесса оказывается недостаточно. Нужно, чтобы процесс обладал технологической устойчивостью, которой можно дать следующую формулировку:

Технологическая устойчивость процесса обработки ППД устройствами упругого действия – это его способность непрерывно по всей обрабатываемой поверхности обеспечивать требуемый вектор $\overline{\boldsymbol{R}}$ параметров качества поверхностного слоя (включая эксплуатационные) в регламентированных границах ($\pm d\overline{\boldsymbol{R}}$) с заданной на-

дёжностью $P(R_i \in (\overline{R_i} \pm d\overline{R_i})$.

Область определения технологической устойчивости может рассматриваться в пространстве факторов КПС (Ra, H_m, s_0 и др.) или в пространстве факторов ЭС или на их пересечении. Математические условия технологической устойчивости имеют вид:

$$\left.\begin{array}{l} R_i \in \left((\overline{R_i} + d\overline{R_i}),(\overline{R_i} - d\overline{R_i})\right), \quad i = \overline{1,k} \\ P\{R_i \subset (R_{i\,min}, R_{i\,max})\} \geq [P] \end{array}\right\}$$

где R_i – i-тый вектор параметров качества;

P – минимально допустимая надёжность его обеспечения.

В результате решения уравнения динамики процесса ППД получены критерии технологической устойчивости в виде ограничений максимальной скорости обработки, которые включают ряд конструктивных и технологических факторов, в частности, состояние предварительно обработанной поверхности.

Резюме: 1. Для обеспечения высоких эксплуатационных свойств поверхностей трибоэлементов, работающих в нестационарных условиях трения скольжения со смазкой, необходимо создание и применение технологически гибких процессов обработки. Следует различать технологическую гибкость 1-го и 2-го рода: технологические гибкие системы 1-го рода (ТГС-1) обеспечивают эффективную, но жёсткую обработку в пределах перехода, а 2-го рода (ТГС-2) – обеспечивают эффективную и управляемую программным способом обработку в пределах перехода.

2. Среди ТГС-1 наибольшей эффективностью обладают системы, сочетающие обработку поверхностей методами различной физической природы (обработка резанием, нанесение покрытий, ППД и др.). Гибридизация методов обработки с системами ЧПУ образует класс систем ТГС-2, обладающих наиболее высокой гибкостью. В этом плане перспективно практическое применение ППД программным способом (ППДПС).

3. Наряду с технологической гибкостью, одним из основных условий обеспечения высокого качества обрабатываемых поверхностей деталей машин является технологическая устойчивость процесса обработки, которая отличается от динамической и достигается при соблюдении определённых критериев, включающих конструктивные и технологические факторы.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Финиченко В.А., **Кралин А.К.** *(ДонНАСА, г. Макеевка, Украина)*

The general(common) problem of mining functionly - oriented of master schedules of manufacturing of gear drives is offered on the basis of the axiomatic approach to designing and effecting.

Проектирование технологических процессов изготовления любого изделия можно рассматривать как процесс отображение функционального описания рассматриваемого объекта в физический образ. Задача технолога разработать способы и последовательности действий для осуществления этого отображения, используя заданные чертежом компоненты (материалы, размеры, ресурсы и т.д.), а также определить технологические процессы, реализующие требуемые компоненты.

В результате разработки функционально-ориентированных технологических процессов появляется большое количество возможных решений, которые необходимо анализировать в явном виде. При этом приходится обрабатывать большое число данных, варьируя переменными параметрами [2]. Важным моментом является выбор методов оценок принимаемых решений.

Интересным в этом плане является метод оценок с помощью гипотетических аксиом проектирования и производства изделий [3].

Система аксиом основана на двух основных понятиях. Первое из них заключается в том, что всякое функциональное требование производства должно удовлетворяться независимо от некоторых аспектов, особенностей или компонент технологического процесса. Эти два понятия формально представляют в виде системы проектных и производственных требований:

- сохранить независимость функциональных требований;
- минимизировать объем информации.

Функциональные требования рассматриваются как цели разработки технологических процессов. Они должны быть независимыми, т.е. такими, чтобы любые из них или их совокупность могли задаваться вне связи с какими либо другими функциональными требованиями.

Хотя функциональные требования задаются так, чтобы они были независимыми, сам характер технологического процесса может определить их взаимозависимость.

Например, для зубчатой передачи в качестве функциональных требований могут выступать качество поверхности, твердость рабочих поверхностей зубьев, геометрия поверхности, точность изготовления.

В общем случае количество степеней свободы технологического процесса должно быть равно или превышать количество функциональных требований.

На разработку функционально-ориентировочных технологических процессов производства зубчатых передач оказывают влияние так называемые проектные параметры (скорость относительного скольжения рабочих поверхностей, передаваемое усилие, степень точности). Изменение любого проектного параметра приводит к изменению функциональных требований, т.е. технологический процесс является связанным. В несвязанном технологическом процессе, одно и только одно функциональное требование изменяется в зависимости от изменения одного проектного параметра.

Второе производственное требование минимизирует объем информации как по спроектированной передаче так и по технологическому процессу ее изготовления. Отсюда следует, что связанные технологические проекты хуже несвязанных, поскольку в них должны быть известны зависимости между всеми функциональными требованиями и проектными параметрами для того, чтобы соответствующим образом выполнить функциональные требования.

Для исключения связанности технологический процесс необходимо построить таким образом, чтобы функциональные требования зависели от проектных параметров в виде:

$$\begin{aligned} \Phi_{T1} &= f_1(П_{П1}) \\ \Phi_{T2} &= f_2(П_{П2}), \\ \Phi_{Tn-1} &= f_{n-1}(П_{П1}, П_{П2}, ..., П_{Пk-1}), \\ \Phi_{Tn} &= f_n(П_{П1}, П_{П2}, ..., П_{Пk-1}, П_{Пk}) \end{aligned} \qquad (1)$$

где Φ_{T_i} - функциональное требование; $П_{П_i}$ - проектные параметры.

Подбирая функции соответствующим образом, можно выполнять их изменения без учета спецификации их взаимовлияния.

Функционально-ориентированный технологический процесс можно представить в n-мерном пространстве, где каждое из n функциональных требований представляется в виде n-мерного вектора. Аналогично k проектных параметров определяют k-мерное физическое пространство.

Если известно физическое соотношение между функциональными требованиями и проектными параметрами, то между пространствами n и K можно установить соответствие. Отображая функциональные требования на пространство K, получим задачу проектирования технологического процесса в виде векторного поля, вектор - функция которого F определится зависимостью:

$$\begin{aligned} F = f_1(П_{П1}, П_{П2},..., П_{Пk})\overline{u}_1 + f_2(П_{П1}, П_{П2},..., П_{Пk})\overline{u}_2 + \\ . \quad . \quad . \\ + f_n(П_{П1}, П_{П2},..., П_{Пk})\overline{u}_n \end{aligned}, \qquad (2)$$

где f_i - скалярная функция i-го проектного параметра; u_j - единичный вектор в направлении функциональных требований.

Если функциональные требования являются линейными функциями проектных параметров, то уравнение (2) можно представить в матричной форме [1]:

$$F = \begin{vmatrix} Ф_{T1} \\ Ф_{T2} \\ \cdots \\ Ф_{Tn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11}, a_{12},..., a_{1n} \\ a_{21}, a_{22},..., a_{2n} \\ \cdots \\ a_{n1}, a_{n2},..., a_{nn} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} П_{П1} \\ П_{П2} \\ \cdots \\ П_{Пn} \end{vmatrix}. \qquad (3)$$

Линейные задачи решаются легко, если известна связь между физическими и функциональными областями.

Для нелинейных задач важным является установление факта независимости функциональных требований. В случае нелинейного отображения пространств, функциональные требования изображаются в виде криволинейной системы координат в физическом пространстве.

Связь между функциональными требованиями и проектными параметрами определяются в любой точке. В общем случае матрицу связи C можно представить в виде:

$$C_{ij} = \frac{\partial(Ф_{Ti})}{\partial(П_{Пj})}. \qquad (4)$$

В заключение следует отметить, что в данной работе предложено одно из возможных направлений разработки функционально-ориентированных технических процессов для производства зубчатых передач на основе метода оценок с помощью гипотетических аксиом проектирования и производства зубчатых передач.

Список литературы: 1. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1967. – 575с. **2.** Михайлов А.Н. Общий подход в создании функционально-ориентированных и интегрированных технологий машиностроения // Машиностроение и техносфера XXI

века: Сб. трудов XII международной научно-технологической конференции в г. Севастополе 12-17 сентября 2005г. В 5-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. Т. – 311с. **3.** Су, Белл, Госсард «Асимптотический подход к производственным системам // Конструирование и технология машиностроения, 1978, №2. С.164. М.: Изд-во «Мир».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУПЕРИРОВАННОГО АЛМАЗНОГО СЫРЬЯ В ИНСТРУМЕНТЕ

Францкевич А.В., Иванова Н.В. *(ФТИ НАН Беларуси, БНТУ, г. Минск, Беларусь)*

The paper presents the performance characteristics of a diamond dressing tool obtained using the methods of vacuum sintering and hot compacting. It is shown that the use of secondary diamond raw material does not affect the tool performance characteristics.

Природные алмазы ценятся не столько, как драгоценные камни, сколько как один из факторов технико-экономического потенциала. Применение алмазов в промышленности существенно повышает производительность труда и качество продукции. Природные алмазы используются в промышленном производстве как носители уникальных характеристик, которые обеспечивают создание и функционирование современного высокопроизводительного оборудования. Природные алмазы также как и золото, платина, серебро являются важнейшим военно-стратегическим сырьем, объемы использования которого являются одним из индикаторов научно-технического прогресса и экономического развития. Для этих материалов характерна высокая стоимость и редкость. Алмазов добывают в тысячи раз меньше, чем золота.

Если цена драгоценных металлов определяется стоимостью добычи и конъюнктурой рынка (в том числе конъюнктурой валют и других банковских активов), то цена алмазов, помимо прочего, зависит и от ряда классификационных признаков, основными из которых являются: размерность, форма (степень искажения формы, характер поверхности граней), дефектность (качество) и цвет [1].

Все алмазы разделяют на две категории: ювелирные и технические. При колебании спроса на алмазы их могут перемещать из одной категории в другую. Уровень цен на природные алмазы сдерживает более широкое использование их в технике.

Значительная часть драгоценных металлов поступающих в оборот добывается из т.н. техногенных источников, т.е. при переработке промышленных отходов. Их характеристики ничем не отличаются от металла из рудных месторождений. Природные алмазы, рекуперированные из отработанного инструмента, не идентичны исходному материалу. Это обусловлено изменениями их формы, дефектности, массы и уровня внутренних напряжений. Изменения прочностных характеристик природных алмазов при термических, термобарических, механических воздействиях изучены достаточно подробно [2-4]. В меньшей степени изучено влияние неоднократных техногенных воздействий на кристаллы различной дефектности.

В работе представлены результаты применения вторичного алмазного сырья в правящем инструменте.

Испытания инструмента проводили на круглошлифовальном станке при правке круга 1А1300х40х127 24А40С2К при рабочей скорости круга 30-35 м/с, скорости продольной подачи 0,5 м/мин, скорости поперечной подачи 0,05мм/ход и расходе эмульсии 15-20 л/мин.

Для сравнения взяты алмазы, рекуперированные из правящих роликов, которые были изготовлены методом гальванопластики из алмазных порошков марок А10К200 и А9К125. В соответствии с техническими требованиями алмазный порошок А10К200 представляет собой целые кристаллы различных форм беспрозрачные, гладкогранные или с незначительной и небольшой ступенчатостью с незначительными дефектами. Содержание изометричных алмазов 100% [5]. Размер зерен исходного сырья соответствовал 1,2-1,4 мм. В процессе эксплуатации алмазы подвергались термо-механическим воздействиям.

Рассев рекуперированного порошка показал, что 5-8% масс. кристаллов разрушилось. У 20-25% масс. кристаллов вследствие износа уменьшился размер зерен до 1,2-1,0 мм. Прочностные характеристики целых кристаллов не изменились, однако содержание кристаллов, которые можно отнести к изометричным, составило 60-70%.

Техногенное воздействие снижает стоимость алмазов из-за изменения размерно-весовой группы, повышения дефектности и изменения формы части кристаллов. Классификация рекуперированного сырья по системе SITY показала, что разрушенные кристаллы соответствуют группе Boart, а дефектные группе Drilling различных качеств. Общее снижение стоимости сырья в результате изменения формы, качества и размерно-весовой группы составило в среднем 30%. Прочностные характеристики целых кристаллов не изменились, однако содержание кристаллов, которые можно отнести к изометрическим (изменение диаметра на 15% вследствие износа) составило 60%. По форме их нельзя отнести к марке А10, хотя по прочностным характеристикам они соответствуют этой марке.

Иная картина наблюдается в случае применения менее качественного сырья (А9К125). В исходном состоянии алмазы относились к размерно-весовой группе 1,2-1,4 мм, представляли собой целые кристаллы различных форм (95%) и их обломки с незначительными дефектами, содержание изометричных зерен 90% [5]. После рекуперации алмазов из отработанных роликов и рассева полученные алмазы распределились в следующих соотношениях: 30% кристаллов размерностью 1-1,2 мм, 20% кристаллов 1,0-0,6 мм, 20% размером менее 0,6 мм, у 30% кристаллов размерность осталась прежней. Прочностные характеристики кристаллов снизились. По прочностным и морфологическим характеристикам рекуперированное сырье занимает промежуточное положение к маркам А8К100 – А6К80. Общее снижение стоимости рекуперированного порошка в результате изменения формы, качества и размерно-весовой группы составило в среднем 40-50%.

Техногенное воздействие в большей степени изменяет характеристики дефектных кристаллов алмаза по сравнению с бездефектными высокопрочными кристаллами.

Для изготовления алмазного однокристального правящего инструмента (алмаз в оправе, алмазная игла) используется сырье индустриальной (Industrial) серии (XII группы, подгруппа а 1,2,3 качества, допускается б; XXXI группы, подгруппа а 1,2,3 качества) [6]. Анализ алмазного сырья полученного рекуперацией из инструмента «Алмаз в оправе» с алмазами 0,7-1,0 карат показал, что у кристаллов изношены рабочие вершины. У 10% кристаллов наряду с площадками износа на рабочей вершине образовались сколы.

Часть кристаллов (15%), соответствующие группе Drilling в процессе эксплуатации разрушились на 2-3 обломка, у 20% кристаллов рабочие вершины разрушились сколами и в кристаллах появились трещины, проходящие через центральную зону. На остальных кристаллах у рабочих вершин по краям площадок износа появились сколы.

При рекуперации алмазного инструмента из кристаллов синтетического алмаза (основное количество кристаллов СТМ “Алмазот” имели 6 группу дефектности, IIа группу по форме 2 подгруппы по качеству граней, 2 подгруппу прозрачности, 7 подгруппу цвета) [7]. Отмечены следующие закономерности разрушения рабочих вершин. Только у 15% кристаллов на рабочей вершине вокруг площадок износа образовались сколы, 5% кристаллов разрушились.

Разрушение кристаллов в большинстве случаев отмечено на инструменте у которого изношена зона припоя у рабочей вершины. Кристаллы группы Drilling содержащие включения графита, сопутствующих минералов и трещины разрушались ударными нагрузками под воздействием зерен абразива. Повторное использование природного алмазного сырья (целые кристаллы) группы Drilling в однокристальном инструменте показал, что в процессе эксплуатации разрушается большее число кристаллов (20-25%). При повторном использовании рекуперированных синтетических алмазов в процессе эксплуатации разрушились 7% общей массы кристаллов.

Металлизация кристаллов алмазов группы Drilling и синтетических алмазов IV качества двухслойным покрытием (CuTi)-Ni позволила снизить число разрушений кристаллов рекуперированных алмазов (Drilling - 15%, синтетический алмаз – 3-4%). Более высокие эксплуатационные характеристики инструмента содержащего металлизированное алмазное сырье с повышенной дефектностью обусловлены смачиванием поверхности, проникновением расплава в микротрещины, а также образованием на поверхности алмаза прочной металлической оболочки (0,3-0,4 мм).

Меньшая склонность к разрушению рекуперированного синтетического алмазного сырья при повторном применении связана с иным характером и концентрацией дефектов в синтетическом алмазе: в нем отсутствуют трещины, крупные включения графита и сопутствующих минералов. По качеству синтетические алмазы превосходят природные характеристик Drilling и Boart.

Металлизированные осколки природных и синтетических алмазов массой до 0,4 карата использовали в алмазных карандашах (0054, 0082) [8]. Карандаши получали вакуумным спеканием при 1370К. В качестве связки применяли шихту из порошков меди и ВК6 (70% масс.). Удельный расход алмаза составил 2,1 мг/кг и 1,4 мг/кг для карандашей из природных алмазов и 1,7 мг/кг и 1,2 мг/кг для карандашей из синтетических алмазов. Увеличение содержания синтетических алмазов в карандаше 0082 до 1,5 карат (по ГОСТ607-80) снизило удельный расход алмаза до 1,1 мг/кг. Снижение удельного расхода при введении в матрицу дисперсных порошков алмаза обусловлено увеличением режущих кромок и большим алмазоудержанием алмазных зерен матрицей, содержащей дисперсные частицы синтетического алмаза.

Эксплуатационные характеристики инструмента в значительной мере определяются технологией его изготовления и составом матрицы (связки), что позволяет применять при производстве инструмента вторичное (дефектное) природное алмазное сырье. Более высокие эксплуатационные характеристики синтетических дефектных монокристаллов алмаза при неоднократных термических, термобарических и механических воздействиях обусловлены иной дефектной структурой, отличной от дефектной структуры природных алмазов: в них отсутствуют включения графита, сопутствующих минералов, сетки микротрещин.

Список литературы: 1. ГОСТ Р 51519.1-99 Алмазы природные необработанные Классификация. Основные признаки. **2.** Верещагин Л.Ф. Синтетические алмазы и гидроэкструзия: Сб. статей. – М.: Наука, 1982. – 328 с. **3.** Варфоломеева Т.Д., Яковлев Е.Н.,

Слесарев В.Н., Боровиков Н.В. Микроструктура синтетических поликристаллических алмазов // Алмазы и сверхтвердые материалы.-1980.-Вып. 7. – С. 1-3. **4.** Мальнев В.И., Олейник Н.К., Лысаковский В.С. Влияние механических воздействий на показатели прочности алмазов // Изменение свойств материалов под действием высоких давлений. – Киев: ИПМ АН УССР, 1986, - С. 51-56. **5.** ТУ2-037-676-93 Шлифпорошки из природных необработанных алмазов. ЯКУТНИИПРОАЛМАЗ. **6.** ГОСТ 22908-78 Алмазы в оправах. Технические условия. **7.** ТУ РБ 600124613.002-2002 Монокристалл синтетический сверхтвердый «Алмазот». **8.** ГОСТ 607-80 Карандаши алмазные для правки шлифовальных кругов. Технические условия.

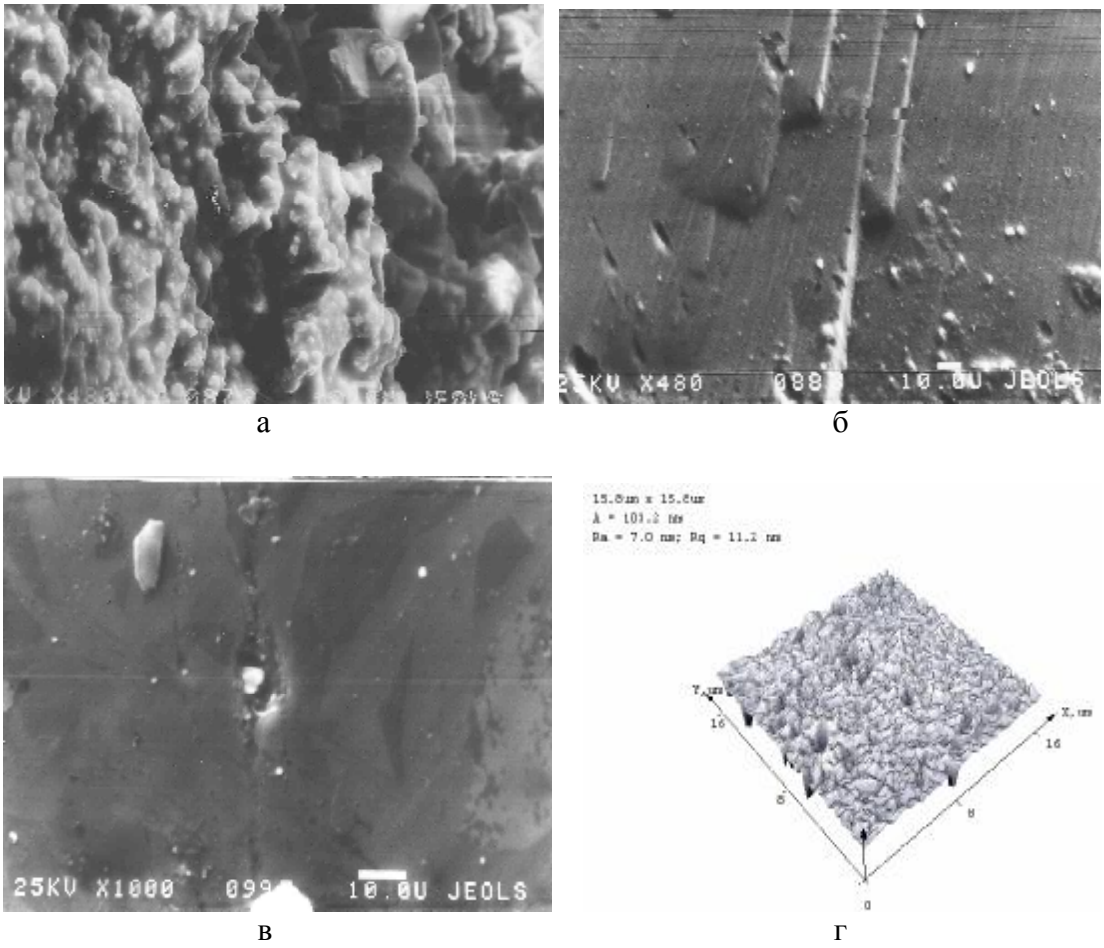
ИЗНОС ОДНОКРИСТАЛЬНОГО АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРАВКЕ

Францкевич А.В., Таран И.И., Биленко Э.Г. *(ФТИ НАН Беларуси, БНТУ, г. Минск, Беларусь)*

The wear of natural diamond has been investigated on polishing using scanning and atomic-powered electron microscopic methods. The diamond wear is shown to proceed during destructing the microrelie f of a surface defective layer with formation of 60-80 nm size particles.

Однокристальный алмазный инструмент (алмаз в оправе, алмазная игла) изготавливается из кристаллов природного алмаза, выделенных в позицию Industrial, согласно ГОСТ Р 51519.2-99 [1]. Высокая стоимость качественного алмазного сырья и снижение объемов его добычи обусловило использование в однокристальном инструменте кристаллов пониженного качества (пикированных), а также поликристаллов синтетического алмаза. Вариации физических свойств алмазов определяются не только микроскопическими дефектами (включениями, порами, микротрещинами), но и структурными дефектами на наномасштабном уровне. Среди них наибольшее влияние на твердость, прочность оказывают сложные образования из атомов азота в форме пластин и сфер, величиной 2-3 нм. Повышение содержания азота в алмазе увеличивает его твердость, а соответственно и прочность. Увеличение концентрации азота на поверхности режущих кромок повышает также и эксплуатационные характеристики инструмента. В работе изложен характер износа однокристального инструмента типа «алмазная игла» с углом при вершине 60^0, изготовленного из природного алмаза, содержащего включения графита и синтетического монокристаллического алмаза марки «Алмазот», выпускаемого в республике Беларусь. Алмазные иглы использовали при правке круга 24А6СМ2К диаметром 400 мм.

Анализ поверхностей площадок износа, образующихся на иглах из природного и синтетического алмаза, указывает на различный механизм разрушения поверхности. На поверхности площадок износа игл из природного алмаза формируется грубый рельеф с высотой выступающих кромок 6-12 мкм. (Рис. 1а). Этот рельеф образован углублениями (царапинами), совпадающими с направлением шлифования. Поверхность площадок износа на иглах из синтетического алмаза имеет более однородный рельеф (Рис. 1б). На поверхности площадки расположены ступенчатые выступы, ориентированные в направлении обработки. (Рис. 1в).



а б в г

Рис. 1. Морфология поверхности износа кристалла алмаза при правке а – природный алмаз, б – синтетический алмаз, в – синтетический алмаз с включением корунда, г – морфология поверхности природного алмаза после имплантации азотом.

Разрушение алмаза в зависимости от обрабатываемого материала, температурно-силовых параметров обработки, происходит по механизмам хрупкого разрушения (микроскалывания), абразивного износа, адгезионно-абразивного износа [2, 3]. Развитый микрорельеф на поверхности площадок износа игл из природного алмаза, различная форма и размеры микровыступов, указывают на то, что кристалл алмаза имеет гетерогенную структуру. Причиной образования рельефа является неоднородное распределение графита в алмазе. В результате участки с большим содержанием графита изнашиваются быстрее, более твердые участки с меньшим содержанием графита выступают над поверхностью, формируя развитый рельеф. Образование развитого рельефа приводит к повышению скорости износа, однако, следует ожидать и увеличения производительности шлифования (правки). Развитый рельеф поверхности площадки износа формирует развитый микрорельеф на обрабатываемом материале. Разрушение поверхностного слоя происходит путем микрорезания частицами корунда поверхностного дефектного слоя. На такой механизм износа указывает морфология поверхности износа, а именно, присутствие частиц корунда, внедренных в поверхность алмаза. Внедрение частиц корунда отмечается на дефектных участках с повышенным содержанием графита и в микротрещинах (Рис. 1в). Более однородный рельеф на площадках износа игл из синтетического алмаза, наличие систем царапин, параллельных направлению обработки, свидетельствуют об износе поверхности по механиз-

му микрорезания. Однако корунд имеет значительно меньшую (в 10 раз) твердость, чем алмаз и может внедряться в его поверхность при больших нагрузках, равных или превышающих предел прочности корунда при сжатии. Внедрение режущих кромок частиц корунда в алмаз происходит только при наличии дефектного поверхностного слоя, образовавшегося при многократных динамических воздействиях режущих кромок на поверхность алмаза [2].

Существование на поверхности площадок износа игл из природного и синтетического алмаза углублений и частиц корунда, внедренных в поверхность, указывает на присутствие динамической составляющей в характере взаимодействия режущей кромки инструмента с обрабатываемым материалом. Толщина дефектного слоя на поверхности синтетического алмаза значительно меньше (~ 5-15 раз), чем на поверхности природного, пикированного частицами графита. Дефектный слой на поверхности алмаза образуется при локализации микротрещин из-за высоких напряжений, возникающих в областях многократного воздействия зерен корунда. Последующее внедрение зерна корунда в поверхность сопровождается его интенсивным разрушением. Таким образом, износ поверхности природного и синтетического алмаза при обработке корунда протекает в две стадии. На первой – многократные динамические и тепловые воздействия приводят к формированию сети микротрещин в поверхностном слое при одновременном износе поверхности. На второй – разрушается и одновременно формируется дефектный поверхностный слой. Разрушение поверхностного слоя происходит по механизму хрупкого разрушения (образование сколов и трещин) и абразивного износа. На поверхности алмаза (как природного, так и синтетического) формируется рельеф и дефектный слой из сети микротрещин. Микротрещины разделяют поверхностный слой на микрообласти размерами 10-100 нм.

Толщина дефектного слоя по различным оценкам достигает 0,1 – 100 нм.[2, 3]. Поэтому повышение твердости, износостойкости поверхностного слоя делает возможным повышение эксплуатационных характеристик инструмента. Синтетический монокристаллический алмаз содержит значительное количество азота (10^{20} – 10^{23} ат./см$^{-1}$), образующего твердые растворы с различной степенью распада. Азот, присутствующий в алмазе, повышает его твердость [4, 5]. Насыщение поверхностного слоя азотом позволяет повысить его твердость. Обработка поверхности алмаза пучком ионов азота привело к формированию модифицированного слоя толщиной 60-80 нм., с концентрацией азота в 100 – 1000 раз превышающей его содержание в алмазе (Рис. 1г).

Список литературы: **1**. ГОСТ Р 51519.2-99 Алмазы природные необработанные. **2**. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Ходоревский М.Г. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов. –Харьков, 1980. **3.** Зайцев В.А., Кузей А.М., Марцинкевич Э.А. Механизм разрушения алмаза при шлифовании .- Вести АН Беларуси, №4, 2004. – С 63-66. **4.** Семенова Тянь-Шаньская А.С. Исследование сопротивления алмаза износу при шлифовании. Новые направления развития алмазной обработки. – М.: Тр. ВНИИ Алмаз, 1981.– 102 с. **5.** Соболев Е.В. Тверже алмаза.-Новосибирск.: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 192 с.

НАУЧНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ И ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

Хейфец М.Л., Майстер А.И., Логунова Л.С., Бобылева А.В. (*УО «ПГУ», г.Новополоцк, Беларусь*)

Experience of preparation of experts and designing of technologies of machine-building manufacture in structural division of university on faculty is considered. Prospects of development of the high technology technologies are shown and the basic directions of preparation of experts which can realize them are planned.

Ведение. Повышению эффективности машиностроения служит создание комплексов технологических, энергетических, информационных и других машин, выполняющих ту логически завершенную часть производственных действий, которой является технологический процесс. Такая совокупность производящих машин получила название технологических комплексов [1, 2].

Соединение технологических, контрольных и транспортных составляющих комплекса в пространстве и совмещение их воздействий во времени обеспечивает производству компактность [1,3]. Использование концентрированных источников энергии в составляющих комплекса радикально интенсифицирует технологические процессы [2, 4]. Объединение материальных потоков энергии и вещества с информационными потоками обеспечивает производству интеллектуальность [3, 5].

В результате наиболее актуальным комплексом проблем современного машиностроения являются всемерное сокращение сроков и средств на проектирование, изготовление и внедрение новых технологических комплексов на основе высокоинтенсивных методов обработки в компьютерно-управляемом производстве [3, 6]. Решение этих проблем, в первую очередь, требует подготовки научных и инженерных кадров, соответствующих новым складывающимся условиям машиностроительного производства.

Опыт подготовки специалистов и проектирования технологий машиностроительного производства. Подготовка специалистов в высшей школе базируется прежде всего на научных и методических разработках коллективов выпускающих кафедр, а также на обмене опытом и освоении передовых результатов, полученных коллективами других высших учебных заведений, отраслевых научно-исследовательских и академических институтов.

Таблица 1. Методы формообразования поверхностей детали

Традиционные		Современные		Перспективные	
Удаление материала заготовки инструментом (резание, шлифование)	Формоизменение поверхности заготовки инструментом (пластическое деформирование)	Нанесение материала (покрытий) на заготовку потоками энергии	Формирование заготовки в технологической оснастке (штамповка, точное литье) с использованием потоков энергии (порошковая металлургия)	Формирование модели заготовки без технологической оснастки (опертивное макетирование и производство)	Формирование заготовки, изделия без технологической оснастки с использованием потоков энергии (послойный синтез)

Исследование сверления, ротационного резания, алмазного шлифования и других процессов приводит к проектированию новых инструментов, средств оснащения и технологических процессов (табл. 2).

Таблица 2. Методы удаления и формоизменения материала заготовки

Методы	Резание	Шлифование	Деформирование
Операции (инструменты, средства оснащения)	Сверление (специальные патроны), растачивание (ротационные инструменты и оправки), точение (ротационные инструменты и резцедержатели)	Внутренних поверхностей (специальные алмазные инструменты), плоских поверхностей (планетарные алмазные инструменты), сверление пластин (полым абразивным сверлом)	Раскатывание отверстий (роликовые накатники), упрочнение плоских поверхностей (шариковые накатники), упрочнение наружных поверхностей (шариковые и роликовые накатники)

Производственный опыт и анализ потребностей предприятий дал возможность разработать облегченные конструкции сверлильных патронов, обеспечивающих высокие усилия закрепления инструментов [3]. Изучение особенностей ротационного растачивания привело к созданию жестких инструментов и оправок, а ротационного точения труднообрабатываемых материалов и покрытий к созданию виброустойчивых шпиндельных узлов с резцами и резцедержателями [6, 9]. Анализ процессов поверхностного пластического деформирования конструкционных материалов позволил предложить конструкции шариковых и роликовых раскатников и накатников для размерно-чистовой и упрочняющей обработки [7]. Исследование алмазно-абразивной обработки дало возможность разработать новые конструкции инструментов для сверления пластин, планетарные шлифовальные диски для предварительной и окончательной обработки плоских труднодоступных поверхностей [3].

Изучение технологии машиностроения продолжается освоением современных процессов, обеспечивающих формирование требуемых структуры и свойств материала путем использования источников энергии, методов порошковой металлургии и способов нанесения защитных покрытий (табл. 3).

Таблица 3. Методы нанесения покрытий и изменения свойств материала заготовки

Методы	Индукционная наплавка	Газопламенная наплавка	Плазменное напыление и оплавление	Электродуговая наплавка проволоки	Электроферромагнитное упрочнение
Операции (установки)	Наружных и внутренних поверхностей	Наружных и внутренних поверхностей	Наружных и внутренних поверхностей	Наружных поверхностей	Наружных поверхностей

Изучение индукционной и газопорошковой наплавки защитных покрытий дало возможность спроектировать процессы нанесения покрытий на внутренние поверхности цилиндрических деталей и крупногабаритных изделий. Предложить пути интенсификации процессов нанесения износостойких покрытий дал возможность анализ плазменного напыления, оплавления и наплавки порошков, а также электродуговой наплавки проволокой [8, 9]. Исследование поведения ферромагнитного порошка в магнитном поле при электроискровых и электродуговых разрядах позволило разработать метод электроферромагнитного упрочнения.

Системный анализ совместного термического влияния источников энергии и механических воздействий инструментами предоставил возможность разработать комбинированные методы формирования поверхностных слоев деталей машин и их размерно-упрочняющей обработки (табл. 4).

Таблица 4. Методы комбинированной обработки

Методы	Индукционная виброцентробежная наплавка алмазосодержащего слоя	Плазменное оплавление напыленного покрытия совмещенное с ротационным резанием	Электродуговая наплавка проволоки с упрочняюще-размерным резанием	Электроферромагнитное упрочнение с поверхностным пластическим деформированием	Обработка инструментом с комбинированным ионно-вакуумным покрытием
Операции (технологические процессы изготовления)	Алмазные инструменты для предва рительной и окон чательной обработки плоских поверхностей	Детали двигателей вну треннего сгорания	Детали двигателей вну треннего сгорания	Посадочные места под подшипники, режущие кромки инструментов	Режущие и штамповые инструменты и средства оснащения

Совмещение процессов индукционного, гальванического нанесения покрытий с механической заделкой алмазных зерен прикаткой, виброцентробежным путем позволило создать способы получения алмазосодержащего слоя для абразивных инструментов [3]. Всестороннее изучение технологических процессов плазменного оплавления порошка при нанесении покрытия и размерно-чистовой обработкой ротационными резцами привело к разработке комбинированного метода – ротационного резания с плазменным нагревом [6, 9]. Совмещение операций электродуговой наплавки проволоки с удалением дефектного слоя и накаткой упрочняемой поверхности ротационным резцом обеспечило создание размерно-упрочняющего ротационного резания в процессе наплавки проволоки [6]. Использование технологического тепла в процессе электроферромагнитного упрочнения при поверхностном пластическом деформировании и выглаживании нанесенных вкраплений дало возможность разработать метод электромагнитной наплавки с поверхностным деформированием накатным инструментом [4]. Анализ поведения режущих и штамповых инструментов после комбинированного ионно-вакуумного модифицирования поверхности имплантацией с последующим осаждением покрытия позволил предложить рациональные условия эксплуатации инструментов и изменения в их конструкции [4, 8].

Перспективы развития наукоемких технологий и основные направления подготовки специалистов. Обучение технологии машиностроения завершается знакомством с перспективными методами оперативного макетирования и создания изделий из композиционных материалов без формообразующей оснастки (табл. 1).

Структурный анализ методов производства деталей без формообразующей оснастки позволил предложить модели и алгоритмы, исследовать технологические процес-

сы формообразования на подложке и каркасе покрытий для послойного синтеза с управляемым формированием свойств композиционного материала изделия.

Параллельно с освоением технологий должно идти изучение оборудования, средств оснащения и других объектов технологического комплекса.

Множество технологических объектов, взаимодействующих в процессах обработки деталей и сборки машин образуют технологические системы. Совокупность технологических объектов, взаимодействующих с выделенным (деталью или машиной) на отдельном этапе изготовления изделия, представляют собой технологическую среду [3]. В комплексах, использующих для технологических воздействий концентрированные источники энергии, а также формообразующие инструменты и средства оснащения, оборудование входит в состав технологической среды на уровне операции обработки, сборки, контроля и транспортирования. Поэтому оборудованию для высокоинтенсивных технологий предъявляются особые требования.

Технологические среды как на уровне операции, так и на уровне технологического процесса многосвязаны как по совокупному влиянию воздействий на показатели качества изделия, так и по характеру взаимодействий в процессе формирования свойств машины [3]. Многосвязность предполагает рассмотрение процесса формирования любого из совокупности свойств изделия как результата одновременных и предшествующих его взаимодействий со средами различных уровней, влияющих на выделенное свойство [3]. В результате технологический процесс необходимо рассматривать с позиций технологического наследования эксплуатационных свойств и учитывать совместное действие технологических факторов, рассматривая самоорганизацию физико-химических явлений в рабочей зоне технологической системы [4, 6, 8].

Анализ, учет и контроль свойств изделия на конструкторско-технологических и производственных стадиях жизненного цикла продукции при современном уровне развития производства обеспечивает использование компьютерных технологий создания, поддержки и применения единого информационного пространства на всех этапах жизненного цикла продукции (CALS-технологии).

В настоящее время особенно актуальна подготовка машиностроителей со знанием информационных технологий и навыками работы в компьютерно-управляемом производстве (табл. 5).

Таблица 5. Автоматизация конструкторско-технологических и производственных процессов

<table>
<tr><td rowspan="2">Вид обеспечения</td><td colspan="3">Стадии жизненного цикла продукции</td><td rowspan="6">CALS-технологии</td></tr>
<tr><td>проектирование</td><td>производство</td><td>Контроль</td></tr>
<tr><td>Математическое</td><td colspan="3">Модели и алгоритмы принятия конструкторско-технологических решений</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Информационное</td><td>Классификация и кодирование конструктивно-технологических элементов</td><td>Ограничительные перечни и регламенты использования инструментов и приспособлений</td><td>Ограничительные перечни и регламенты использования контрольно-измерительных средств</td></tr>
<tr><td colspan="3">Унификация объектов и процессов производства
Модели распределенных баз данных и знаний</td></tr>
<tr><td>Программное</td><td>CAD/CAE-системы</td><td colspan="2">CAE/CAM/CAPP-системы</td></tr>
</table>

Поэтому для создания экспертных систем активно разрабатываются модели и алгоритмы принятия конструкторско-технологических решений [3]. Разрабатываются методы классификации и кодирования, статистического анализа объектов и процессов производства для формирования баз данных и знаний по ограничительным перечням конструктивно-технологических элементов и поверхностей деталей, инструментов для их обработки и контроля, по технологическим регламентам их использования. Новые технологические процессы и средства их оснащения разрабатываются на основе математического и компьютерного моделирования, что находит отражение и в учебном процессе [8].

Интеграция электромеханики и микроэлектроники при компоновке машин на современном этапе привела к появлению комплексных интегрированных мехатронных модулей движения рабочих органов и узлов машин, а также создаваемого на их основе оборудования [3]. Такая интеграция требует использования систем компьютерного управления деталями, инструментами, источниками энергии, транспортными и другими механизмами. В результате составляющие технологических мехатронных комплексов не просто дополняют друг друга, но и объединяются таким образом, чтобы образованная производственная система обладала качественно новыми свойствами.

Мехатронные системы включают механическую, электромеханическую, электронную и управляющую (построенную на основе использования компьютеров или микропроцессоров) части. Современный технологический комплекс состоит из датчиков состояния внешней среды и самой системы, источников энергии, исполнительных механизмов, усилителей, вычислительных элементов (компьютеров и микропроцессоров) и представляет собой единую систему электромеханических, электронных элементов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется непрерывный обмен энергией и информацией. Поэтому при проектировании комплексов следует учитывать динамику протекающих процессов, обеспечивая их устойчивость и требуемое качество, что достигается методами теории автоматического управления [3].

Заключение. Таким образом, методологической основой разработки технологических комплексов служат методы параллельного проектирования, заключающиеся в одновременном и взаимосвязанном синтезе всех компонентов производственной системы. Поэтому в современных производственных системах для обеспечения высокого качества реализации сложных наукоемких технологий подготовки специалистов для машиностроительного производства применяются методы интеллектуального управления. Методы эти опираются на новые идеи в теории управления, современные аппаратные и программные средства вычислительной техники и концепцию непрерывной компьютерной поддержки жизненного цикла выпускаемой продукции.

Список литературы: 1. Артоболевский И.И., Ильинский Д.Я. Основы синтеза машин автоматического действия. – Москва: Наука, 1983. – 280с. 2. Подураев В.Н. Технология физико-химических методов обработки: Библиотека технолога . – Москва: Машиностроение, 1985. – 264с. 3. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития/М.Л.Хейфец, Б.П.Чемисов, Л.М.Акулович и др. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268с. 4. Синергетические аспекты физико-химических методов обработки/А.И.Гордиенко, М.Л.Хейфец, Б.П.Чемисов и др. – Минск: ФТИ, 2000. – 172с. 5. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов. . – Москва: Наука, 1964. – 314с. 6. Хейфец М.Л. Самоорганизация процессов при высокоэффективных методах обработки деталей. – Новополоцк: ПГУ, 1997. – 268с. 7. Технология размерно-чистовой и упрочняющей обработки:

Учеб.пособие/П.С.Чистосердов, Б.П.Чемисов, Л.М.Кожуро, Л.М.Акулович. – Минск: Университетское, 1993. – 188с. 8. Технологические основы высокоэффективных методов обработки деталей: Учеб.пособие/П.И.Ящерицын, М.Л.Хейфец, Б.П.Чемисов и др.. – Новополоцк: ПГУ, 1996. – 136с. 9. Обработка износостойких покрытий: Учеб.пособие/Л.М.Кожуро, Ж.А.Мрочек, М.Л.Хейфец и др.. – Минск: Дизайн ПРО, 1997. – 208с.

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ ДРОТЯНОГО ЕЛЕКТРОДУ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ВИРІЗАННІ

Хижняк Є.В., Ступак Д.О., Осипенко В.І. *(ЧДТУ, м. Черкаси, Україна)*

Аналіз.

Електроерозійна вирізна технологія в даний час є одним з найбільш розповсюджених методів високоефективної обробки, в першу чергу, завдяки своїм унікальним можливостям прецизійного вирізання твердих і надтвердих струмопровідних матеріалів.

Одним з важливих чинників, що впливають на якісні показники обробки є коливання дротяного електроду. Безпосередній вплив коливання справляють на формування мікрогеометрії обробленої поверхні, умови виникнення пробою та баланс енергії одиничного іскрового розряду.

В процесі електроерозійного вирізання на дротяний електрод діють сили різного фізичного походження, що спричиняють його коливання. До основних з них можна віднести [1]:

- електростатичні сили притягування між електродами. Виникають внаслідок наявності між електродами електричної ємності. За умов електроерозійного дротяного вирізання, найбільша щільність електростатичних сил не перевищує $6 \cdot 10^{-2}$ Н/м;

- електродинамічні сили. Виникають внаслідок взаємодії струмів в ДЕІ та в заготовці. Ця сила впродовж розряду збільшується від нуля до найбільшого значення і діє тільки впродовж розряду. В існуючих електроерозійних вирізних станках електродинамічні сили досить малі, оскільки струм в заготовці спрямований по нормалі до торцевої поверхні різу;

- відтискаючі сили. Діють на дротяний електрод як впродовж розряду, так і після його припинення. Тиск в каналі розряду становить 1000...3000 атм. Миттєве значення відтискаючої сили впродовж одного розряду становить:

$$F_1 = p r_n^2 P_n .$$

Ця сила збільшується з моменту пробою, оскільки зростають радіус пузиря r_n і тиск P_n. Після припинення розряду високий тиск в пузирі ще зберігається, тому сила F_1 продовжує діяти. При цьому пузир розширюється, разом з тим спадає тиск. Розмір основи пузиря впродовж періоду імпульсу збільшується від нуля до радіусу дроту $r_{пр}$. Середнє значення сили за період імпульсу становить:

$$F_{1ср} = 1{,}25p \cdot p_n r_{пр}^2 .$$

Так, при значенні періоду імпульсу $t_i = 10^{-6} c$, тиску в каналі розряду $p_n = 3 \cdot 10^9 \, Па$, середнє значення сили за період одного імпульсу становить 12 Н.

Величина електростатичних та електродинамічних сил в умовах електроерозійного дротяного вирізання є незначною в порівнянні з відтискаючим впливом тиску в каналі розряду. Тому впливом електростатичних та електродинамічних сил на збурення коливань дротяного електроду можна знехтувати.

В якості збурюючої сили можна розглядати лише відтискаючу силу, що діє на дротяний електрод внаслідок високого тиску в каналі розряду.

Для визначення параметрів коливань, характерних конкретним умовам обробки, необхідне створення математичної моделі, яка б адекватно описувала механізм збурення та затухання коливань при електроерозійному вирізанні. Створені до сьогоднішнього дня моделі коливань [2,3] описують спрощений механізм коливань дротяного електроду. Збурююча дія розрядів, обумовлена тиском в каналі, розглядалась лише як сила, рівномірно розподілена вздовж зони обробки і спрямована в напрямку, протилежному напрямку різу.

Мета роботи.

Створення математичної моделі, яка описує процес коливань дротяного електроду-інструменту (ДЕІ) в умовах електроерозійного вирізання з врахуванням ймовірністного характеру впливу збурюючих чинників.

Методика.

Математична модель коливань дротяного електроду повинна відповідати реальним умовам електроерозійного вирізання. При створенні моделі використано класичну схему й параметри процесу обробки, характерні для вирізного комплексу СЕЛД-02 з генератором технологічного струму ГКІ-300-200А. Загальну схему розташування дротяного електроду, зони обробки та інших елементів системи, разом з основними розмірами представлено на рис. 1.

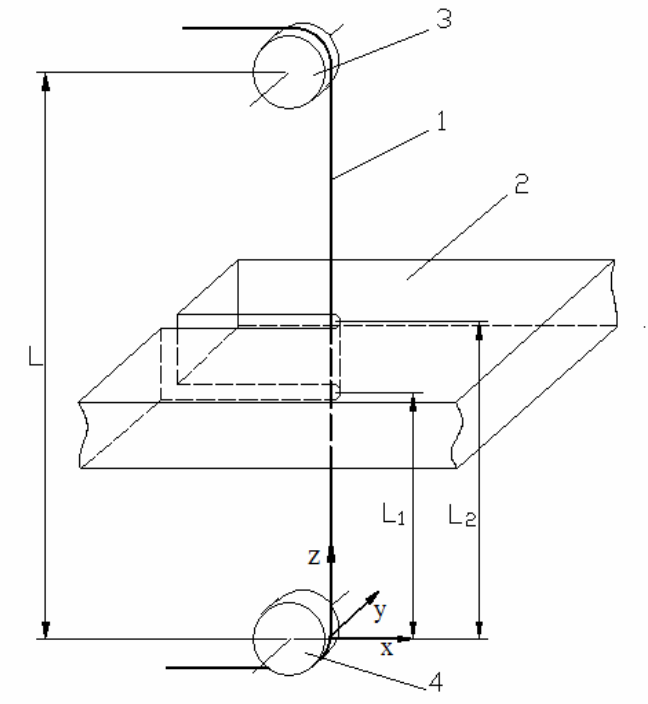


Рис. 1. Схема взаємного розташування заготовки (2) та дротяного електроду - інструменту (1), що рухається по направляючим роликам (3,4).

В процесі обробки подача дротяного електроду 1 для зйому матеріалу заготовки 2 відбувається в напрямку вісі x. Зона виникнення розрядів обмежується товщиною заготовки і знаходиться між координатами L_1 і L_2 по довжині дротяного електроду.

Дротяний електрод перемотується в направляючих роликах 3,4. Оскільки швидкість перемотування неспіврозмірно менше швидкості проходження розрядів і частоти коливань, рухом і люфтом дроту в напрямних можна знехтувати і вважати, що кінці дроту жорстко зафіксовані.

Для математичного моделювання поведінки дротяного електроду використаємо лінійні диференційні рівняння малих пружних коливань струни.

Диференційні рівняння, що характеризують поперечні коливання струни, належать до рівнянь гіперболічного типу і мають такий вигляд [3]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2n\dfrac{\partial u}{\partial t} = a^2 \dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2} + y\,(z,t); \\ \dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2n\dfrac{\partial u}{\partial t} = a^2 \dfrac{\partial^2 u}{\partial y^2} + c\,(z,t). \end{cases} \quad (1)$$

де u, υ – поперечні переміщення точок струни в напрямках осей x, y відповідно (рис. 1);

$a = \sqrt{P/rF}$ - швидкість розповсюдження поперечних хвиль, де:

P – натяг струни;

ρ – щільність матеріалу дроту;

F – площа поперечного перерізу струни;

ψ(z,t), χ(z,t) – проекції вектора інтенсивності поперечних сил на вісі x і y, віднесені до погонної маси ρF;

$n = R/2rF$ - коефіцієнт демпфування коливань;

R – коефіцієнт сили опору середовища, віднесений до одиниці довжини.

Дані рівняння справедливі за умови, що струна є абсолютно гнучкою і має постійний натяг по довжині.

Для чисельного рішення диференційних рівнянь (1) необхідно враховувати наступні початкові і граничні умови, що відповідають реальним умовам електроерозійного вирізання.

Початкові умови:

- в момент часу t = 0 дріт знаходиться в стані спокою:

$u(z)\big|_{t=0} = 0;$

$u(z)\big|_{t=0} = 0.$

Граничні умови:

- дріт жорстко защемлений по краях:

$u(t)\big|_{z=0;z=l} = 0;$

$u(t)\big|_{z=0;z=l} = 0.$

На схемі (рис. 2) представлено поперечний переріз міжелектродного проміжку.

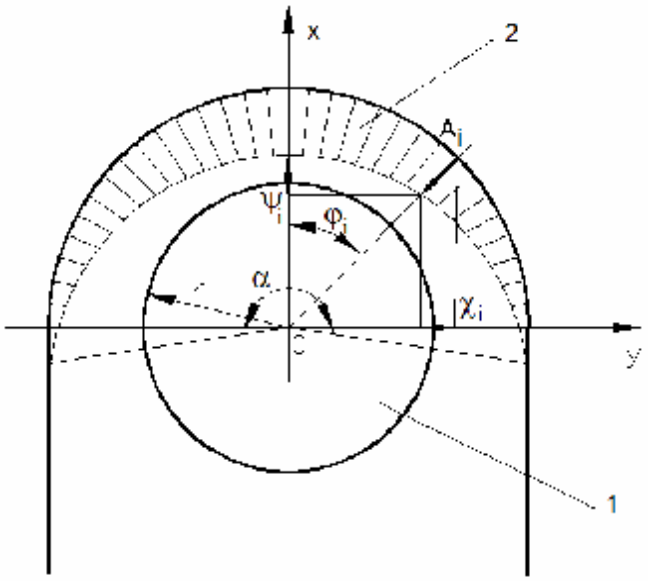


Рис. 2. Поперечний переріз міжелектродного проміжку: 1 – дротяний електрод-інструмент, 2 – епюра силового впливу розрядів на ДЕІ

Подача дротяного електроду (1) радіусом $r_{пр}$ здійснюється в напрямку вісі *x*. Збуджуючий вплив на дротяний електрод обумовлений силовою дією тиску в каналі розряду (*Ai*). Напрямок дії цих сил, що визначається кутом φ_i відносно вісі *x*, примушує дротяний електрод відтискатись від стінок заготовки, тим самим збільшуючи міжелектродний проміжок. Силовий вплив розрядів навколо перерізу ДЕІ є нерівномірним (епюра 2) і розподілений в межах кута α. При визначенні параметрів коливань, математична модель повинна враховувати силовий вплив кожного окремого імпульсу. На противагу збуджуючим силам, демпфуючий вплив, який визначається, насамперед, жорсткістю дроту та його натягом, сприяє поверненню дротяного електроду до стану спокою.

Для чисельного розв'язку рівнянь використовуємо метод кінцевих різниць. Різнична схема, записана за рівнянням (1) має вигляд:

$$\begin{cases} \dfrac{u_{i+1,j}-2u_{i,j}+u_{i-1,j}}{t^2}+2n\,\dfrac{u_{i+1,j}-u_{i-1,j}}{2t}=a^2\,\dfrac{u_{i,j+1}-2u_{i,j}+u_{i,j-1}}{h^2}+y\,(z,t); \\ \dfrac{u_{i+1,j}-2u_{i,j}+u_{i-1,j}}{t^2}+2n\,\dfrac{u_{i+1,j}-u_{i-1,j}}{2t}=a^2\,\dfrac{u_{i,j+1}-2u_{i,j}+u_{i,j-1}}{h^2}+c\,(z,t), \end{cases} \qquad (2)$$

де: $u_{i,j}$, $u_{i,j}$ - поточне відхилення дротяного електроду в поточний момент часу в проекції на вісі x,y відповідно, в точці j, що відповідає координаті по вісі z;

$u_{i+1,j}, u_{i+1,j}$ - відхилення дротяного електроду в наступний момент часу;

$u_{i-1,j}, u_{i-1,j}$ - відхилення дротяного електроду в попередній момент часу;

$u_{i,j+1}\,u_{i,j+1}$ - відхилення наступної точки дротяного електроду по вісі z;

$u_{i,j-1}\,u_{i,j-1}$ - відхилення попередньої точки дротяного електроду по вісі z.

Рівняння, розв'язані відносно $u_{i+1,j}$, $u_{i+1,j}$ дозволять визначити відхилення дроту від положення спокою в кожний наступний момент часу (i+1) для визначеної координати по довжині дроту (j).

В результаті перетворень рівняння (2) набули вигляду:

$$\begin{cases} u_{i+1,j}=\dfrac{1-nt}{1+nt}(u_{i,j}-u_{i-1,j})+\dfrac{1}{2}(u_{i,j+1}+u_{i,j-1})+\dfrac{t^2}{1+nt}y\,(x,t); \\ u_{i+1,j}=\dfrac{1-nt}{1+nt}(u_{i,j}-u_{i-1,j})+\dfrac{1}{2}(u_{i,j+1}+u_{i,j-1})+\dfrac{t^2}{1+nt}c\,(x,t). \end{cases} \qquad (3)$$

Для визначення проекцій силового впливу одиничного імпульсу на вісі *x* та *y* необхідно вказати такі параметри:

- силовий вплив імпульсу;
- кут виникнення пробою відносно вісі *x*;
- координата місця виникнення пробою по довжині дротяного електроду (z).

При розрахунках, відповідно до математичної моделі коливань, дані параметри задаються оператором випадкових чисел або за заздалегідь визначеною закономірністю.

Результати

Силовий вплив на дротяний електрод, насамперед, залежить від параметрів імпульсів, що прикладаються до електродів.

Для проведення експериментальних досліджень було обрано 2 режими роботи генератора ГКІ-300-200А (табл.1).

Таблиця 1. Основні параметри робочих імпульсів при технологічних режимах 2-2 і 3-4

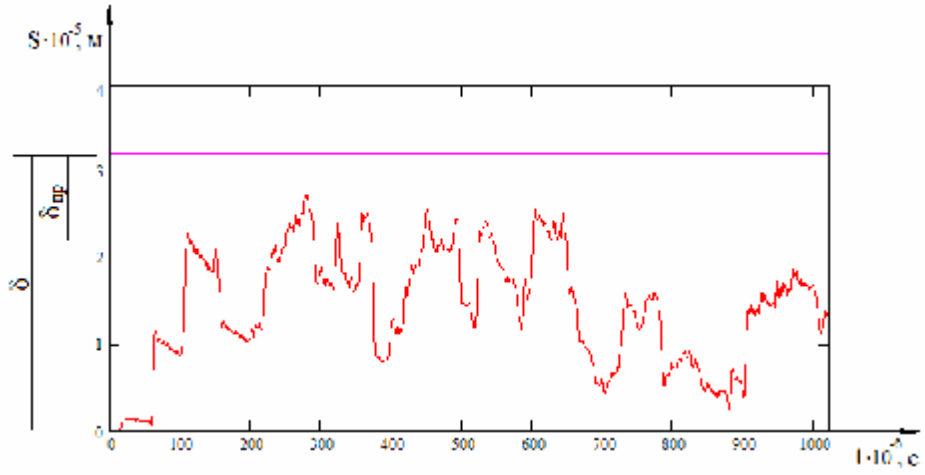
№ режиму	Амплітудне значення струму розряду, А	Частота проходження імпульсів технологічного струму, Гц	Тривалість імпульсу, мкс	Величина міжелектродного проміжку, мкм	Шорсткість обробленої поверхні, Ra
2-2	60	22000	3,2	32	6,3
3-4	45	44000	2,5	29	1,5

Стабільна обробка при цих режимах можлива при значеннях величини міжелектродного проміжку 32 мкм та 29 мкм відповідно.

Коливання дротяного електроду всередині пазу, що прорізається, призводить до зближення ДЕІ та заготовки на відстань, при якій можливий пробій робочого середовища. Попередні дослідження [9] показали, що у водопровідній воді при величині напруги 150...180 В пробій виникає на відстані між електродами 10...12 мкм.

Розрахувавши за допомогою розробленої математичної моделі величину зміщення перерізу дротяного електроду, було перевірено адекватність моделі реальним умовам обробки. На рис. 4 наведено розраховані значення зміщення середньої точки дротяного електроду S, величину міжелектродного проміжку δ та відстань, на якій відбувається пробій МЕП $\delta_{пр}$ для режимів 2-2 та 3-4.

а)



б)

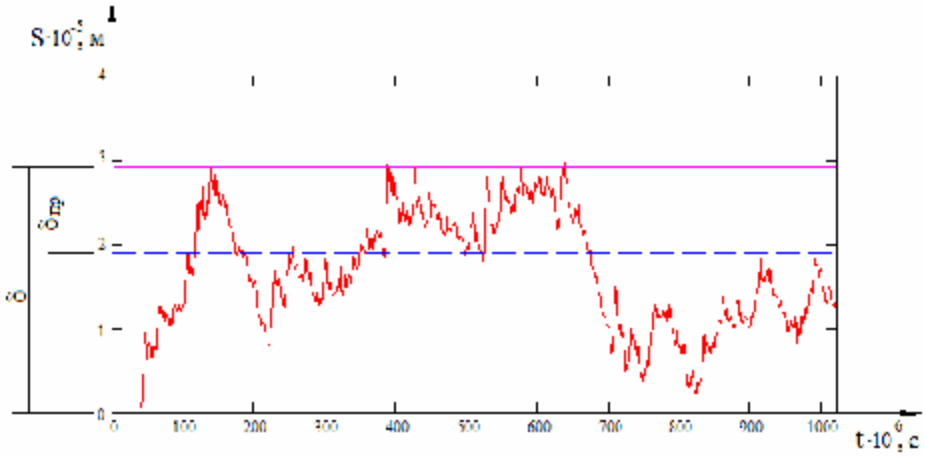


Рис. 4. Часовий розподіл амплітуди коливань середньої точки дротяного електроду S для режимів 2-2 (а), 3-4 (б). δ – середня величина робочого міжелектродного проміжку;δпр – величина міжелектродного проміжку, на якій можливий пробій.

З графіків видно, що в певний момент часу ДЕІ може навіть торкатись поверхні заготовки. При певних умовах це може приводити до виникнення короткозамкнених імпульсів, які є небажаними при електроерозійному дротяному вирізанні.

Величина коливань ДЕІ в напрямку поперечному подачі електроду визначає мікрорельєф утвореної поверхні. Експериментальні дані щодо висоти мікронерівностей поверхні після обробки на певних режимах, дають змогу визначити кореляційну залежність між амплітудою коливань ДЕІ та якістю утвореної поверхні.

Аналогічні розрахунки можуть бути проведені для будь-яких режимів обробки. Це дає змогу прогнозувати значення амплітуди коливань перерізу ДЕІ до проведення обробки і, таким чином, прогнозувати умови обробки.

Визначено, що зміна частоти імпульсів практично не впливає на максимальне значення амплітуди коливань ДЕІ. Вирішальний вплив на амплітуду коливань дротяного електроду справляє силова дія тиску в каналі розрядів. Результати дослідів вказують на можливість використання математичної моделі при визначенні технологічних умов електроерозійного вирізання для досягнення заданої якості поверхні.

Висновки.

1. Створено математичну модель, яка враховує випадковий характер виникнення розряду і адекватно описує коливальний характер поведінки дротяного електроду в умовах електроерозійного вирізання.
2. Адекватність математичної моделі та її відповідність реальним умовам електроерозійного вирізання підтверджено експериментальним шляхом.
3. Створено прикладну програму, яка дозволяє моделювати процес коливань в залежності від заданих умов обробки і встановлювати умови, яким відповідають найбільш вигідні з технологічної точки зору показники коливань.
4. Отримані дані щодо характеру утворення та розповсюдження коливань ДЕІ можуть бути використані при визначенні оптимальних технологічних режимів майбутньої обробки та прогнозуванні її результатів.

Список літератури: 1. Кавтарадзе О. Н., Липчанский А. Б. Исследование механизма гидродинамических процессов в межэлектродном промежутке под воздействием ультразвуковых колебаний, приложенных к электроду-инструменту // Электронная обработка материалов, 1988, №6, с. 52-54 **2.** Перестюк М.О., Маринець В.В. Теорія рівнянь математичної фізики: Навч. посібник. – 2-ге вид., перероб і доп. – К.: Либідь, 2001. – 336 с. **3.** Кобзарь В. А., Лукашева Е. Н. Математическая модель колебаний электрода-проволоки при электроэрозионной обработке // Электронная обработка материалов, 1984, №2, с. 16-23 **4.** ЕР 706848. Способ и станок для электроэрозионной обработки проволокой. 17.04.96 **5.** ЕР 707916. Способ и станок для электроэрозионной обработки. 24.04.95 **6.** ЕР 689892. Способ и устройство для резки проволокой в процессе электроэрозионной обработки. 03.01.96. **7.** ЕР665078 Способ и устройство для качественного контролирования процесса электроэрозионной обработки заготовки. 01.08.98. **8.** Справочник по элементарной математике, механике и физике. – М.: АКАЛИС, 1995. – 216 с. **9.** Осипенко В.І., Ступак Д.О. Фізико-технологічні закономірності пробою рідини за умов, характерних для електроерозійної вирізної обробки // Материалы 5 юбилейной промышленной конференции с международным участием и блиц-выставки „Эффек-

тивность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях", п. Славское, Карпаты, 2005

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОЗОЛЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ И СМАЗКИ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ПРОТЯГИВАНИИ

Холодов Б. Ф., Дорошенко Р. В. *(Рижский технический университет, Рига, Латвия)*

Application of greasing cooling means of an aerosol of oleic acid and freon 12. It is proved, that thus the roughness, a sinuosity and force of tension essentially decreases.

Эффективность смазывающе-охлаждающих средств (с. о . с.) при резании зависит от метода применения., места подвода и вида средства. Это имеет важную роль при внутреннем протягивании, особенностью которого является резание во внутреннем замкнутом, изолированном объеме. Существующие системы подачи смазывающе-охлаждающих жидкостей на станках предусматривают охлаждение поливом, которое является малоэффективным.. Это объясняется тем, что лишь незначительная часть жидкости, которую успевает захватить зуб протяжки, попадает в зону резания. а основной теплоотвод происходит в результате увеличения градиента температуры между наружной и внутренней поверхностью детали и связана с коэффициентом температуропроводности материала и коэффициентом теплообъема охлаждающей жидкости. При сравнительно небольшом времени резания, что является характерным для внутреннего протягивания, и с увеличением скорости резания по данным /1, 2/ эффективность охлаждения поливом резко снижается. По этому наиболее эффективным является внутренний подвод с.о.с. в зону резания.

В практике имеет применение подвод в зону резания с.о.с. под давлением; особенно в случае протягивания отверстий большой длины /3, 5/ . Здесь жидкость выступает не только в качестве с. о. с., но и как средство для удаления стружки. Эффективность в этом случае значительно выше, но необходимо иметь специальную гидростанцию и защитные устройства, предохраняющие от разбрызгивания жидкости.

Наиболее эффективным является подвод с. о. с. в распыленном состоянии. Описываются различные устройства для распыления и указываются преимущества охлаждения распыленной жидкостью /4/ . Устройства распыления с.о.с. основаны на использовании принципа жиклера.

Струей сжатого воздуха захватываются частицы жидкости и в виде " тумана " подаются в зону резания. Часть распыленной жидкости, попадая в зону резания (зону высокой температуры), испаряется, т.е. осуществляется охлаждение в результате энергоемкого перехода из одного агрегатного состояния в другое (из жидкого - в газообразное). Другая часть - благодаря тому, что имеет размеры капель " 15- 25 мкм " и высокую кинетическую энергию, обладает большой способностью проникновения в микротрещины, увеличивает эффективность действия поверхностно-активных веществ и улучшает условия резания. Этот метод применялся при наружном протягивании, но из-за высокого уровня шума установок не нашел широкого применения.

Нами в качестве способа охлаждения была использована аэрозоль, т. е. применялось с.о.с. в распыленном состоянии. Аэрозольный баллон содержал:

распыливаемое вещество - олеиновую кислоту - 5%,

пропеллент - фреон 12 - 95%.

Олеиновая кислота была применена, т. к. она не взаимодействует с фреоном и

является поверхностно-активным веществом. Фреон, является наиболее распространенным пропеллентом и кроме того отличным охлаждающим средством, т.к. в баллоне он находится в сжиженном состоянии под давлением. При срабатывании клапана пропеллент захватывает_частицы кислоты и испаряется. Физика процесса подобна как и при случае жиклерного типа, однако, более эффективна, т.к. дисперсность частиц меньше (2...5 мкм) и охлаждение осуществляется фреоном за счет изменения агрегатного состояния.

Для испытания была сконструирована протяжка с поперечными каналами для подвода с.о.с. в зону резания, схема которой показана на рис. 1.

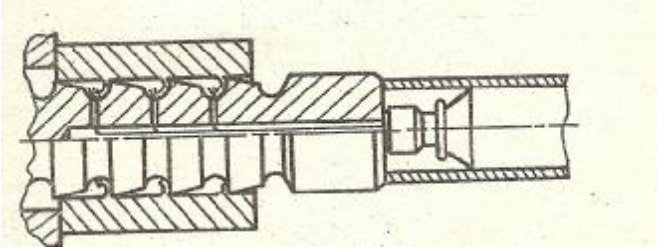


Рис. 1. Схема протяжки с аэрозольным охлаждением.

Протягивались заготовки из стали 40Х со скоростью резания $V = 3$ *м/мин*. Диаметр протягивания 25 мм. Для сравнения осуществлялось протягивание без с. о .с., с охлаждением 5% - ной эмульсией и аэрозолью. Для оценки методов производилось измерение температуры и силы резания, шероховатости и волнистости обработанной поверхности. При этом отмечалось, что температура резания при охлаждении аэрозолью снижается на 40% по сравнению с температурой резания без применения с. о. с. и на 20% - по сравнению с охлаждением 5%-ной эмульсией. Существенное изменение происходит и с усилием резания (рис. 2).

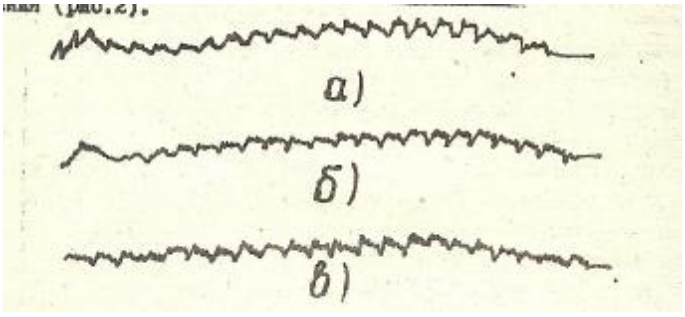


Рис. 2. Усилие резания при протягивании:
а) без с. о. с.; б) 5%-ная эмульсия; в) аэрозоль

При этом, как следует из осциллограмм, происходит не только уменьшение силы резания, но и качественное изменение осциллограммы силы резания – она более равномерна по всей длине протягивания.

Шероховатость обработанной поверхности также улучшается, если без с. о. с. шероховатость была равной $R_a = 2{,}5$ *мкм*, при 5%-ной эмульсии - $R_a = 1{,}25$ *мкм*, то когда применялась аэрозоль- $R_a = 0{,}5$ *мкм*.

Характер изменения волнистости показан на рис. 3. По существу можно отметить, что при данной чувствительности прибора волнистость прибора пропадает.

Проведенный анализ выявляет преимущества этого метода. Кроме того следует отметить, что происходит полное стружкоотделение от протяжки и отсутствует дополнительный шум, так как нет приводного устрой-

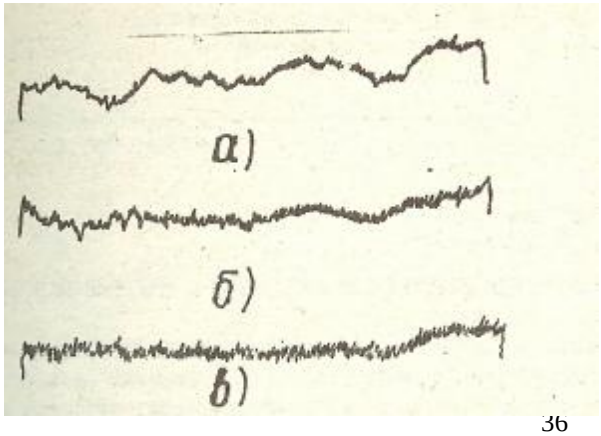


Рис. 3. Волнистость поверхности после протягивания:
а) без с. о. с.; б) 5%-ная эмульсия; в) аэрозоль

ства, которое имеется в случае жиклерного охлаждения. Но имеются также и недостатки: используемые баллоны имеют непродолжительное действие, при этом необходимо работать с местным отсосом.

Список литературы: 1. Резников А.Н. Теплофизика резания:. - М.: Машиностроение, 1969. – 288 с. **2.** Холодов Б.Ф. Влияние охлаждения при протягивании на теплоотвод от детали // Некоторые вопросы протягивания. - Рига: Риж. политехн. ин-т, 1971.- С. 20-31. **3.** Кацев П.Г. Обработка протягиванием:Справочник. - М.: Машиностроение, 1986.-272 с. **4.** Гаврилов Г. М., Смирнов А.А. Струйное охлаждение распыленными жидкостями.- Куйбышев.: Куйбышевское кн. изд-во, 1966. – 42 с. **5.** Протяжки для обработки отверстий / Д. К. Маргулис, М. М. Тверской и др. М.: Машиностроение, 1986.-230 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ С ПОЗИЦИЙ САМООРГАНИЗАЦИИ СТРУКТУР

Христафорян С.Ш., Баласанян А.Б., Тер-Петросян А.Т., Григорян Г.Р.,
(ГИУА, АООТ "Гоар", Ереван, Республика Армения.)

Experimental researches of process of ultrasonic emulsification of an admixture of motor oil of mark SAE 20W50 with water establishe stages of its passing on the basis of which the competitive response of its exposition which simultaneously takes into account effecting and destruction of its amounting builders is offered. It is established, that during emulsification in basic two stable states of formation of pap are occur owing to which two paps of different concentrations can be received, which at durating scoring by ultrasonic sound are transfer in a unique state with deriving pap of the greatest concentration

Достижения современной науки в вопросе самоорганизации материальных структур (1-3) показывают, что процесс эмульгирования, в том числе с применением акустической энергии, может быть рассмотрен как самоорганизующийся процесс получения новой материальной структуры, а именно, два несмешивающихся жидкостей, когда одна из них с высоким удельным весом в реакторе занимает минимум потенциала, другая же над ним, в соответствии с удельным весом, при возбуждении в этих четко разграниченных средах вибраций произвольной частоты смешиваються и, в зависимости от продолжительности воздействия и энергии вибрации, структурируются в эмульсию определенного качества. Как показывают исследования, фрагментация и устойчивость эмульсии, явно зависят от параметров и схемы подвода дополнительной энергии в реактор. Возбуждение в средах ультразвуковых колебаний (УЗК), в этом контексте, повидимому, наиболее правильное технологическое решение для получения эмульсий, причем от параметров УЗК зависят и величина подводимой энергии и кинематические аспекты принудительного смешивания, т.е. фрагментация эмульсии и её дальнейшая устойчивость. При подводе энергии в тепловой форме можно наблюдать конвективные потоки и неявные нарушения в границе раздела сред, но без интенсивного смешивания сред получение эмульсии маловероятно.

Отметим некоторые теоретические аспекты повышения эффективности процесса эмульгирования при смешивании двух веществ, когда одно из них (вода) с высоким удельным весом занимает минимальное потенциальное положение в реакторе, а другое (масло моторное или дизтопливо) находится над ним. Заметим, что возможна и задача эмульгирования нескольких сред. При возбуждении УЗК в обьеме реактора энергия от

излучателя будет распространяться в обе среды, насыщая на своем пути ансамбли сред дополнительной энергией, интенсивность которой будет зависеть от положения и формы излучателя. Известно, что в волне УЗК в полупериоде разрежения возникают кавитационные пузырьки, которые схлопываются при переходе в область повышенного давления и приводят к образованию мощных гидродинамических возмущений в виде микроударных волн и микропотоков, т.е. условий, необходимых для расщепления сред на ансамбли определенного размера и их перемешивания, т.к. это воздействие вызывает разрушение таких прочных веществ, как сталь и кварц, но в определенном удалении от источника подводимая к ансамблю среды энергия явно снижаться, ввиду расширения фронта потока энергии и естественных потерь.

Рассматривая характерные конфигурации излучателей и допуская, что энергия УЗК в данной точке пространства среды корреляционно связана с её амплитудой и учитывая трение между излучателем и средой можно схематически определить эквипотенциальные фронты распространения энергии. Анализ схем показывает, сколь существенно влияние конфигурации излучателя и инженерии его расположения относительно границы сред на интенсивность процесса эмульгирования. Заметим, в литературе этот вопрос рассмотрен недостаточно основательно и рекомендации по нему мало обоснованы, но повышение эффективности эмульгирования с применением УЗК реально и это требует соответствующих исследований, т.к. возможно, что в зависимости от характеристик сред целесообразно наиболее распространенные излучатели расположить под некоторым углом к поверхности раздела сред. Для сосуда формы цилиндра желательно, чтобы оси излучателя и реактора совпадали, т.к.при этом обеспечится симметрия условий во всех осевых сечениях сосуда.

В начале процесса эмульгирования первые очаги эмульсии образуются в наиболее энергонасыщенных точках границы сред. В них энергии УЗК хватает, чтобы расщепить из сред такие ансамбли, для сохранения устойчивости которых его поверхностная энергия достаточна. Ансамбли сред, в результате высоких напряжений сжатия и сдвига при прохождении волны УЗК, вследствие элементарного акта перемешивания составят новую очаговую структуруматерии, именуемую эмульсией, которая будет разрастаться до размеров энергодостаточной области, за которой пространство не обладает энергией, достаточной для образования какого-либо самостоятельного ансамбля среды, т.е. объем эмульсии не будет расти, а среда с уже образованной эмульсией вследствии трения будет разогреваться.Тогда, для продолжения процесса и захвата новых порций сред, нужно увеличить поток энергии. Такой сценарий диктуется объективными законами материального мира, но в реальности наблюдается иное. За границей фронта волны, вблизи которой протекает процесс эмульгирования, продолжается образование структур эмульсии и часто в этот процесс захватывается весь объем реактора реальных размеров. Этот сосуд надо именовать реактором, т.к. реагирующие в нем материальные структуры в результате преобразований в потоке энергии зарождают новую структуру, обладающую новым, отличным от реагентов, набором физико-механических свойств. Нужно отметить, что структуры эмульсий, по существу, масштабно подобны, и их основным отличительным признаком является степень фрагментации ансамблей.

Если образованный в результате потока энергии ансамбль среды сохраняется, а процесс образования ансамблей продолжаться, или, наоборот, может разрушиться, т.е. деградировать, и воссоединиться с основной средой, или исчезнуть, то эмульгирование прекращается. Следовательно, для данного процесса логично рассматривать процессы эволюции и деградации как одно целое и в конкуренции этих процессов искать ответы

на вопросы образования очагов эмульсии, затем и самих эмульсий. Это обусловлено тем, что зафиксированные исследованиями первичные очаги эмульсий реальных размеров, в зависимости от параметров эмульгирования при наличии УЗК, отмечают явно самоорганизационный характер явлений, протекающих в зоне контакта жидких сред. При этом, трудно ожидать, что образованные ансамбли по набору характеристик, размеру и энергии поверхности будут одинаковыми, а это значит, что вероятности сохранения и деградации различных ансамблей эмульсии будут неодинаковыми. Если вероятность сохранения для конкретного ансамбля выше вероятности исчезновения, а вероятность их образования выше вероятности образования предрасположенных к деградации, то процесс эмульгирования продолжится до логического завершения. В реальности, для конкретных условий эмульгирования, т.е. при конкретике рода и объемов сред, характеристиках УЗК системы и температуре, технологическая система эмульгирования, по-видимому, находит самостоятельно неповторимый, единственно возможный сценарий развития, характерный для данного набора характеристик процесса и участвующих в нём жидкостей, а любые изменение в пространстве входных параметров процесса, например положения излучателя УЗК, приведёт к изменению конфигурации структуры, но сохранятся закономерности или масштабность. Процесс зарождения структуры эмульсии представится как количественно-качественные изменения, в результате чего две различные структуры вещества образуют новую структуру. Этот процесс начинается с момента начала возникновения первого очага эмульсии и продолжается до момента формирования полнообъемной эмульсии.

Исследование закономерностей протекания высокоэффективного эмульгирования проведены с применением мощных УЗК. Эксперименты УЗ эмульгирования моторного масла марки SAE 20W50 с водой показали, что в начале процесса, под действием УЗК, в силу кавитационных явлений, из масс масла и воды происходит образование более мелких частиц - X и Y. Одновременно происходит перемещение ранее образованных X частиц масла в оставшуюся водную среду с образованием в ней эмульсии и перенос частиц Y воды в оставшуюся масляную среду с образованием эмульсии в ней. Часть частиц X масла переходит в масляную среду, сливаясь с ней, т.е. за счет них ранее уменьшенная масса масла увеличивается. Аналогично, образованные частицы Y воды переходят в среду воды, сливаясь с ней, вследствие чего за счет поступивших частиц увеличивается ранее уменьшенная масса воды. И, наконец, соединение частиц Y воды с X масла обуславливает образование нового вещества Э-эмульсии. Таким образом, полная энергия УЗК в реакторе эмульгатора расходуется по сценарию: образование из сплошных масс масла и воды X частиц масла и Y воды; перемещение образованных частиц X масла в масляную среду и сливание с маслом; перемещение в водную среду образованных частиц Y воды и сливание с водой; перемещение образованных частиц X масла в водную среду с образованием эмульсии; перемещение образованных частиц Y воды в масляную среду с образованием эмульсии; дробление образованных частиц Y воды в среде масла на две мелкие частицы воды 2Y; дробление образованных частиц X масла в среде воды на две мелкие 2X частицы масла; соединение частиц X масла и частиц Y воды с образованием эмульсии.

Введем обозначения: M_M и M_B - начальные объемные концентрации в реакторе масла и воды; $Э$ -объемная концентрация эмульсии в реакторе, X и Y – концентрации возникщих отдельных частиц масла и воды в реакторе. Допустим, система эмульгирования состоит из n компонент, отличающихся свойствами (например, составом ансамбля эмульсии или её пространственной формой) и взаимодействующих с исходными средами, что приводит к появлению аналогичного свойства. Вопросы кон-

курентности состояний, предполагая возможности эволюции и деградации возникщей структуры, для данного процесса можно интерпретировать как образование и исчезновение очагов эмульсий или самих ансаблей. Учитывая обозначения процесс УЗ эмульгирования масла и воды, схема конкурентной реакции, описывающая производство и разрушение компонент и, в их взаимодействии, возникновение переходных компонент, которые могут сохраниться и эволюционируя размножаться, или же деградируя изчезать, представится в виде конкурентной реакции, одновременно описывающей производство и разрушение ее составляющих компонентов:

$$\begin{aligned} &1)\ M_M + M_B \xrightarrow{K_1} X + Y, \quad 2)\ X + M_M \xrightarrow{K_2} M_M, \quad 3)\ Y + M_B \xrightarrow{K_3} M_B, \\ &4)\ X + M_B \xrightarrow{K_4} 2X, \qquad 5)\ Y + M_M \xrightarrow{K_5} 2Y, \qquad 6)\ X + Y \xrightarrow{K_6} Э. \end{aligned} \tag{1}$$

Из (1) можно получить кинетические уравнения для веществ X и Y в виде:

$$\frac{dX}{dt} = K_1 M_M M_B + (K_4 M_B - K_2 M_M)X - K_6 XY, \tag{2}$$

$$\frac{dY}{dt} = K_1 M_M M_B + (K_5 M_M - K_3 M_B)Y - K_6 XY. \tag{3}$$

В квазистационарном режиме из (2) и (3) имеем:

$$\begin{cases} K_1 M_M M_B + (K_4 M_B - K_2 M_M)X_q - K_6 X_q Y_q = 0, \\ K_1 M_M M_B + (K_5 M_M - K_3 M_B)Y_q - K_6 X_q Y_q = 0, \end{cases}$$

откуда можно получить:

$$X_q = \frac{K_5 M_M - K_3 M_B}{K_4 M_B - K_2 M_M} Y_q. \tag{4}$$

Подставив (4) в (2) и (3) и произведя соответсвующие преобразования, можно получить:

$$Y_q = \frac{K_4 M_B - K_2 M_M}{2K_6}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4K_1 K_6 M_M M_B}{(K_5 M_M - K_3 M_B)(K_4 M_B - K_2 M_M)}}\right), \tag{5}$$

$$X_q = \frac{K_5 M_M - K_3 M_B}{2K_6}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4K_1 K_6 M_M M_B}{(K_5 M_M - K_3 M_B)(K_4 M_B - K_2 M_M)}}\right). \tag{6}$$

Как видно из выражений (5) и (6), имеют место два, отличных от нуля, решения, что позволяет предположить, что процесс УЗ эмульгирования имеет два устойчивых квазистационарных состояния. При этом, эмульсии могут быть получены в обеих состояниях (в среде масла и в среде воды), которые отличаются своей концентрацией, вследствие чего в гравитационном поле эмульсия в среде масла находится выше эмульсии в среде воды (рис.1). Очевидно, что в конце процесса эмульгирования в реакторе практически должны отсутствовать различимые следы воды и масла, т.е. к концу процесса должны иметь условия $M_M \to 0$ $M_B \to 0$. В этом случае из (5) и (6) можно полу-

чить $Y_q = 0, X_q = 0$, т.е. можно допустить, что при УЗ эмульгирования его составляющие компоненты не могут быть израсходованы одновременно. При таком допущении можно заключить, что одна из компонент может быть израсходована раньше, например масло, чем вторая. В таком случае имеем $M_M \to 0$, что позволяет из (5) и (6) получить соответственно:

$$Y_q = K_4 M_B / K_6, \quad X_q = -K_3 M_B / K_6. \tag{7}$$

В противном случае $M_B \to 0$, с учетом которого из (5) и (6) можно получить:

Рис.1. Два явно устойчивых состояния структуры эмульсия

$$Y_q = -K_2 M_M / K_6, \quad X_q = K_5 M_M / K_6. \tag{8}$$

Таким образом, в процессе эмульгирования можно получить два типа эмульсий, отличающихся концентрацией, величины которых, зависят от производства и разрушения их составляющих компонент, следовательно, и от схемы подвода энергии УЗК. Отметим, что этот процесс особенно явно проявляется в таких случаях УЗ эмульгирования, когда в жидкую среду реактора одновременно вводятся и низкочастотные колебания. Дальнейшее озвучивание жидкой среды приводит к образованию эмульсии наибольшей концентрации.

Список литературы: 1. Пригожин И. От существующего к возникающему. – М.: Наука. 1985. - 327 с., 2. Пригожин И. От существующего к возникающему. – М.: Наука. 1985. - 327 с., 3. Христафорян С.Ш., Баласанян Б.С. и др. Синергетические принципы организации области резания при обработке материалов с применением принудительных колебаний. // Информационные технологии и управление. 4-2.-2002.–Ереван: 2002. с.137-142.

К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Христафорян С.Ш., Баласанян Б.С, Христафорян Э.С., Григорян Г.Р.
(ГИУА, АООТ "Гоар", Ереван, Республика Армения.)

To ensure the output of the processing structure with the low speeds of cutting from the state of the unstable process of cutting is possible only due to an increase in energy saturation with the processing structures makeup by its energy, since it is not possible to ensure the proper, steady functioning of systems without having ensured with their appropriate energy state; therefore in the processes of machine building it is necessary to widely inject the contemporary methods of working, based on the supply of additional energy into the processing structure.

В настоящее время на природу автоколебаний системы СПИД – обрабатывающей структуры (ОС) при резании материалов, рассматриваемых, прежде всего, с позиций их влияния на качество и точность обработанных деталей, нет полного единства взглядов

и уже перечень основных причин, рекомендуемых для правильного понимания условий возникновения автоколебаний в ОС, подтверждает отсутствие объективных знаний об их природе (1). Неустойчивость ОС нежелательна и рекомендуется применять такие режимы резания, при которых в ОС не возникают вибрации. Известно, что колебания ОС резко снижаются при высоких скоростях резания - V_P, но при этом нужен режущий клин выдерживающий высокотемпературное воздействие и высокоэффективные СОЖ, но их разработка пока не обнадеживает результатами, при том, что в этом направлении получены реальные результаты, а повышение жесткости ОС ограничено объективными факторами и приводит лишь к изменению параметров колебаний ОС. Поэтому анализ вопросов возникновения автоколебаний в ОС и поиск адекватных решений в борьбе с ними, в свете современных требований к точности и качеству деталей техники, одна из актуальных задач науки и машиностроения. ОС замкнутая многозвенная структура из многих упругих элементов, а замыкающее звено в ней есть область или структура резания (СР), где при определенных условиях упругость обрабатываемого материала (ОМ) переходит в пластичность и реализуется подводимая к ОС энергия. Вибрации широкого спектра в ОС возникают во всех звеньях ввиду наличия консервативных сил, а автоколебания, в определенном диапазоне V_P, приводящие к резкому ухудшению качества обработанной поверхности, скорее всего, необходимо отнести к процессу резания (ПР) –движению режущего клина (РК) в среде с сопротивлением.

Допуская, что с позиций автоколебаний ОС осуществляет ПР в неудобной точке фазового пространства состояний, остановим ПР в момент, когда под действием силы, обусловленной источником энергии, все упругие элементы ОС отжаты в крайние для данных условий положения, при этом ОС насыщена энергией и может совершить работу. Если её незначительно дожать и довести до предельного энергонасыщения- $E_П$, то сила станет достаточной для осуществления работы деформирования некоторого объёма исходного ОМ с образованием элемента стружки и переноса его по передней грани РК, но акт резания будет кратковременным и единичным, т.к. в итоге диссипации энергии её количество станет недостаточным для продолжения ПР. Таким образом для осуществления акта резания, ОС должна аккумулировать определенную и достаточную энергию, т.е. ОС, в некотором роде, аккумулятор энергии. Остановившись после акта резания СО будет обладать частью начальной энергии $-E_{ОСТ}$ и для совершения последующего акта резания её надо дополнить для достижения $E_П$. Расход энергии на элементарный акт резания будет $E^- = E_П - E_{ОСТ}$. Если ОС извне подпитывается, то ПР будет продожаться так долго, пока приток энегии превышает или равен её расходу, т.е. $E^+ > E^-$. Если же $E^+ < E^-$, то ПР будет протекать до тех пор, пока суммарная энергия достаточна. Чередование этапов накопления и диссипации энергии будет повторяться в автоколебательном режиме, т.е. диссипативная ОС, находящаяся под действием диссипативных, обычно восстанавливающих, сил, придающих системе колебательные свойства, неизбежно подвержена автоколебаниям при воздействии позиционной силы, причем потери энергии непрерывно восполняются из источника, а её потоки управляются движением системы, т.е. ОС по своей природе автоколебательная и связывать появление автоколебаний в ОС с периодическим срывом нароста или др. явлениями, по-существу, нерезонно. Их влияние на колебательные свойства ОС должно проявляться лишь через изменение параметров автоколебаний.

Рассмотрим процессы аккумулирования и диссипации энергии ОС в зависимости от обусловленной настройкой ОС технологической скорости резания - V_{PT}. В случае

автоколебаний V_{PT} не равна фактической скорости резания -$V_{P\Phi}$, с которой в среде ОМ перемешается РК. Будем останавливать движение ПР при насыщении ОС энергией E_{Π} и запускать её после совершения элементарного акта ПР. На накопление, достаточной для начала акта ПР, энергии E_{Π} необходимо некоторое время t, т.к. V_{PT} конечная величина (рис.1, точка1). Если при этом прекратить подпитку ОС энергией, то после совершения акта ПР и расхода части энергии, она за конечный интервал времени t_1 перейдет в точку 2. Затем, за время t_2, зависящее от V_{PT}, ОС будет дожата (точка 3) до потенциала E_{Π} с последующим повторением цикла. Накопление и диссипация энергии в ПР протекают посредством в корне отличных друг от друга физических процессов, более того, каждый из циклов накопления и расхода будет протекать по схожей, но отличной траектории, поэтому рассматриваемый процесс в координатах энергия - отклонение представится как атрактор, замкнутый цикл - явный и достаточный признак автоколебательных свойств диссипативной СР (рис.2). Интервалы времен t_1 и t_2 различны и определимы. Интервал t_1, зависящий от множества, обуславливающих пространственную конфигурацию СР, факторов; набор свойств деформируемого материала, внешне трение и др., для данного случая ПР при неизменных параметрах резания можно определить экспериментально.

Первый интервал периодической части зависимости $E = f(t) - t_1$, следующий за этапом начального накопления энергии ОС, в случае подпитки ОС энергией увеличится и станет временным интервалом расхода энергии СР при непрерывном её притоке. Вид этой зависимости будет сложным, зависящим от соотношения и характеристик потоков энергии, а от интенсивности подпитки будет зависеть соотношение интервалов времен t_1 и t_2 в периоде T одного полного акта ПР. Жестко настроенная на ПР данная система СПИД, до его осуществления имеет определенную собственную частоту. В ПР, когда замыкающее звено СР включается в ОС, частота автоколебаний может быть иной и из пространства возможных частот выделится предпочтительная. Эксперименты показали, что при неизменном сечении срезаемого слоя и стабильных параметрах ОС, влияние V_{PT} на частоту автоколебаний несущественно, т.е. энергетическое состояние ОС характеризует амплитуда автоколебаний, которые могут быть и негармоническими.

Продолжительность “чистого” резания в колебательном ПР меньше периода колебаний T, т.к. t_2 не равен нулю, т.е. $V_{P\Phi} > V_{PT}$. При этом $t_{P\Phi} = t_1 L_P / (t_1 + t_2) V_{PT}$;

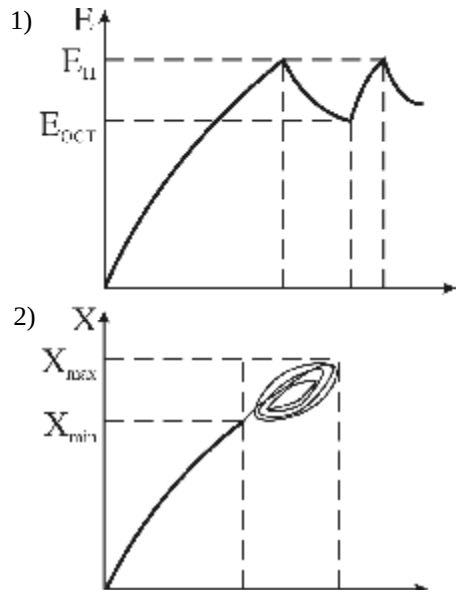


Рис.1,2. Энергетический поток при резании и отклонение ОС.

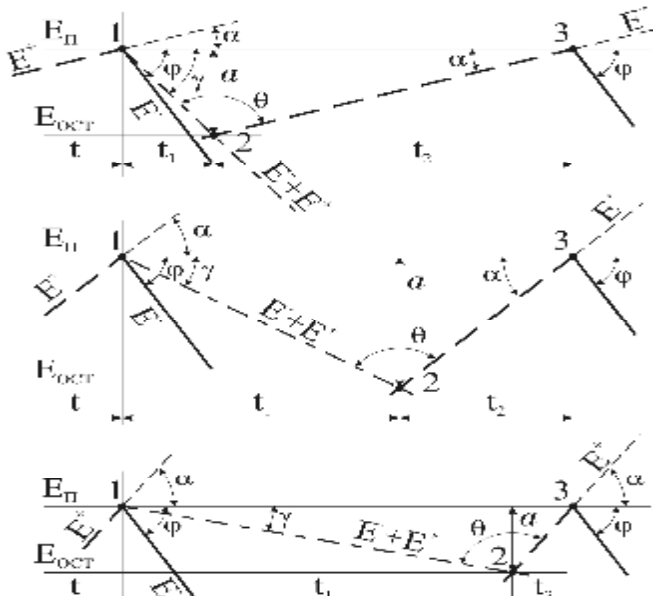


Рис.3. Диаграммы энергетического состояния ОС при различных скоростях её пртока в ОС.

$V_{РФ} = V_{РТ} T / t_1$; $L_Р / V_{РТ} = t_{РТ}$, где - $L_Р$ -путь резания, $t_{РТ}$ -время ПР. Отметим, что $V_{РФ}$ и $t_{РФ}$ зависят от интервала t_1, обусловленного скоростями притока и расхода энергии в самоорганизующейся СР. Допуская, что эти скорости неизменны для конкретного ПР, рассмотрены диаграммы, на которых представлены три различных энергетических состояния ОС, отличающиеся величиной скорости подвода энергии, следовательно, углом наклона a диаграммы E^+ от t (рис.3). Во всех случаях скорость расхода энергии в СР – dE^- / dt, т.е. угол j, принята постоянной, несмотря на то, что на скорость расхода энергии может влиять скорость её притока в ОС, т.к. известно, что с ростом скорости резания повышается температура СР и меняется набор характеристик ОМ, т.е. не учитывается влияние на ПР теплового и скоростного факторов.

В начале периода T (точка1) с диссипацией энергии и непрерывном её притоке в ОС энергетическое состояние ОС будет меняться по диаграмме $E^- + E^+$, а для второго цикла резания, начинающегося в точке 3, нужно время t_2 на накопление энергии $E_П$. Так как энергетическое состояния СО в периоде T неразрывная функция диаграммы $E^- + E^+$ для точки 1 и E^+ для точки 3 можно продолжить до пересечения в точке 2, т.е. с точки 2 начинается этап накопления энергии СО. Если энергетический уровень ОС, соответствующий точкам 1 и 3, уровень стабильного функционирования и устойчивого ПР, то точка 2 характеризуется как отклонение от этого уровня до уровня прекращения ПР с наличием остаточной энергии в ОС, кооreляционно связаной с отклонением ОС от неустойчивого равновесия в точке 1 и амплитудой колебаний. Если ОС подпитывается энергией недостаточно, то система попеременно может находиться в обеих состояниях и неустойчива по природе. В одном интервале времени энергии хватает для нахождения системы в новой, с позиций пространственно-временного континуума, конфигурации, в следующем, энергии не хватает и система возвращается в начальное состояние пребывая в ней столь долго, пока не будет накоплен достаточный для перехода потенциал энергии. Выбор строго определен. При недостаточном притоке энергии самоорганизующуюся СО будет находиться в режиме автоколебаний, в первую очередь, ввиду энергетического состояния. Внешние же факторы могут изменить параметры автоколебаний, но основная причина их возникновения недостаточность подпитки ОС энергией для перехода в новое состояние, отличающееся потенциалом порядка, определенностью функционирования, когерентностью поведения и пр. (2,3,4).

Диаграммы состояния ОС указывают, что положение точки 2, характеризуемое интервалом времени t_1 и амплитадой А, зависит от скорости притока энергии в ОС и

$$tg\,j = dE^- / dt = \left(E^-\right),\ \ tg\,a = dE^+ / dt = \left(E^+\right),\ \ tg\,g = d\left(E^- + E^+\right) / dt = \left(E^-\right) + \left(E^+\right)$$

$$tg\,g = tg\,j + tg\,a,\ \ \sin q / T = \sin a / l_{12} = \left(\sin a\ \cos g\right) / t_1.$$

Сделав преобразования получим, что $t_1 = T\left(dE^+ / dE^-\right)$, и $V_{РФ} = V_{РТ}\, dE^- / dE^+$. При $dE^+ = dE^-$, $V_{РФ} = V_{РТ}$ и $T = t_1$, т.е. в ПР автоколебания должны прекратиться при определенной скорости подвода энергии в ОС. Этого можно достигнуть уменьшением $\left(dE^- / dt\right)$ за счет изменения геометрии инструмента, предварительного нагрева ОМ , улучшения условий трения и иначе, что подтверждает практика резания. Прекращение автоколебаний ОС свидетельствует, что $A = 0$ и если

$$A = t_1\left(tg\,j - tg\,a\right) = T\left(dE^+ / dE^-\right)\left(dE^- / dt - dE^+ / dt\right),$$

а для данных условий резания $\left(dE^{-}/dt\right)$ величина постоянная и равна K, то максимум амплитуды будет наблюдаться при условии $tgj = 2tga = K$, т.е. если скорость притока энергии в ОС вдвое меньше скорости её расхода при единичном акте резания и для конкретного случая ПР максимум амплитуды автоколебаний ОС будет наблюдаться при определенной, обеспечивающей условие $t_1 = t_2 = T/2$, скорости притока энергии в ОС. Такие условия при конкретной частоте собственных колебаний ОС соответствуют наибольшей энергии имитирующего процесс резания осциллятора. Такая же картина обнаруживается при решении уравнения Шредингера для осциллятора, которое имеет разумные решения только при условии, что энергия осциллятора удовлетворяет условию $E_n = hn(n + 0{,}5)$ и при $n = 0$, получается так называемая "нулевая энергия"- $E_n = 0{,}5hn$, что явилось базой для новых разработок в современной физике во второй половине 20-го века. Сходство явное, допустив, что hn характеризует возможный максимальный энергетический уровень структуры резания при данных условиях ПР, а E_n характеризует диссипацию энергии в единичном акте резания в автоколебательном режиме, и это говорит о продуктивности подхода в исследовании и о необходимости их продолжения в вопросе анализа неустойчивой СР с позиций достижений современной фундаментальной науки. В реальности, из-за ряда неучтенных факторов, максимум амплитуды будет отмечен при $t_1 < T/2$ и в полученные зависимости нужно включить коэффициент, учитывающий реальный характер расхода и притока энергии в СО – $K_Ф$.

В макроскопической картине мира время, по нашему мнению, имеет смысл только для систем нестатичных, в том числе и для нас наблюдателей, исследующих таковые, а для систем, в которых изменений не происходит или они, для исследований согласно целям, не существенны, с позиций процесса время не будет имеет продолжительности и направления, что весьма важно с позиций реальной продолжительности ПР в режиме автоколебаний (собственное время СР), и, разумеется, исследований закономерностей изнашивания и стойкости инструмента. В автоколебательном ПР, когда фигурируют огромное количество параметров различного рода, влияющих на бифуркационный процесс, полная симметрия процесса, практически, исключается и автоколебательный режим функционирования системы должен характеризоваться асимметричным замкнутым циклом, поэтому для ПР, видимо, необходимо ввести коэффициент неучтенных факторов $K_Ф$. Такое допущение продуктивно, т.к. все зафиксированные замкнутые циклы далеки от симметричности и с этих позиций, видимо, необходимо уточнить математически чисто полученную зависимость "нулевой энергии" – для ОС. Так как определено, что автоколебательный режим обработки зависит от методов и режима притока энергии в систему, которые, безусловно, необходимо на данном этапе развития техники пересмотреть и усовершенствовать, не трудно убедиться в том, что по этим вопросам необходимы серьезные комплекссные исследования.

На рис. 4 приведены графические интерпретации зависимости амплитуды автоколебаний ОС от скорости притока энергии при произвольных скоростях расхода, с учетом коэффициентов K и $K_Ф$. Теоретические зависимости имеют явную сходимы с экспериментальными результатами ряда исследователей / В.А. Кривоухов, Д.Н.Решетов, А.И.Каширин, Л.И. Кучма и др./.

Резюмируя отметим. Параметры автоколебаний ОС в диапазоне условий неустойчивого ПР влияют на истинную величину V_P и на обусловленные им или связанные с ней параметры ПР. Они находятся в строгой зависимости от количества энергии вво-

димой в СР в единицу времени, и, т.к. энергию в СР можно вводить не только за счет динамики традиционного ПР, но и насыщать её предварительным нагревом, или акустической энергией УЗК или как-то иначе, то любой из этих методов позволит снизить порог технологической скорости, при которой система выходит из состояния неустойчивости и автоколебания в ОС не возникнут. Важно то, что широкая гамма современных труднообрабатываемых материалов, которые, из-за катастрофического износа инструмента при высоких скоростях и температурах резания, обрабатываются, как правило, непроизводительными скоростями резания и потоками энергии, что неизбежно приводит к автоколебаниям ОС, против которых, в лице дополнительной подпитки ОС энергией, можно успешно бороться, что позволит повысить эффективность процессов резания отмеченных материалов.

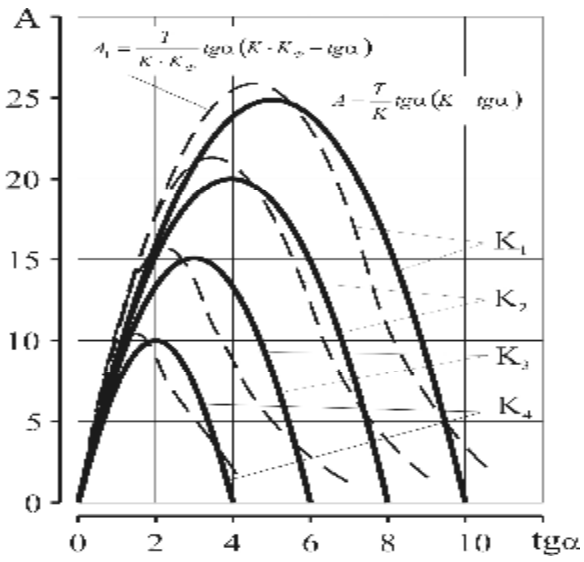


Рис.4. Теоретическая зависимость амплитуды автоколебаний от скорости притока энергии в ОС.

$K_4 > K_3 > K_2 > K_1 \quad T = const$

Обеспечить выход ОС при малых скоростях резания из состояния неустойчивого ПР можно только лишь за счет повышения энергонасыщенности ОС подпиткой её энергией, т.к. невозможно обеспечить должное, устойчивое функционирование систем не обеспечив их соответствующим энергетическим состоянием, поэтому в процессы машиностроения необходимо широко внедрять современные комбинированные методы обработки, основанные на подводе дополнительной энергии в ОС.

Список литературы: 1. Вибрации в технике. Под.ред. И.И. Блехмана; М; Машиностроение.1979, т.3, 486 с, **2.** Христафорян С.Ш. Вопросы формирования пространственной структуры твердого тела стружки при прерывистом резании. /РСНТО, Арм.ССР, Мат. 24НТК. Ереван, 1987, с. 187-194, **3.** Касьян М.В.,Христафорян С.Ш. Об организации струтуры резания. М; Изв. ВУЗ-ов, 1990, т2 с. 121-124, **4.**Христафорян С.Ш. О процессе резания материалов как самоорганизующейся структуре по переработке вещества. – Ереван.: Изв. НАН РА, Серия тех.наук, том 2, 1999, - 145-152 с

ВОПРОСЫ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЬЕКТОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Христафорян С.Ш.,Григорян Г.Р.,Христафорян Э.С., Парикян Ф.А., Артунян А.В.
(ГИУА, АООТ "Гоар", Ереван, Республика Армения.)

The process of cutting as the process of the formation of the new structures of substance due to the region of plastic deformation with the cutting is examined and it is determined, that the process of cutting is achieved according to the diagram of the majority of creative processes. This process undoubtedly can be considered "bryusselyator" and asserted that the reality of this theoretical model is proven both by practice and reality the process of cutting.

Весьма сложным, с позиций пластического деформирования материала, является процесс резания (ПР), когда в области резания (ОР), вдали от температур фазовых переходов, упругость обрабатываемого материала (ОМ) переходит в пластичность и формируется новая структура вещества – стружка, обладающая иным уровнем порядка. Достоверные результаты теории резания в исследовании процесса стружкообразования отмечают явно выраженную с уровнем порядка конфигурацию ОР. Анализ структур ОР, стружки и исходного материала позволяет утверждать, что ОР представляет собой функциональное устройство формообразования стружки и, с этих позиций, вопросы возникновения и структурной организации ОР важнейшие в проблеме разработки физической модели ПР и обьектов пластического деформирования вообще (1,4,5).

ОР отличается: очень сложной схемой деформирования и картиной напряженного состояния, наличием существенных сил контактного трения, динамическим режимом пластического деформирования и прочим, поэтому набор прочностных характеристик деформируемого материала по схеме ПР будет отличным от его же характеристик при растяжении. Сравнивая их отметим, что в ОР есть области, где макропластические деформации: не наблюдаются $(s < s_{ПЦ})$; появляются её признаки $(s_{ПЦ} < s < s_{УП})$; они происходят $(s_{УП} < s < s_T)$ и где наблюдается явный переход в пластическое состояние $s_T < s$. Очевидно, что распределение напряжений сжатия в направлении перемещения ОМ в ОР неразрывная функция, следовательно, все области должны иметь реальный размер и в ОР не может быть какой-то плоскости или веера плоскостей сдвига.

Разделим ОР такими условными поверхностями-границами или мембранами (УМ) на пять областей, в которых напряжения соответствуют определенным прочностным характеристикам деформированого резанием материала и представим негомогенную ОР в сечении в виде гомогенных подсистем определенного состава и свойств(рис.1) с переносом вещества в направлении оси X и потоками тепла между имеющими общую границу ячейками. Состояние вещества в ОР представится как: A-изотропный исходный ОМ; B- анизотропия со структурой, характерной пластическому сдвигу; $Д$- анизотропия, присущая стружке. Материал с энергией E за УМ $а-а$ в подобласти 2, пройдя по определенному закону сценарий состояния, приобретёт структуру $Б$ у УМ $б-б$, промежуточную между состояниями A и B Если деформированный частично ансамбль материала представить предельно акцентированными частями K_2-полностью сжатых и K_1-недеформированных, то текущее состояние материала в области 2 будет $Б_T = K_{1T}A + K_{2T}B$, и $K_{1T} + K_{2T} = 1$, где K_{1T}, K_{2T}- текущие концентрации компонент A и B в ней. Для области 4 - $Г_T = K_{3T}B + K_{4T}Д$ и $K_{3T} + K_{4T} = 1$, а вся ОР представится блок-схемой (рис. 2). Поток вещества через УМ $а-а$ $-J_K$ пропорционален (скорости)

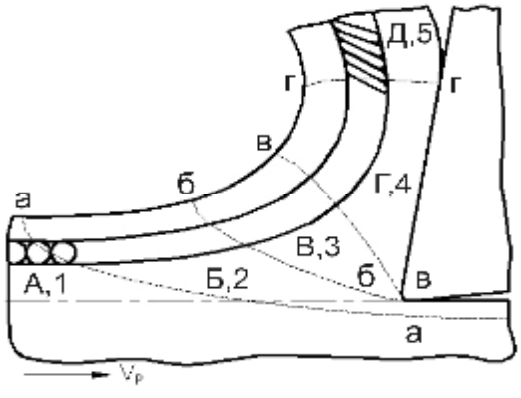


Рис.1. Условное разделение ОР на ячейки согласно выполняемых в них функций.

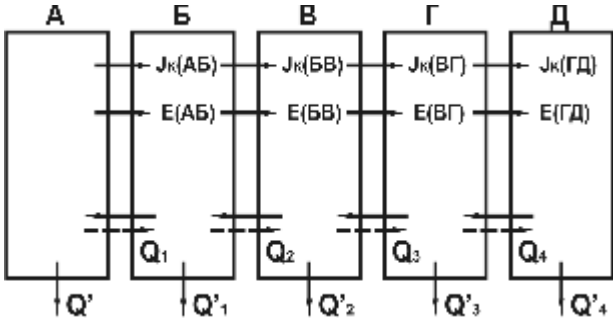


Рис.2. Блок схема ОР с потоками энергии и вещества между ячейками и в среду

энергии вещества -E_A в ячейке А и площади УМ $a-a-S_A$, т.е. $J_K(АБ)=D_K(АБ)E_AS_A$, где $D_K(АБ)$- коэффициент характеризующий пропускную способность УМ.

Аналогично можно записать зависимости для всех потоков вещества в подобластях. Граничные условия по сплошности материала диктуют равенство потоков $J_{K\,i}$ и можно, для принятых границ УМ, принять $D_{K\,i}=const$, тогда ввиду активных потерь энергии на структурирование ОМ $E_Д<E_Г<E_B<E_Б<E_A$ будем иметь $S_Г>S_B>S_Б>S_A$, т.е. ОР характеризуется такими поверхностями, площадь которых по мере продвижения материала через ОР непрерывно возрастает, а скорость вещества в ОР будет монотонно убывать в направлении оси X. Иной подход для пластического деформирования в ОР (ПДМ) имеющей свободные поверхности не подкреплен созидающими факторами.

Уточним механизм переноса вещества через принятые УМ. По условию деления ОР на подобласти до УМ $б-б$ происходит лишь деформация сжатия и нарушение симметрии свойств ОМ, а за ней начинается деформация сдвига и ансамбль материала УМ пройдет и перейдет в область B, если в нем накоплена для условного фазового перехода критическая энергия сжатия- E_{KP}. Ввиду непрерывности накопления энергии сжатия и конечности обьема ансамбля материала с соответствующими изменениями структуры, переход через УМ будет происходить периодически, по мере накопления ближайщими к УМ ансамблями материала E_{KP}. Иначе говоря, материал находясь в движении до УМ $б-б$ пытается преодолеть тормозящее действие режущего клина и сместить и УМ и последующие области, поэтому ближайщие к УМ $б-б$ ансамбли материла насыщаются энергией сжатия и, если она станет достаточной, то группа ансамблей $(Б_{KP})$ пройдёт УМ и она займет начальное положение. Цикл накопления энергии повторится. Так же УМ $в-в$ пропустит ансамбли ОМ если они израсходовали энергию на сдвиг настолько $(Б_{KP})$, что в дальнейшем могут находиться в устойчивой конфигурации. Ввиду наличия источника энергии в области $Г$ (трение материала с резцом) тут возможны пластические деформации, но через УМ $г-г$ пройдет лишь окончательно структурированная стружка. Можно смело утверждать, что $Б$-ячейка подготовки сырья, B- ячейка производства “продукта”, $Г$-ячейка установления устойчивого равновесного состояния ‘’продукта”.

Анализ особенностей ОР показал, что мембрана $б-б$ должна срабатывать только при определенной концентрации компонента B в подобласти $Б$-K_2 и для этого случая состояние $Б$ представится в виде $Б=K_{1KP}A+K_{2KP}B$ и $K_{1KP}/K_{2KP}=\Delta_{KP}$, где Δ_{KP}- соответствует критическому накоплению концентрации энергонасыщенного $Б$ и в момент срабатывания УМ ближащие к ней ансамбли $(Б_{KP})$ должны быть полностью насыщены компонентой B. Величина Δ будет, ограниченной по максимальной величине пределом перехода в закритическое состояние (бифуркация), функцией и, т.к. приток и диссипация энергии ячейкой происходит механизмами различными по природе, то зависимость Δ от энергии ячейки замкнется в предельный цикл - явный и достаточный признак автоколебательных свойств рассматриваемой структуры.

Режим функционирования УМ в ОР зависит от скоростей диссипации и притока энергии. Диссипация энергии в области B может быть непрерывной, тогда надо ожидать появление сливной стружки с бархатистой внутренней поверхностью, или небольшими квантами, тогда ожидается сливная стружка с зазубринами на внутренней поверхности, или одним квантом, тогда надо ожидать ярко выраженную элементную или суставчатую стружку, т.е. сдвигается значительный обьем материала. Если накопление и диссипации энергии идут с высокой скоростью, то область B будет иметь в направлении X толщину,

равную поперечному размеру деформированного ансамбля и представит собой две сложно пространственными поверхности заполненные одним рядом деформированных ансамблей материала, т.к. известно, что в различных слоях СР деформации различны. Эту структуру с допущениями различной степени можно упростить до сдвига между параллельными плоскостями, а если размер принятого ансамбля материала незначителен (менее размера зерна поликристалла), то и к сдвигу по единственной поверхности, а далее и к сдвигу по плоскости. Заметитм, что столь серьезные упрощения приведут к неправильным интерпретациям явлений, протекающих в ОР. Если диссипация энергии в ОР протекает с определенной скоростью, то область B в направлении оси X будет иметь ощутимый размер и её конфигурацию можно разделить веером поверхностей, сходящих к режущей кромке, когда между ними расходуется определенная энергия (2). Если же диссипация энергии в области B происходит непрерывно, то проведение в ней веера поверхностей, назовем их потенциальными, не целесообразно, т.к. характеризовать что-либо они не в состоянии и область B надо воспринимать как нечто целое с гомогенным изменением потенциала энергии от УМ $б-б$ к УМ $в-в$. ПДМ в ней должно протекать в ощутимом промежутке времени, а сама область будет иметь определенный размер.

В области $Г$ в процесс ПДМ включается созидающий фактор -трение материала в контакте с передней гранью резца, приводящее к торможению и разогреву материала и изменению конфигурации структуры материала, образованной в области B, что ярко проявляется в прирезцовых слоях материала в области $Г$, т.к. их температура намного выше внутренних. Здесь формируется характерное искривление текстуры стружки в сторону, обратную направлению движения. К точке отрыва стружки от резца у УМ $г-г$ снижаются давление в контакте и действие теплового фактора на ПДМ в области $Г$ и из-за отсутствия созидающих факторов прекращается формирования новых конфигураций и через УМ $г-г$ проходит окончательно организованная структура материала-стружка. Область $Д$, как и A, жесткая область, но с новой пространственной структурой, в них флуктуации и даже явные термодинамические отклонения не могут привести структуры в закрическую область параметров, чем исключается любая возможность появления новых конфигураций в материале. Они устойчивы и находятся в равновесии.

Подобласти $Б, B, Г$ находятся в закритическом состоянии, поэтому внутренние или внешние флуктуации могут вывести структуру ОР из равновесия с появлением новых, масштабно подобных конфигураций ОР: изменятся обьемы, положение и формы подобластей ОР. Отклонения структуры ОР от основной конфигурации есть флуктуации самой ОР, не приводящие к появлению новой, качественно отличной от наблюдаемой, их макроструктуры. Анализ устойчивости ОР к флуктуациям показал, что их можно разделить на три группы: те, к которым ОР безразлична; неустойчивые, флуктуации кратковременно меняющие масштаб ОР; устойчивые флуктуации, приводящие к поэтапной смене или устойчивой эволюции масштаба ОР и переходу в новую точку фазового пространства состояний ОР. Анализ подобластей ОР, УМ и условий переноса материала чарез них, основанный на гомогенном подходе позволяет составить схему процесса “производства” стружки.

Первый из них, протекающий в подобласти $Б$, представится следующим образом:

$$[A](E_A) \Leftrightarrow [K_1 A + K_2 B][E_Б] + Q_1^{`} \Leftrightarrow [K_{1KP} A + K_{2KP} B][E_Б] + Q_1^{`},$$

а последующие процессы как:

$$[K_{2KP} B][E_Б] = [Б_{KP}][E_Б] \Leftrightarrow [B][E_Б] + Q_2^{`};$$

$$[B_{KP}][E_B] \Leftrightarrow [K_3 B + K_4 Д][E_Г] + Q_3^{ч} \Leftrightarrow [K_{3KP} B + K_{4KP} Д][E_Г] + Q_3^{ч};$$

$$[K_{4KP}Д][E_Г]=[Г_{KP}][E_Г]\Leftrightarrow[Д][E_Д]+Q_4^ч,$$

где $[A][E_A]$ -исходный материал насыщенный энергией,

$[Д][E_Д]+Q_4^{`}$- конечный продукт- стружка в разогретом состоянии с энергией $E_Д$.

Приведенная схема процессов, протекающих в самоорганизующейся ОР есть, по существу, непрерывный с нужной продолжительностью действия “процесс получения” стружки. Заметим, что школой И. Пригожина разработана теоретическая модель такого процесса для случая химический реакций -“брюсселятор. Сущность её в том, что при регулярной подпитке реактора сырьем и энергией и выводе целевых продуктов процесса, концентрация промежуточных компонент меняется в режиме автоколебаний, самоорганизуется определенная структура или технологический процесс и если обеспечить непрерывную загрузку реактора и удаление продуктов он будет работать безостановочно. Эта модель в реальности не обнаружена и не нашла воплощение как техническое устройство.

Анализ вопросов возникновения (1) и организации ОР показал: ОР несомненно самоорганизующаяся структура; структура стружки более совершенна, чем исходного материала; ОР состоит из множества различных компонент, отличающихся свойствами и взаимодействующих с исходным сырьем, что приводит к появлению аналогичного свойства; образование стружки происходит при непрерывном притоке в ОР энергии и вещества и выводе целевых продуктов. Следовательно, ПР, как процесс формирования новых структур за счет ОР, можно безусловно считать “брюсселятором” и утверждать, что реальность его существования доказана реальностью и практикой ПР. Получены новые и подтверждены полученные ранее результаты по кинематике, динамике и разработке физической модели ПС (2,3).

Список литературы: 1.Касьян М.В., Христафорян С.Ш. К вопросу о механизме возникновения структуры резания. // Изв.ВУЗ-ов, Машиностроение. М.: - 2,-1990,-с.121-124. 2. Христафорян С.Ш. Вопросы формирования пространственной структуры твердого тела сливной стружки при непрерывном резании. //РСНТО, Мат.24НТК, Арм. ССР, Ереван,-1987,-с.187-188. 3. Христафорян С.Ш. Влияние УЗК на процесс пластического деформирования при высоких скоростях резания // Эл-физ и эл-хим методы обработки.-М.: НИИМАШ,-1983, -4, -с.9-12. 4. Христафорян С.Ш. О процессе резания материалов как самоорганизующейся структуре по переработке вещества.// Изв.НАН РА,Серия тех.наук, -1999, том 2, -с.145-152. 5. Христафорян С.Ш., Баласанян Б.С. и др. Синергетические принципы организации области резания при обработке материалов с применением принудительных колебаний. // Информационные технологии и управление. 4-2.-2002.–Ереван: 2002. с.137-142.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР ПРОИЗВОДСТВА

Чепелева Т.И. *(БНТУ, г. Минск, Беларусь)*

Mathematical modeling of structure of machine-building manufacture, structurization of a resource of manufacture is examined at the distributed and concentrated connection with processes of manufacture. Plans of the organization of interaction of components of structure of manufacture are resulted.

Рассмотрим сосредоточенные и распределенные конкурирующие процессы и некоторые основные положения метода структурирования ресурсов машиностроительного производства.

Возможность конвейерной реализации различных конкурирующих процессов зависит от практической возможности представления общего ресурса в виде последовательности составных частей. Множество процессов P назовем множеством конкурирующих процессов, если эти процессы обладают хотя бы одним общим ресурсом. Через общие ресурсы осуществляется взаимодействие процессов производства. Особую роль в машиностроении играет структурирование производственного ресурса и решение проблем оптимальной организации, как параллельных конкурирующих процессов производства, так и комплексных и их сосредоточенное распределение и выполнение. Разработан математический аппарат сетевых дуговзвешенных графов, а также получены способы расчета точных значений минимального общего рабочего времени выполнения всевозможных действующих производственных процессов рабочего ресурса с ограниченным числом интеллектуальных исполнителей с оценками трудоемкости согласно числу рабочих блоков и процессов.

Полученный математический аппарат служит отправной точкой в решении проблемы организации и распределении множества взаимодействующих конкурирующих процессов в машиностроительном производстве.

Основная идея метода структурирования процессов производства состоит в обеспечении декомпозиции (т.е. разбиении) рабочего ресурса на блоки и организации одновременного, параллельного использования этих блоков множеством процессов.

Для параллельного использования рабочих блоков характерным явлением является та ситуация, когда один и тот же блок или часть его необходимо выполнять многократно, циклически.

Подмножеством множества рабочих ресурсов или просто ресурсом назовем многократно выполняемый рабочий блок или часть его, а множество соответствующих производственных процессов – конкурирующими. Пусть $R_i, i = \overline{2,k}$ – некоторый ресурс, а P_i – множество конкурирующих процессов. Задача состоит в следующем: требуется организовать производство таким образом, чтобы общее время выполнения рабочих процессов $P_i, i = \overline{1,n}$, использующих ресурс R_i, было минимальным.

Для решения данной поставленной задачи применяется стратегия последовательного обслуживания n рабочих процессов с использованием различных механизмов и их распределение.

Под рабочим ресурсом в машиностроительном производстве будем понимать некоторый источник, основу для производства. Например: источник энергии – энергоресурс; основа для работы – сырье – сырьевые ресурсы; аналогично финансовые ресурсы, рабочие ресурсы и т.д.

Интеллектуальный исполнитель в машиностроительном производстве – это некоторая интеллектуальная машина. Основная его функция – распределение производственных процессов в определенной логической последовательности и обработка рабочего ресурса с целью получения некоторого конечного результата. Он создает, нормирует и обрабатывает производственные процессы. Интеллектуальный исполнитель производства – это организатор и исполнитель в одном лице (но в обратную сторону не всегда верно). Интеллектуальный исполнитель превращает хаос каких-то производственных задач в последовательную упорядоченную систему с целью достижения цели при их решении. Роль интеллектуального исполнителя могут исполнять, прежде всего, рабочий коллектив, автоматы, определенная робототехника, полуавтоматы и т.п.

Процессы – это определенные действия, направленные на решение поставленных производственных задач.

Рассмотрим более подробно на схеме «Структура производства» (рис. 1).

Пусть t – время выполнения каждым из процессов ресурса R. В этом случае суммарное время выполнения процессов: $T = nt$. Заметим, что дополнительные временные затраты на распределение процессов здесь не учитываются.

Время T можно существенно сократить, если обеспечить структурирование ресурса R производства на рабочие блоки $R_1, R_2, ..., R_k$ с последующей конвейеризацией как рабочих блоков по процессам, так и процессов согласно интеллектуальным исполнителям.

При этом необходимо пройти следующие этапы:

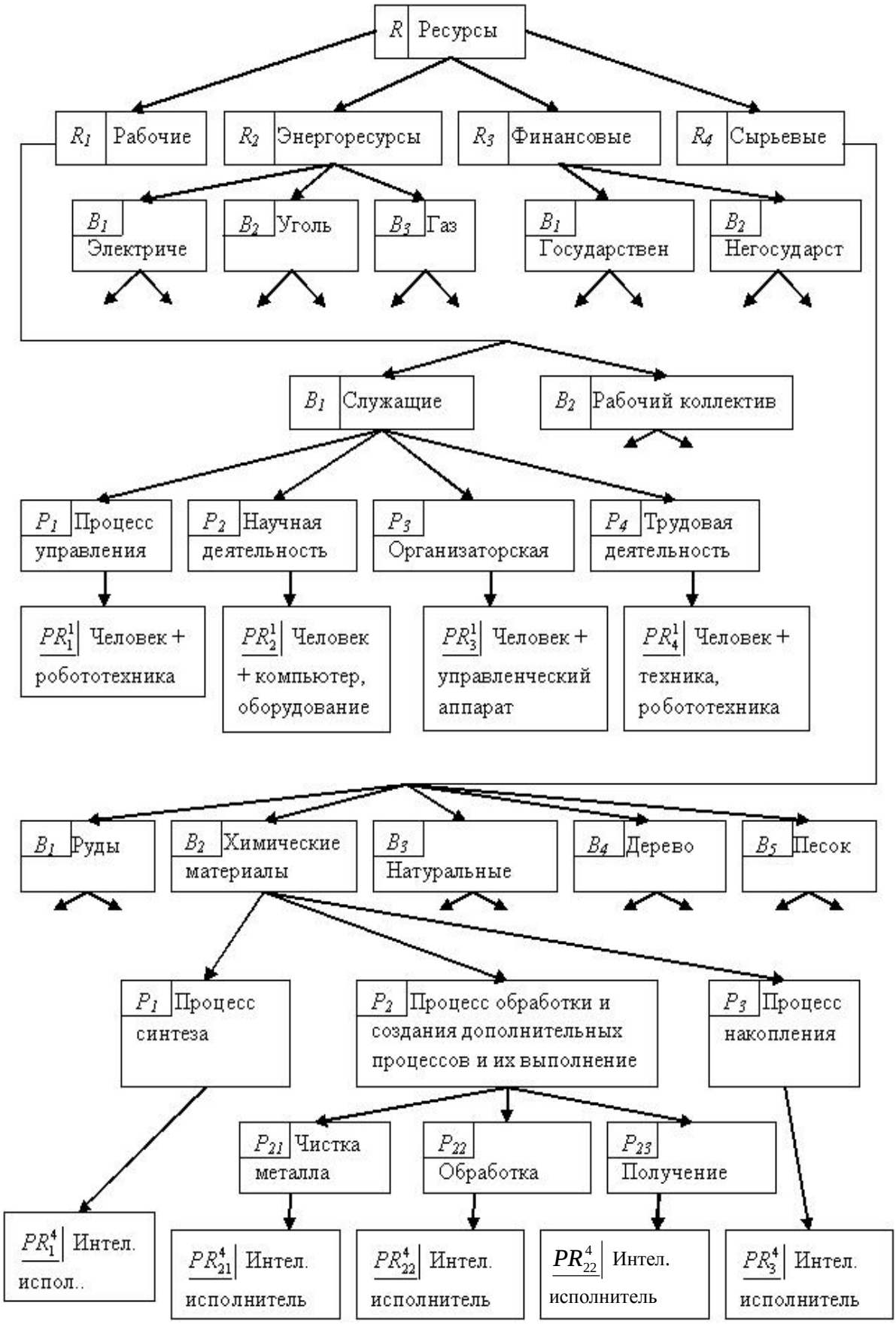

R Ресурсы
R1 Рабочие
R2 Энергоресурсы
R3 Финансовые
R4 Сырьевые
B1 Электриче
B2 Уголь
B3 Газ
B1 Государствен
B2 Негосударст
B1 Служащие
B2 Рабочий коллектив
P1 Процесс управления
P2 Научная деятельность
P3 Организаторская
P4 Трудовая деятельность
PR11 Человек + робототехника
PR21 Человек + компьютер, оборудование
PR31 Человек + управленческий аппарат
PR41 Человек + техника, робототехника
B1 Руды
B2 Химические материалы
B3 Натуральные
B4 Дерево
B5 Песок
P1 Процесс синтеза
P2 Процесс обработки и создания дополнительных процессов и их выполнение
P3 Процесс накопления
P21 Чистка металла
P22 Обработка
P23 Получение
PR14 Интел. испол..
PR214 Интел. исполнитель
PR224 Интел. исполнитель
PR224 Интел. исполнитель
PR34 Интел. исполнитель

Рис. 1. Структура производства.

а) структурирование ресурса на рабочие блоки;
б) организацию параллельного взаимодействия процессов, рабочих блоков и интеллектуальных исполнителей.
в) совмещение во времени выполнения различных процессов, использующих один и тот же рабочий блок $R_i, i = \overline{1,k}$;
г) запоминание (по завершению использования очередного рабочего блока) и восстановление (перед началом использования следующего рабочего блока) необходимой информации о промежуточном состоянии процессов;
д) запуск производственных процессов на выполнение и их завершение;
е) выбор режимов взаимодействия рабочих процессов, интеллектуальных исполнителей и рабочих блоков;
ж) обеспечение специальных средств описания взаимодействия производственных процессов, интеллектуальных исполнителей и рабочих блоков ресурса производства;
з) разработка алгоритмов реализации взаимодействия процессов, интеллектуальных исполнителей и рабочих блоков ресурса производства;
и) поддержка взаимодействия процессов, интеллектуальных исполнителей и рабочих блоков.

Исходя из структурной организации машиностроительного производства, осуществляется структурирование ресурса на соответствующие рабочие блоки. Это происходит на этапах создания математической модели машиностроительного производства, на этапах создания алгоритмов ее решения. Далее каждый рабочий блок оформляется с помощью специального математического описания. Число рабочих блоков разбиения ресурса производства зависит от количества процессов и интеллектуальных исполнителей, накладных расходов и других параметров.

Проведены доказательства соответствующих критериев эффективности и оптимальности структурирования процесса производства согласно количеству рабочих блоков, интеллектуальных исполнителей ресурса производства с учетом необходимых параметров.

Для описания взаимодействия процессов, интеллектуальных исполнителей и рабочих блоков ресурса производства введена их соответствующая нумерация. Пусть имеется P_i процессов, PR_k интеллектуальных исполнителей, B_j рабочих блоков, где $i = \overline{1,n}$; $k = \overline{1,p}$; $j = \overline{1,s}$.

Причем рабочие блоки расположены линейно. Тогда специально выделенный организующий производственный процесс предоставляет рабочие блоки структурированного ресурса производства $R_j, j = \overline{1,s}$ каждому из процессов $P_i, i = \overline{1,n}$. В случае сосредоточенной обработки возможна монополизация интеллектуального исполнителя i-м производственным процессом. При этом, если j-й рабочий блок, $j = \overline{1,s}$, освобождается очередным i-м производственным процессом, то он предоставляется $(i+1)$-му процессу, а i-й процесс получает в свое распоряжение $(j+1)$-рабочий блок или переводится в состояние ожидания до момента освобождения $(j+1)$-го блока, $i = \overline{1,n-1}$, $j = \overline{1,s-1}$ и т.д. (рис. 2).

При распределенной обработке монополизации интеллектуальных исполнителей производственными процессами не происходит, а рабочие блоки одного и того же про-

изводственного процесса выполняются различными интеллектуальными исполнителями.

При недостаточном, ограниченном наличии интеллектуальных исполнителей возможно совмещенное во времени выполнение производственных процессов. Запоми-

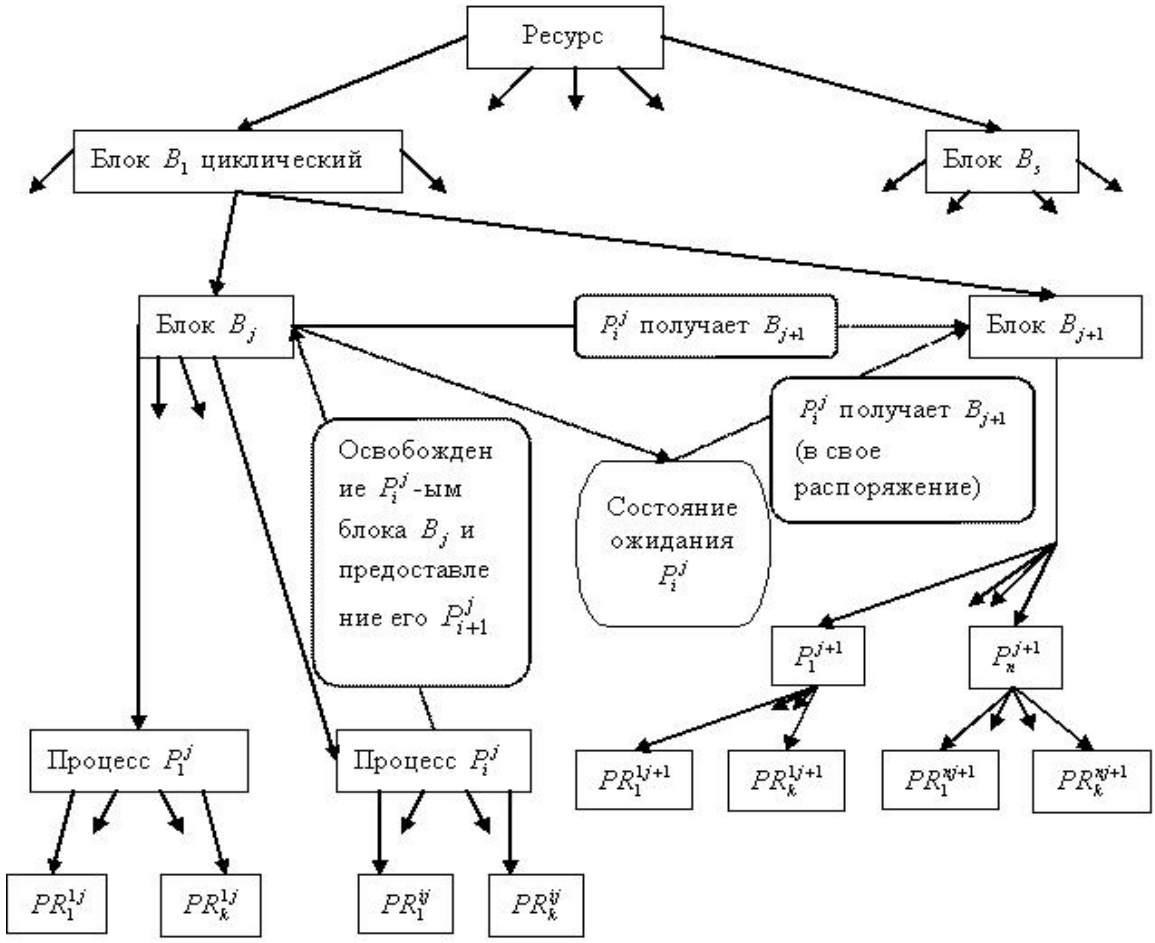


Рис. 2. Организация взаимодействия компонентов структуры производства.

нание и восстановление промежуточных состояний производственных процессов, запуск их на выполнение и их завершение, выбор режимов взаимодействия процессов, интеллектуальных исполнителей и рабочих блоков осуществляет организующий процесс.

Предлагаемый метод организации взаимодействия конкурирующих процессов с ресурсом производства, основанный на его структурировании на параллельно выполняемые блоки, позволяет использовать один и тот же ресурс для множества конкурирующих процессов одновременно. Задача обоснования метода структурирования ресурсов на параллельно выполняемые рабочие блоки по времени реализации заданных объемов работ носит комплексный характер, что приводит к сложным математическим расчетам.

Для решения подобных задач требуется, прежде всего, построение математических моделей, адекватно отражающих различные аспекты взаимодействия множества процессов, с учетом их физической специфики. Анализ показывает, что на пути реше-

ния этой комплексной проблемы большинство математических задач носит дискретный, комбинаторный характер. В связи с этим при построении и исследовании математических моделей и задач оптимальной организации параллельных процессов производства автором применяются теории множеств, расписаний, графов, комбинаторной оптимизации. Рассмотрены вопросы моделирования и алгоритмизации основных понятий, связанных с методом структурирования и организацией параллельного выполнения множества взаимодействующих конкурирующих производственных процессов.

ТЕСТИРОВАНИЕ В ОБРАЗОВАНИИ

Чепелева Т. И., Грекова А. В. *(БНТУ, г. Минск, Беларусь)*

Features of application of tests at examinations at schools and higher educational institutions are considered. Influence of process of testing on progress of pupils and students and on their further training is examined. It is noted, that the best kind of reception of examinations pupils and students is an oral examination.

Следует заметить, что в последнее время тестирование в учебном процессе довольно широко используется. Хорошо это или плохо? Одни считают, что это не только хорошо, но очень хорошо, исходя из того, что оно используется в самых развитых странах мира. Так рассуждают те, кто непосредственно не занимается образованием.

Давайте проанализируем все аспекты и последствия внедрения тестов в учебный процесс. Начнем со вступительных экзаменов в ВУЗ. Решать во время экзамена по физике, математике и т.п. 25 задач, как это предлагают наши центры тестирования, настолько неразумно и бесчеловечно. Извините, да только перечитать эти тесты и то сколько времени понадобится, а прочитать только недостаточно, нужно еще и подумать над каждой задачей, над каждым вопросом. Мало этого, задачи составляются довольно сложными по своему содержанию. То есть в этих тестах можно найти все, что хочешь: задачи по всем темам, причем средней и самой сложной степени сложности. Уже из этих слов следует, что это вовсе не тесты, а сбор различной сложности задач.

Далее ученик ставит какой-то определенный символ, свидетельствующий о том – нравится ему ответ или не нравится (символ «Х»). Неужели непонятно, что здесь уже со школьной скамьи нужно, не зная еще теории вероятности, использовать ее основные понятия: а вдруг угадаю. Так и поступают многие. Из 25 задач «кое-чего» угадали, произвольно расставив символ «Х», поступили. Далее с такими абитуриентами надо работать дальше, чтобы из них получились инженеры. Вот непонятно зачем, спрашивается, давать 25 задач, когда достаточно 6-10 и причем средней трудности, зачем угадывать какие-то ответы, превращаясь в гадалок, когда можно сразу записать один единственный правильный ответ.

Да любой экзамен: вступительный, обычный школьный, вузовский, олимпиада не должен длиться более двух академических часа. Следует беречь здоровье молодого подрастающего поколения, не давать излишнее напряжение на глаза, тем более, находясь в нервном стрессе. Умный толковый преподаватель любого ученика, студента проэкзаменует за 10-15 минут, при условии, что он где-то час готовился. Безусловно, лучший вариант вступительных экзаменов – это устный экзамен, когда мгновенно выставляется оценка, что приводит к минимальному времени стрессовой обстановки экзаменуемого. В процессе такого экзамена могут работать президентские и другие комиссии. А то эти тесты потом еще две, и более, недели проверяются, вводятся в компь-

ютер, что интересно, там уж всем доверяют и ни какие президентские комиссии их не преследуют. Не доверяется только преподавателям, учителям. Но потом эти же ученики, студенты попадают все равно к «проходимцам», «взяточникам» этим же учителям, доцентам, профессорам.

Другая негативная сторона – целый год до поступления абитуриент посещает репетиторов, подготовительные курсы, таким образом, в школе он только формально числится. И почему-то никто ничего не может изменить… К тому же, во время экзамена никто не может поправить условие примера или задачи, а идеальными абсолютно все они никогда не бывают. Существует такое понятие, как «опечатка в тексте». Ответы уже заранее введены в компьютер – пиши замечание или не пиши – ответ поправить весьма сложно и по сути дела невозможно.

Гораздо хуже, когда тесты применяются непосредственно в учебном процессе. Этим невозможно научить ни ученика, ни студента. Во-первых, нет логики, последовательности в изложении материала, прослеживаются лишь какие-то отдельные, не связанные между собой обрывки фраз. Такое обучение приводит только лишь к нервным стрессам, что ведет к подрыву здоровья нашего подрастающего поколения.

Используя тестирование в учебном образовании, мы не получим хорошего специалиста, инженера. Будущий инженер должен уметь изложить материал от «А» до «Я», а не отвечать только лишь на какие-то зазубренные отдельные тестовые вопросы. Тест – это короткий вопрос и коротким должен быть ответ. Тесты не приемлемы в нашем образовании. Решение математической, физической, химической задачи – это не короткий тестовый ответ, такой ответ чаще всего составляет страницу текста. Следует над этим задуматься.

Основной проблемой инженерного образования является тот факт, что в вузы приходят слабо подготовленные абитуриенты. Они поступают либо на платной основе, либо по результатам тестирования. В вузах не предусмотрено существование дополнительного подготовительного отделения для студентов первокурсников. Количество подобных студентов с каждым годом не уменьшается. Это, как правило, студенты довольно низкого интеллекта, зачастую нарушают трудовую дисциплину, пропуская занятия, поскольку им скучно отсиживаться на лекциях, ничего не понимая там. Чтобы улучшить успеваемость студентов, необходимо увеличить количество часов консультаций и количество контрольных работ. Желательно организовать на платной основе дополнительные занятия по школьной программе по желанию абитуриента, согласовав с преподавателем.

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ КАРБОНИТРИДОВ НА АЗОТИРОВАННОЙ СТАЛИ 50ХФА ОБРАБОТАННЫХ ЛАЗЕРОМ

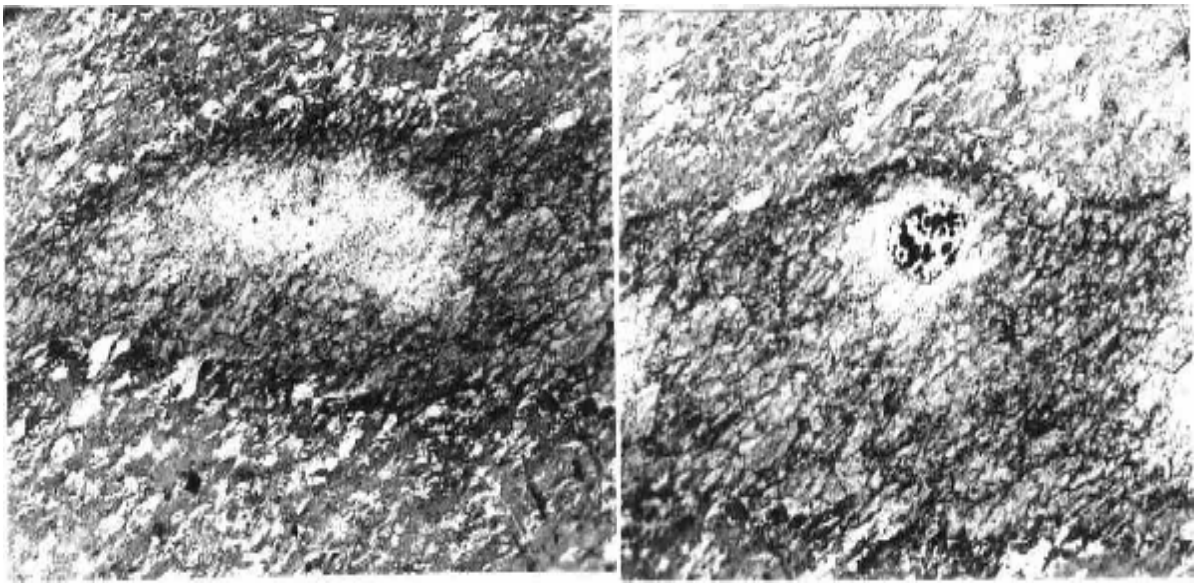
Чернета О.Г., Коробочка А.Н., Загробский А.В. *(ДДТУ, г. Днепродзержинск, ЧП «ТАЙМ», г. Запорожье)*

This method of treatment gives high wear-resistant properties to surface of steel 50HFA and following coating characteristics: the hardness of coating - $H_{m55} = 5200...9277 MPa$ ***by coating depth of h=70.. 80 mkm with structure of gardenite, carbonitrics (*** $Me_7(CN)_3$ ***) and nitrics (*** Fe_3N ***).***

В настоящем разделе приводятся результаты исследования структуры и свойств

поверхностных слоев азотированной стали, подвергнутой лазерной обработке. Как показали предварительные исследования, лазерная обработка приводит к образованию на рабочей поверхности образцов стали 50ХФА сложного микрорельефа с углублениями, впадинами и микротрещинами (рис.1). Это обусловлено локальным оплавлением объёма металла и его ускоренным затвердеванием.

Высокая микротвердость структуры поверхности характерна и для пористого включения с темными пятнами в зоне кратера, образовавщегося в результате расплавления поверхностного слоя при лазерном воздействии.



а б

Рис.1. Микроструктура сошлифованных участков рабочей поверхности образцов из стали 50ХФА, обработанных лазером; ах50; бх100.

Рис.2. Распределение микротвердости в продольном сечении зоны лазерного воздействия азотированной стали 50ХФА.

Согласно [1] при наличие в сплавах азота, атомы последнего по механизму замещения занимают позиции атомов углерода в решетках карбидных фаз, что переводит их в разряд карбонитридов. Поскольку азотированные образцы имеют насыщенный азотом поверхностный слой и содержат богатые азотом фазы, то вполне очевидно,

что интерпретированная по вышеуказанному структурному типу фаза представляет собой карбонитрид $Me_7(CN)_3$. В [2] показано, что в поверхностном слое азотированного образца наряду с нитридом Fe_3N присутствует нитрид с меньшим содержанием азота Fe_4N.

На дифрактограмме (рис.3) интерференции последнего не выявляются, т.е. в структуре поверхностного слоя азотированного образца, подвергнутого лазерной обработке, нитрид Fe_4N отсутствует.

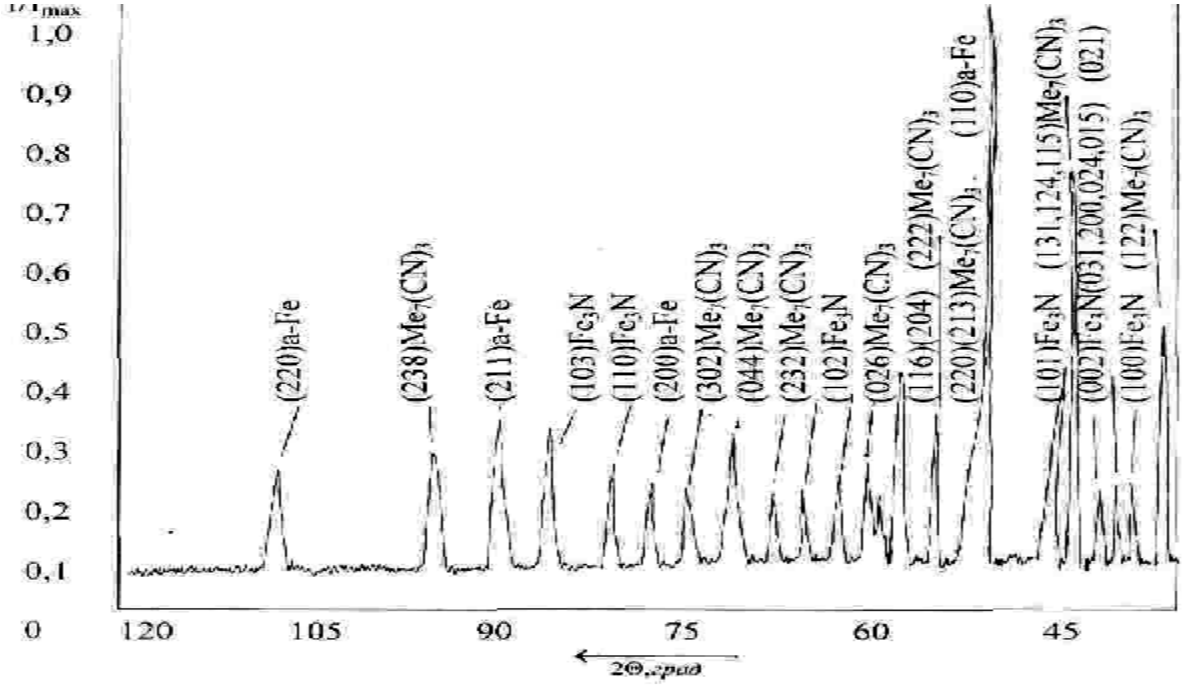


Рис. 3. Дифрактограмма рабочей поверхности азотированного образца с последующей лазерной обработкой.

Это объясняется тем, что согласно диаграмме состояния $Fe-N$ [2] Fe_4N образуется из ε- фазы (Fe_3N) путем перестройки гексагональной плотноупакованной решетки последней в ГЦК упорядоченную решетку Fe_4N при температуре 650°С или путем такой же перестройки при эвтектоидном распаде $e \rightarrow g + Fe_4N$ (температура распада 650°С). В процессе ускоренного охлаждения, растворившиеся при нагреве частицы Fe_4N по указанным механизмам из ε- фазы выделится не успевают и основной нитридной фазой поверхности образцов останется ε- фаза – (Fe_3N) .

Особенностью полученных данных является тот факт, что в объемах металла азотированного поверхностного слоя с последующей лазерной обработкой реализуется

$\gamma \rightarrow \alpha$ превращение с образованием гарденита [3], как одной из разновидности мартенсита. В то же время, в прилегающих участках на поверхности и в поверхностном слое, нагревающихся до высоких температур, фаза мартенситного типа не выявляется, хотя в [4] приводятся данные о возможности формирования при лазерной обработке в поверхностном слое углеродистых, низколегированных и легированных сталей структур мартенситного типа без расплавления поверхностных объёмов металла. Кроме этого, довольно неожиданным является появление в поверхностном слое карбонитридной фазы $Me_7(CN)_3$.

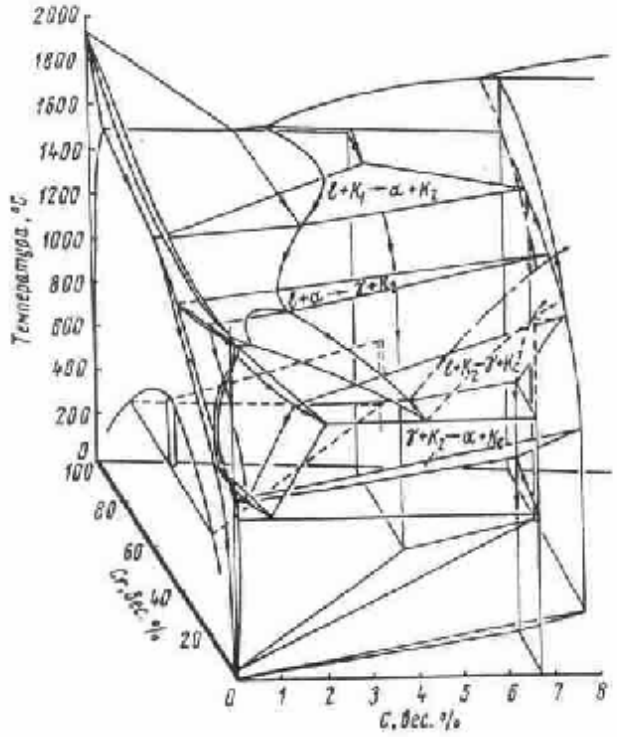
Исходная структура стали 50ХФА является ферритно-цементитной, а фазовые и структурные превращения в этой стали при охлаждении после нагрева в γ – область однозначно описываются в справочной литературе [5-6] изотермическими и термокинетическими диаграммами превращения аустенита). В зависимости от скорости охлаждения аустенит в стали 50ХФА распадается с образованием структур ферритно-перлитного или бейнитно-мартенситного типов, т.е. фаза типа Me_7C_3 в стали 50ХФА при обычных режимах термической обработки не образуется.

Выявленные особенности фазовых превращений в поверхностном слое стали 50ХФА при лазерной обработке связаны со следующим. Как следует из пространственной диаграммы состояния системы $Fe-Cr-C$ (рис.4), картина фазовых равновесий в этой диаграмме является очень сложной.

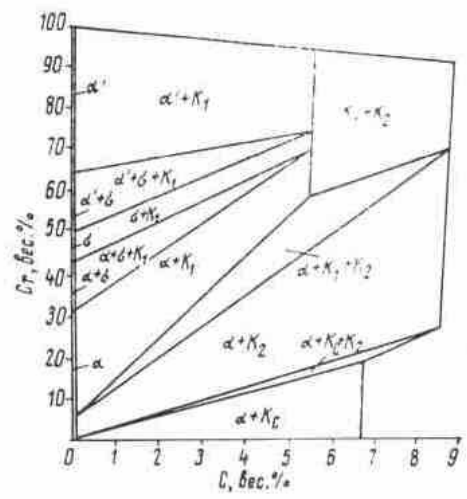
Приведенные на рис.4.б,в изотермические разрезы диаграммы $Fe-Cr-C$ ясно показывают, что фазовый состав сплавов $Fe-Cr-C$ при 1150°С и 900°С существенно различается. При температуре 1150°С для сплавов $Fe-Cr-C$ с содержанием углерода 0,46…0,6% и хрома 0,8…1,1% (требования ГОСТ 8560-78 по содержанию этих элементов в стали 50ХФА) равновесными фазами в их структуре являются $\alpha-Fe$ и карбид цементитного типа $(Fe,Cr)_3C$ или $\alpha-Fe$ вместе с карбидами $(Fe,Cr)_3C$, $(Fe,Cr)_7C_3$ (рис. 4б). При температуре 900°С для сплавов $Fe-Cr-C$ с указанными выше содержанием углерода и хрома равновесной фазой является $\gamma-Fe$ - аустенит (рис.4.в), что связано с особенностями высокотемпературных фазовых превращений в системе $Fe-Cr-C$ (рис.4), приводящими к “выклиниванию” области существования $\gamma-Fe$ [6-7].

Последовательности фазовых превращений по мере понижения температуры, обусловленно влиянием хрома. При 1150°С стабильным в структуре сплавов $Fe-Cr-C$ при рассматриваемых содержаниях углерода и хрома является $\alpha-Fe$, а при 900°С -$\gamma-Fe$. В результате воздействия высококонцентрированного лазерного облучения происходит, как отмечалось выше, расплавление объёмов металла в поверхностном слое азотированных образцов из стали 50ХФА. Прилегающие к расплавленному объёму участки металла в поверхностном слое нагреваются до более низких температур, т.е представляют собой так называемые “зоны термического влияния”, через которые, собственно, осуществляется отвод тепла от расплавленного объёма металла в поверхностном слое. В процессе последующего охлаждения в примыкающих к расплавленному объёму участках температура снижается более интенсивно в сравнении с расплавленными объёмами. Поэтому в прилегающих участках, по существу, фиксируется, как при закалке неравновесное структурное состояние сплава $Fe-Cr-C$, соответствующее высокой температуре.

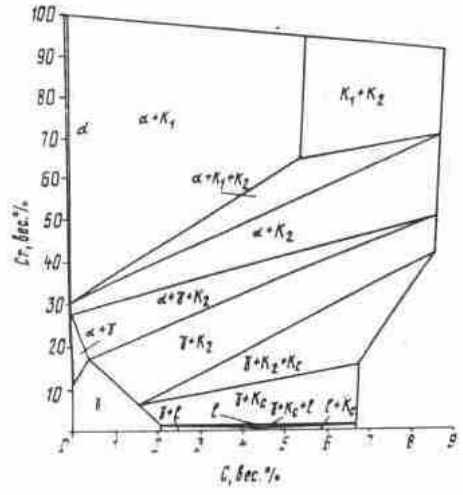
В частности, в нашем случае наблюдается присутствие $a - Fe$ (феррит) и карбонитрид типа $Me_7(CN)_3$. В зоне лазерного оплавления температура снижается не столь интенсивно в сравнении с прилегающими участками из-за высокой температуры перегрева расп ии при затвердевании расплавленны



а



б



в

Рис. 4 Пространственное изображение части диаграммы состояния $Fe - Cr - C$ (а) и ее изотермические разрезы при температурах 1150°С (б) и 900°С (в) [7].

Поэтому в участках поверхностного слоя, испытавших расплавление, реализуется вся свойственная равновесной диаграмме $Fe-Cr-C$ цепочка фазовых превращений, в том числе образование $g-Fe$ - аустенита с последующим превращением его по сдвиговому механизму в мартенсит.

ВЫВОДЫ. Показано, что лазерная обработка с микрооплавлением поверхности приводит к формированию участков с высокотвердой, нетравящейся в стандартных реактивах фазой – гарденитом с $H_{m50}=9277$ МПа и непосредственно прилегающим к сформировавшимся в расплавленной зоне структурам закалочного типа участков $a-Fe$ (феррита) с высокотвердыми карбонитридами $Me_7(CN)_3$.

Список литературы: 1. M. Fruchart, J. Senatear, M. Bouchaud, A. Michel. Comp. Rend. Acad. Sci., gr. 8 , 260, 1965 p913. **2.** Нестеренко А.М. Кристаллизация и структура карбидных фаз легированных железоуглеродистых сплавов. Дис. канд. тех. наук: 01.04.13-М, 1975.-С.85-94. **3.** Х. Дж. Гольдшмидт. Сплавы внедрения.- М.:«Мир», 1971. –С.163, 331. **4.** Крапошин В. С. Термическая обработка стали и сплавов с применением лазерного луча и прочих прогрессивных видов нагрева. Итоги науки и техники. Металловедение и термическая обработка. – М.- Т21; 1987.-С.144. **5.** Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада охлажденного аустенита. Справочник термиста. –М.: МашГиз, 1961.-С.480.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Чернов С.К. *(НПКГ «Зоря»-«Машпроект», г. Николаев, Украина)*

The analysis of different energy utilization is showed in this article. It is proved the application expediency of the high-performance and ecologically safety combined-cycle and co-generation power plants.

На современном этапе мирового развития на электричество возложена роль ключевого энергоносителя в удовлетворении энергетических потребностей общества. В этой связи электроэнергетический потенциал каждого государства, масштабы и структура потребления электроэнергии и уровень эффективности ее использования являются важнейшими характеристиками экономического потенциала, уровня жизни, динамичности экономических процессов в обществе. При этом производство электроэнергии является важнейшим инструментом осуществления экономической политики, развития экономики, освоения природных ресурсов в целях повышения существующего уровня жизни людей. Электроэнергия является важнейшим экспортным товаром, дающим значительную прибавку в бюджет некоторых государств. По сути – электроэнергетика сегодня – "спинной хребет" экономической мощи государства.

Начало XXI века характеризуется возрастанием потребления энергоресурсов и, прежде всего, электроэнергии, необходимостью экономии топливных ресурсов в связи с сокращением мировых запасов и возрастающим уровнем загрязнения окружающей среды. В области производства электроэнергии, на сегодняшний день суммарная установленная мощность всех электростанций мира составляет около 3000000 МВт. По прогнозам мировых аналитических центров эта цифра удвоится в течение ближайших 20 лет. При этом рост запасов топливных ресурсов не прогнозируется и очень жестко стоит необходимость защиты окружающей среды.

События 2005 года ярко показали значение энергетической составляющей в жизни любого государства. Военные действия в Персидском заливе и Ираке – и мировые цены на топливо поднимаются вверх. Страны – экспортеры оказываются заложниками ситуации напрямую влияющей на внутреннее состояние их рынков. Мощный ураган на юге североамериканского континента и такая могучая страна как США оказывается перед лицом хаоса и неспособности нормализовать ситуацию в трех штатах в течение нескольких недель. А вызванные ураганом аварии на буровых платформах в Мексиканском заливе вызывают новый бурный рост цен на топливо с вышеуказанными последствиями. Материальный и моральный ущерб огромен. Техническая авария на электростанции в Москве (Российская Федерация) приводит к обесточиваю половины восьми миллионного города. Выясняется, что альтернативных источников нет. Моральный и материальный ущерб крайне велик. А эти события в той или иной мере типичны для каждого года.

А что в будущем! Нельзя сбросить со счетов и возможные природные катастрофы, и действия фанатиков - террористов, и возможную агрессию стран, которым жизненное пространство вдруг стало крайне тесно и аварии техногенного характера. Нельзя забывать и о стоимостных показателях. Пока не существует надежных альтернативных источников электроэнергии не требующих использования полезных ископаемых рост цен на топливо гарантирован.

И в этих условиях, надежность работы всей энергетической системы государства, ее неуязвимость и мобильность, наряду с максимальным использованием имеющихся топливных ресурсов и их экономным расходованием, будет определять энергетическую безопасность государства, от которой в любой ситуации будет зависеть его обороноспособность. Слово "обороноспособность" здесь следует понимать в широком смысле – как возможность противодействия природным и человеческим факторам, которые могли бы нанести ущерб государству и его основе – его гражданам.

Безусловно, создание такой энергетической системы не означает, что все энергетические установки нужно прятать в глубокие подземные бункеры. Это было бы не рационально, потребовало бы огромных финансовых затрат, да и не отчего бы не гарантировало. Речь идет совсем о другом – о наиболее оптимальной схеме построения энергетической системы и энергетических установках, которые могут в ней использоваться с максимальным эффектом.

Проведенные в прошлом веке исследования показали то, что наиболее оптимальной схемой развития энергетики является создание распределенной "кустовой" энергетической системы объединенной единой сетью.

Это означает, что каждый потребитель электроэнергии (город или его районы, муниципальные объекты, завод, ферма, поселок и т.д.) имеет собственные источники генерации электроэнергии – электростанцию. Условно таких потребителей можно разделить на три мощностные группы. Первую мощностную группу составляют потребители электроэнергии мощностью до 20 МВт. К ним относятся большинство промышленных объектов, фермы, небольшие населенные пункты, районы города. К этой же группе относятся объекты специального назначения: военные объекты, объекты спасательных служб, морские и речные порты, аэродромы и другие аналогичные объекты. Вторую мощностную группу составляют потребители электроэнергии мощностью 25 – 150 МВт. К ним относятся крупные промышленные объекты и, в первую очередь химические и металлургические заводы и крупные населенные пункты. Третью мощностную группу составляют потребители электроэнергии выше 150 МВт. Эти электростанции обеспечивают крупные регионы.

При работе в распределенной системе потребитель электроэнергии имеет возможность получать ее, как от внешней сети, так и от собственной электростанции. Собственная электростанция может обеспечивать электроэнергией, как своего потребителя, так и подавать ее во внешнюю сеть или к другим близко расположенным потребителям. Такая система позволяет при выходе из строя или остановке таких крупных объектов энергетики как АЭС и ГЭС, обрыве линий электропередач обеспечить жизнеспособность большинства потребителей электроэнергии, и в первую очередь жизненно важных объектов, необходимых для обеспечения жизни граждан и работы предприятий. К преимуществам такой энергетики необходимо отнести и отсутствие потерь в сетях при транспортировке.

Важнейшим фактором является время пуска электростанции и выхода на режим номинальной мощности. Для электростанций распределенной системы это время должно быть минимальным – 10 – 20 минут. Немаловажное значение имеет, как быстрая возможность изменять мощность по команде от оператора или при изменении ситуации во внешних сетях – например аварии. Такая высокая маневренность позволяет решить еще одну важную задачу – покрытие суточных и сезонных пиковых нагрузок.

Основой работоспособности каждой электростанции является топливо. Это и основная составляющая стоимости 1 кВт часа произведенной электроэнергии. От того, где брать топливо и сколько оно стоит, зависит как надежность энергетической системы, так и стоимость всех товаров и услуг, произведенных за счет использования произведенной электроэнергии, то есть стоимость всего того, что существует вокруг нас. В объеме этой статьи мы не будем рассматривать, безусловно, ясную связь между стоимостью производства электроэнергии, экономическим потенциалом государства, благосостоянием граждан и обороноспособностью. Отметим лишь то, что чем ниже себестоимость производства электроэнергии, тем выше все остальные показатели. И в этих условиях топливная составляющая имеет приоритетное значение.

Для создания распределенной системы электроэнергетики, отвечающей потребностям общества и государства необходимо выполнить несколько основных условий:

- в максимальной степени использовать существующие в государстве топливные месторождения, возможно нерентабельные для крупной добычи, но которые возможно использовать для обеспечения топливом небольших электростанций;
- в максимальной степени использовать бросовое топливо, полученное в результате технологических процессов на химических и металлургических заводах, топливо, получаемое из отходов древесины и других органических материалов (биотопливо);
- электрогенерирующие установки должны иметь высокую единичную мощность, быть максимально экономичными с минимальным временем пуска и выхода на режим номинальной мощности. Их габариты и масса должны позволять доставку любым видом транспорта с применением минимального количества грузоподъемных средств для погрузочно – разгрузочных работ и монтажа. Установки должны поставляться в полностью собранном виде, не требующим большого объема монтажа;
- объем капитального строительства для размещения электрогенерирующих установок и коммуникации, сроки монтажа и ввода в эксплуатацию должен быть минимальным.

Не стоит забывать еще один знаковый вопрос, без решения которого в XXI веке не будет существовать ни одна установка – это экология. Энергогенерирующая установка должна удовлетворять требованиям достаточно жестких экологических стандартов. Граждане любого развитого государства не потерпят возле себя установку отравляющую их здоровье и окружающую среду, потому первейшая забота государства

обеспечить эти условия.

Анализ приведенных выше факторов позволяет представить основные требования к энергогенерирующей установке для распределенной "кустовой" энергетики:

- обеспечение высокоэффективного сжигания топлива, в том числе бросового;
- глубокая утилизация тепла, получаемого при сжигании топлива;
- высокая маневренность, короткое время пуска и выхода на режим номинальной мощности;
- высокие экологические показатели;
- небольшие габариты и масса;
- поставка на площадку собранном виде, не требующем сложного монтажа.

Несмотря на обширный ряд различных энергогенерирующих установок очень немногие отвечают большинству вышеуказанных признаков. Наверное следует сразу откинуть установки атомных электростанций, крупных гидроэлектростанций, гидроаккумулирующих станций и промышленных паровых и газовых турбин. Их мощность, габариты, объем капитального строительства и монтажа, продолжительность ввода в эксплуатацию и другие факторы не соответствуют приведенным выше требованиям. Эти электростанции крайне важны для государства, являются его надежной опорой. Но без распределенной системы энергетики такое построение крайне уязвимо и не обеспечивает требуемого уровня надежности.

Ветровые, солнечные, геотермальные электростанции, гидроэлектростанции на малых горных реках, заманчивые с точки зрения получения "дармовой" энергии и высоких экологических показателей к сожалению не могут являться основой распределенной энергетики в силу узко локализованных районов их расположения но безусловно должны входить в такую систему.

Паротурбинные установки с возможностью сжигания в котлах практически любых видов топлива имеют сегодня невысокую экономичность в комбинированном производстве электрической и тепловой энергии, требуют больших капитальных затрат и длительных сроков монтажа и ввода в эксплуатацию, имеют длительное время пуска (многие часы) и выхода на режим номинальной мощности. Безусловно, за счет возможности использования практически любых видов топлива, в том числе и бросового, должны входить в систему распределенной энергетики, но не являются оптимальными.

Следует признать, что на сегодняшний день только газотурбинные энергетические установки с высокой единичной мощностью и созданные на их основе когенерационные и парогазовые установки соответствуют вышеуказанным факторам. В этих установках объединена технология высокоэффективного сжигания топлива с глубокой утилизацией тепла отходящих газов. Они высокоманевренны. Время пуска и выхода на режим номинальной мощности не превышает 20 минут. Эти установки имеют небольшую массу и габариты, транспортируются любым видом транспорта, не требуют строительства капитальных сооружений, доставляются на площадку электростанции в собранном виде, легко монтируются практически без использования грузоподъемных средств. Уровень вредных выбросов соответствует самым жестким мировым стандартам.

Важнейшее значение имеет и то, что они собираются и испытываются в сборе на стенде завода – изготовителя и на площадку электростанции прибывают в полной готовности к эксплуатации. Такие установки давно широко применяются для нужд военно – морского флота и авиации, в газотранспортной промышленности и для производства электроэнергии, как в составе стационарных электростанций на разных объектах, так и в составе плавучих электростанций, энергопоездов, электростанций, размещен-

ных в трейлерах.

Топливом для таких установок может являться природный газ, жидкое топливо разных сортов, попутный газ нефтяных месторождений, различные вещества получаемые в результате технологических процессов на металлургических и химических предприятиях, биотопливо, продукты газификации угля. Эти установки целесообразно устанавливать в районе газовых месторождений непромышленного масштаба в изобилии имеющихся по всему земному шару и в районах размещения газовых хранилищ.

Такие страны, как США еще в конце прошлого века разработали программы создания распределенной "кустовой" энергетики, которые сегодня успешно реализовывается, именно на базе газотурбинных установок.

В качестве примера использования газотурбинных установок различной мощности для создания программы распределенной энергетики целесообразно рассмотреть мощностной ряд установок, разработанный Государственным предприятием Научно – технический комплекс газотурбостроения "Зоря" – "Машпроект" (Украина, г. Николаев), уже в течение 51 года разрабатывающего и изготавливающего газотурбинные установки для нужд военно – морского флота, газотранспортной промышленности и энергетики. Газотурбинные установки различного назначения эксплуатируются более чем 20 странах мира, в том числе в Болгарии, Германии, Индии, Казахстане, Канаде, Китае, Российской Федерации, Румынии, США, Туркмении, Чехии. Они установлены на плавучих электростанциях типа "Северное сияние" и в энергопоездах. В качестве топлива используется природный газ, жидкое дизельное и газотурбинное топливо, биотопливо, продукты технологических процессов химических предприятий. Широкий мощностной ряд газотурбинных установок единичной мощностью от 2 до 110 МВт позволяет создать электростанции в широком диапазоне мощности, которые могут быть использованы непосредственно для создания разветвленной "кустовой" энергетики.

Значительным преимуществом таких установок является использование их не только для получения электроэнергии но и для нужд теплофикации или использования пара или горячей воды в технологических процессах. Отсутствие протяженных трубопроводов позволяет значительно сократить потери в теплофикационных сетях в сравнении с теплом, поступающим от больших ТЭС. Выход из строя одной из распределенных теплосетей не приведет к таким последствиям как выход из строя сети большой ТЭС, что жизненно важно для городов имеющих потребности в отоплении в зимний период.

Парогазовые установки, состоящие из одной или двух газотурбинных установок и паровой турбины, имеют наиболее высокий электрический коэффициент полезного действия, позволяющий сократить почти в два раза потребление топлива для получения одного и той же электрической мощности.

Установки размещены в укрытиях, позволяющих смонтировать их в любых районах земного шара. Работоспособность установок сохраняется при сейсмическом воздействии до 7 баллов по шкале MSK.

Мир XXI века это мир всеобщего понимания общечеловеческих ценностей, мир, который должен гарантировать каждому человеку стабильность и благополучие. И надежность работы энергетики каждого государства является составной частью его обороноспособности стоящей на страже этой стабильности и благополучия. Сегодня каждое государство должно принять для себя три принципа, являющихся основой программы создания распределенной "кустовой" энергетики:

1.Иметь наиболее чистые, наиболее эффективные и надежные энергетические системы в мире за счет максимального использования доступных распределенных

энергетических ресурсов;

2.Энергетическая безопасность нации сильнее, когда экономика опирается на разнообразные источники энергии и не зависит от одного какого либо топлива;

3.Преимущества, обеспечиваемые реализацией программы создания распределенной энергетики, будут существенны для потребителей, поставщиков энергии и нации в целом.

А выполнение программы создания распределенной "кустовой" энергетики должно основываться на технических средствах, доказавших свою надежность и живучесть в любых условиях эксплуатации во всем мире.

Список литературы: 1. Закон Украины «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» від 05.04.2005 № 2509-IV.

АБРАЗИВНЫЕ ГРАНУЛЫ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Чурносов А.П. *(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

The results of researches of effectiveness of abrasive instrument application on the basis of metallurgical production wastes in comparison with the samples used in industry.
The use of blast production slags for manufacture of abrasive granules does not make worse to the technological characteristics and reduces the value of instrument production.

Среди процессов абразивной обработки виброобработка (ВиО) является наиболее эффективным методом финишной обработки деталей машин сложной конфигурации, к которым предъявляются высокие требования к качеству обрабатываемой поверхности [1].

Реальным резервом роста эффективности ВиО является разработка и рациональное применение абразивного инструмента (гранул). Гранулы выполняют основную роль в процессе ВиО, обеспечивая съем металла и его окислов, пластическое деформирование и интенсификацию физико-химических процессов, изменения структуры поверхностного слоя обрабатываемой детали. Правильный выбор состава гранул с соответствующими данному виду обработки параметрами, и возможность их регулирования в значительной степени определяет конечный результат обработки изделия.

Основные характеристики гранул определяются технологией производства, и компонентами, входящими в их состав: абразивный наполнитель и связующее. Количественное соотношение связующего и абразивного наполнителя, а также способ изготовления гранул оказывают существенное влияние на технологические характеристики инструмента, такие как:

- интенсивность съема металла с обрабатываемой поверхности;
- режущая способность;
- износостойкость;
- шероховатость обрабатываемой поверхности.

Кроме того, актуально решение задач повышения технологичности изготовления, снижения себестоимости и улучшения экологических показателей в процессе изготовления и работы инструмента.

В связи с этим для решения поставленных задач представляет интерес использо-

вание нетрадиционных видов абразивных материалов (отходов производств) при изготовлении гранул.

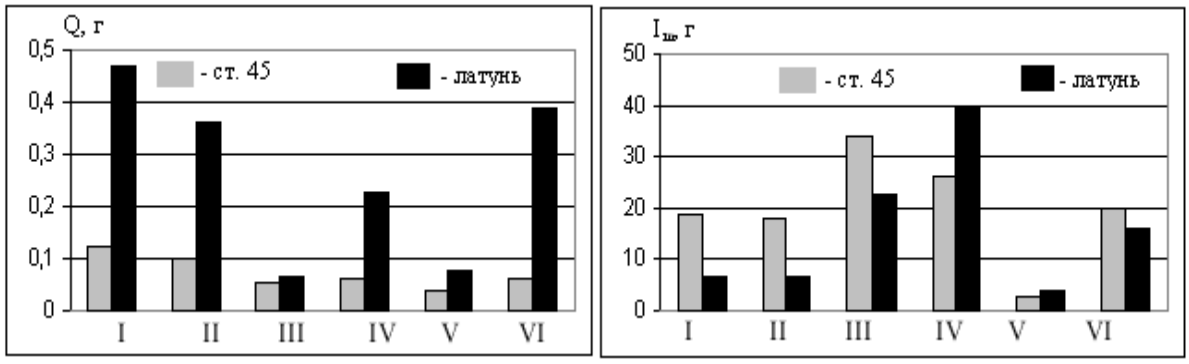
В работе представлены результаты разработки и исследования технологических характеристик гранул для ВиО, изготавливаемых из абразивных нетрадиционных материалов – песка и шлаков доменных производств [2, 3].

Оценка технологических характеристик гранул определялась по интенсивности съема материала, шероховатости поверхности детали, степени очищенности поверхности от загрязнений (при моечных и очистных операциях), износостойкости гранул.

В лабораториях ДонНТУ прошли апробацию новые составы абразивных гранул для ВиО. В качестве связующего вещества для абразивных гранул использовали метилметакрилат (ММА) с полиметилметакрилатом (ПММА) и эпоксидную смолу ЭД–20. Абразивным наполнителем служили карбид кремния черный (М40), электрокорунд нормальный (А–10), песок (зернистость 6 мкм), шлак доменный гранулированный и шлак дробленный (зернистость 50 мкм, ГОСТ 3476–74, ТУ 14–11–196–86). Соотношение абразива и связующего в инструменте 1:1. Вибрационной обработке подвергались образцы из стали 45 и латуни при непрерывной промывке 2 % раствором кальцинированной соды. Исходная шероховатость образцов R_a = 1,25 мкм. Образцы загружались в рабочую камеру в свободном состоянии.

Потеря массы металла и износ абразивного инструмента определялся путем взвешивания до и после обработки на аналитических весах ВЛА–200 с точностью до 0,0002 г. Результаты эксперимента представлены на диаграмме (рис.1) и таблице 1 (образцы из стали 45).

При обработке гранулами на основе КЧ, А и шлака доменного съём металла с поверхности образцов из латуни в 3,5 раза превышает съём металла с поверхности образцов из стали, а гранулы на основе песка и шлака дробленого обеспечивают практически одинаковый съём металла с поверхности образцов из латуни и стали.



а **б**

Рис. 1 Влияние вида абразивного наполнителя на съем металла (а) образцов из стали 45 и латуни; износ гранул (б) при ВиО :

I – ММА+ПММА+КЧ М40; IV – ММА+ПММА+шлак доменный;
II – ММА+ПММА+А-10; V – ММА+ПММА+шлак дробленный;
III – ММА+ПММА+песок; VI – ЭД-20 + М40

Повышение твердости обрабатываемых материалов сопровождается ростом износа абразивного инструмента (рис.1, б). Наибольший съём металла и минимальный износ получен при работе на традиционных абразивных материалах (КЧ и А).

Сравнительные испытания абразивных гранул на основе шлаков и песка с тра-

дициионными абразивными наполнителями показали, что их режущая способность (табл. 1) и коэффициент обработки не уступают гранулам на основе электрокорунда. При этом шероховатость поверхности обработанных деталей изменяется незначительно. Процентный износ гранул (табл. 1) на основе песка и шлака доменного почти в 4 раза превышает аналогичный показатель для гранул на основе карбида кремния черного и электрокорунда.

Полученные результаты показывают, что технологические характеристики гранул с абразивным наполнителем в виде шлака, достаточно близки к гранулам с наполнителями в виде КЧ и А. По условиям их применения при ВиО (относительно низкие скорости, контактная нагрузка, температуры) такие характеристики вполне приемлемы для практического применения, обеспечивая при этом снижение стоимости гранул за счет использования нетрадиционных компонентов.

Таблица 1 Результаты технологических испытаний абразивного инструмента

№	Вид абразива	Режущая способность $R \cdot 10^{-4}$, г/чсм^2	Износостойкость, U, %/г	Удель-ный съём металла, г·10^{-5} 1/см^2	Твердость гранулы, кг/см^2	Установившаяся шероховатость, R_a, нкм
1.	М40 + ММА + ПММА	10,53	0,7	12,94	680	0,736
2.	А–10 + ММА + ПММА	2,073	0,528	12,144	680	0,86
3.	Песок + ММА + ПММА	1,3	3,219	0,444	680	0,52
4.	Шлак доменный гранулированный + ПММА +ММА	17,38	0,867	14,062	720	0,597
5.	Шлак дробленый + ПММА +ММА	23,44	1,918	11,82	660	0,641
6.	М40 + ЭД 20	7,536	1,414	6,012	700	0,826

Выводы. Проведенные исследования подтвердили возможность использования шлаков доменных производств и песка для изготовления абразивных гранул. Эти среды дополняют имеющиеся виды абразивных гранул и могут быть использованы при финишной обработке деталей, заменяя в ряде случаев более дефицитные и дорогие абразивные среды на основе корунда, электрокорунда и карбида кремния. Для сравнения отметим, что ориентировочная стоимость 1 т шлифзерна (М40) 900 у.е., а стоимость 1т дробленного шлака 1 у.е.

Список литературы: 1. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии.– Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1994. – 620 с. **2.** Патент UA 68668A. Склад абразивної композиції з відходів металургійної промисловості для виготовлення інструменту / Малишко І.А., Чурносов А.П., Пєтухова О.В., Маник О.М.// 7 В24Д3/20// №2003098700; Заяв.24.09.03; Опубл.16.08.04, Бюл. №8, 2004. - 6с. **3.** Патент UA 68669A. Спосіб виготовлення абразивного інструменту з відходів металургійної проми-

словості / Малишко І.А., Чурносов А.П., Пєтухова О.В., Маник О.М. // 7 В24Д3/20// №2003098701; Заяв.24.09.03; Опубл.16.08.04,Бюл.№8. - 6с.

ЗАГАЛЬНИЙ СТАН СУЧАСНОГО СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЙОГО ХВОРОБИ

Шабайкович В.А. (*Жешівський технологічний університет, Польща*)

The main reasons of the bad state of assembling production are accounted and analyzed: insufficient attention, bad financing, antiquated assembling base, absence of innovation, insufficient quantity and disqualification of personnel. The ways of their removal are stated.

Складальне виробництво є основним у загальному процесі виготовлення виробів, оскільки саме тоді кінцево формуються вироби і основні їх показники якості. В складальному виробництві використовується найбільше робочої сили і по відношенню до нього інші виробництва: виготовлення матеріалів, заготовок, деталей, обладнання та оснащення повинні розглядатись, як його забезпечуючі. І тут проявляється *перша* хвороба складального виробництва – не приділення складанню належної, хоча б однакової уваги, у порівнянні з забезпечуючими виробництвами. Взяти хоча б такий приклад, існує велика кількість науково-експериментальних інститутів, організацій по дослідженням і розробці нових матеріалів, технологічних процесів виготовлення заготовок, обробки самих деталей, а от складання – немає зовсім, або їх можна перерахувати на пальцях однієї руки. Хвороба виникла за-за того, що більшість спеціалістів і керівників не складального виробництва дивились, та й зараз дивляться, на складання як на технологічні вправи з молотком, ключем, зубилом, викруткою, тощо. Для них все складання записане на кресленнях вузлів, виробів і вони вважають, що більше нічого там не потрібно, в тому числі проводити незрозумілі для них якісь теоретичні розробки та експериментальні дослідження. Поки в свідомості всіх фахівців таке відношення до складального виробництва не зміниться, доти складання буде завжди на задвірках. А те, що потрібно зробити, випливає навіть з загальновідомих вимог, що ставляться, як до складальних систем, так і складальних виробів, а саме, складання конкурентоспроможних виробів високої якості з мінімально можливими затратами в умовах гнучкого автоматизованого виробництва.

Рис.1. Взаємозв'язок елементів складального виробництва та їх недоліки.

Виробнича складальна система (рисунок) повинна відповідати таким вимогам: висока якість технології складання виробу, необхідна продуктивність складання, мінімальність витрат, високоефективне складальне обладнання та оснащення, гнучкість складальної системи, ергономічність робочих місць складальників, інноваційність, висока

кваліфікація складальників і *ITP*, економічна ефективність. Вимогами щодо складальних одиниць виробів будуть: висока технологічність конструкції, врахування особливостей виконання складальних операцій в заданих умовах, складального обладнання та оснащення, відповідність складальних компонентів умовам складання, мінімум складальних напрямків приєднання деталей, висока якість складальних компонентів, використання добре відпрацьованих (не тільки конструкційно-технологічно, а в основному експлуатаційно) складальних з'єднань, проста та дешева технологічна підготовка складального виробництва, тощо. З наведеного видно, що обсяг необхідних теоретичних розробок та експериментальних досліджень є значним і зовсім не поступається виконуваним напрацюванням в інших виробництвах, а навіть є значно більшим.

Більш детально необхідні напрацювання в складальному виробництві майбутнього були розглянуті в [1]. Весь обсяг робіт був розбитий за шістьма напрямками: науково-теоретичному (12 тем), конструкційному (12), технологічному (12), програмному (12), організаційному (12) та експлуатаційному (12) з використанням концепції багатомірного комп'ютерного інтегрування на базі об'єднаних мережних і інтелектуальних технологій. Потребують розробки також проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності нечіткого середовища (метод максимультиплікативної згортки), методологічних аспектів моделювання, інформаційної підтримки управління, підвищення конкурентоспроможності виробів, синергетичного підходу до аналізу динамічних процесів у складальному устаткуванні й спорядженні і т.п. Усі необхідні розробки взаємопов'язані між собою, одне розпрацювання впливає на інше або є його наслідком.

Відомо, що позитивні результати намічених розробок можуть бути досягнутими та забезпеченими цільовим фінансуванням. Так в США на розвиток науки і техніки виділяється близько 3,5% національного доходу, Англія витрачає 2,4%, Німеччина – 2,6%, Польща – 0,39%. Можна з упевненістю вважати, що країни, які на ці цілі виділяють менше 1%, повністю покладаються на випадковість і в цьому плані не мають жодних шансів на успіх. Наші країни виділяють на такі розробки ще менше (Україна – 1%, Росія – 0,2%), а для складального виробництва в кращому випадку припаде пару процентів від мізеру. Правда на початку 2006 р. Кабінет Міністрів України затвердив державну програму розвитку машинобудування загальною вартістю 31330,5 млн. грн. У 2006 р. планується з бюджету виділити 2156,5 млн. грн., а 1885 млн. грн. представити як довготермінові займи. Це безумовно замало як для машинобудування в цілому, так і в частині складального виробництва, до того ж з досвіду минулого виникають великі сумніви у повному фінансуванні цієї куцої державної програми розвитку. З проблеми недостатнього фінансування випливає *друга* хвороба – відсутність ресурсів на виконання необхідних робіт. При цьому, в першу чергу недостатність ресурсів на функціонування складального виробництва, а в другу – проведення науково-дослідних напрацювань на майбутнє. Рівень сучасного складального виробництва набагато нижчий 90^{-x} років. І якщо тепер Росія за рахунок нафтодоларів, а Білорусія – уникнення дикої приватизації поступово повертаються на втрачені позиції, то Україна знаходиться далеко позаду. Практично нові напрацювання по складанню в централізованому чи будь-якому іншому порядку тепер не проводяться взагалі. Відома лише низка цікавих і корисних робіт окремих авторів, що носить фрагментний, вибірковий та випадковий характер.

Третьою хворобою є надзвичайна слабкість та застарілість виробничої бази складального виробництва, а саме: зменшення виробничих площ, відсутність централізованого виготовлення та постачання гостро необхідного складального обладнання та оснащення, неналежний рівень експлуатаційних і організаційних процесів, тощо. Складальне виробництво існує в вигляді ручного, механізованого, автоматизованого та ав-

томатичного, а також змішаного, наприклад, ручно-механізованого, механізовано-автоматизованого, тощо. Найбільша частка припадає на ручно-механізоване, далі йде механізовано-автоматизоване і незначний відсоток автоматизованого чи автоматичного. Вимогами сьогодення є гнучке складальне виробництво [2]. Засоби механізації та автоматизації повинні випускатися централізовано, що тепер не робиться, а зменшена номенклатура продукції виготовляється під замовлення. Не технічні процеси останніх 15 років привели до практичної відсутності випуску технологічного складального обладнання та оснащення. Причина цієї хвороби криється в неправильному превалюванні приватного виробництва над державним. Всупереч відомій світовій практиці примусова приватизація успішних державних підприємств принесла значну шкоду, а свідомі попередні їх банкрутства – ще більшу. Останній характерний приклад продаж „Криворіжсталі", коли замість колосальних сталих прибутків хтось від імені держави чомусь вибрав одноразовий. Хочеться вірити, що це лише короткозора помилка. Такі стратегічні об'єкти в тому числі, що виготовляють складне технологічне складальне обладнання повинні бути державними, що і забезпечить сучасну базу складального виробництва. Не знайдеться ні одного приватного підприємства, яке б взялось випускати складальні центри чи універсальне оснащення. Причина криється в тому, що дійсно більшість хочуть отримати прибуток, але не колись, а тільки тепер і зразу. Керування державною власністю спеціалістами з метою добробуту країни та її громадян давно застосовується багатьма країнами поряд з підприємствами приватною власністю. Як і всюди істина знаходиться посередині. Лише при такому підході базу складального виробництва можна довести до сучасного світового рівня.

Вимогами сьогодення є інноваційність і конкурентоспроможність. Як відомо, інноваційність є рушійною силою технічного прогресу, а конкурентоспроможність – характеристикою виробу, яка складається з комплексної оцінки всієї сукупності його якісних і економічних властивостей відносно вимагань ринку чи властивостей інших виробів. По відношенню до складального виробництва конкурентоспроможність розглядається в технічному та економічному аспектах. Інноваційні вироби та складальні технології мають більше шансів бути конкурентоспроможними, ніж нові, а тим паче старі. Теперішній рівень складального виробництва характеризується надзвичайно низькою інноваційністю та конкурентоспроможністю. Навіть на внутрішньому ринку більшість виробів не конкурентоспроможні. Приємним виключенням з цієї ситуації є літако- та ракетобудування, які майже зберегли свою технічну базу та персонал, але і вони поступово втрачають свої позиції на світовому ринку. В цьому і полягає *четверта* хвороба складального виробництва, яка є фактично похідною попередніх. Виправленням такого становища є патентна база, використання якої вимагатиме впровадження цілком нової її організації (досвід Японії), а також ліцензування. На початку це вимагає створення сучасної виробничої бази складальної системи, і лише при її наявності можна організовувати випуск інноваційних конкурентоспроможних виробів.

З врахуванням нових тенденцій розвитку складального виробництва його можна значно покращити за рахунок використання можливостей комп'ютерно-інтегрального виробництва, а саме: гнучких інтегрованих складальних *CALS*-технологій, закладення принципу модульності, як в технологіях, так і конструкціях, нових способів автоматизованого складання, принципово нового технологічного обладнання та оснащення, систем рентабельного виробництва, систем діагностування та управління на засадах маркетингу, тощо. Складальне виробництво характеризується принципово новими інтегрованими технологіями, автоматичним конструкторським і технологічним проектуванням, використанням нових методів математичного моделювання, управління, організа-

ції, обладнанням і іншими атрибутами. Нове складальне обладнання та оснащення повинно бути переналагоджуваним з його серійним випуском. Загальна концепція *CIM* поєднує ряд проблемно-орієнтованих систем *CAD, CAM, CAE, CAP, SFS, PPS, CAQ, TQM, MRP, TPM, JIT, ATM, PRO-Engineer, UNIGRAPHICA, ADEM, ACAD, КОМПАС* і багатьох інших. Уже зараз можна розрізняти майбутнє складальне виробництво *CIM*, існування національних складальних виробництв *CIM* окремих країн, в залежності від рівня їхнього розвитку

Як відомо складаний виріб, в тому числі і складальне обладнання майбутнього, є складним механізмом зоптимізованого функціонального призначення, оснащеним мікропроцесорним управлінням, діагностичною системою, в якому функції оператора виконує комп'ютер, а роль робітника зведена до спостереження, обслуговування та ремонту. Такі конструкції вимагатимуть значних затрат, що підтверджується нашим і зарубіжним досвідом. Наприклад, фірма *Fiat* на розробку маленького легкового автомобіля *Cinquecento* потратила 700 млн. доларів. Тому припущення про забезпеченість доброго конкурентноздатного виробу без великих затрат помилково з усіх точок зору. Якість і конкурентоспроможність визначатимуть затрати та кваліфікація інженерного та робітничого персоналу.

Оскільки кадри вирішують все, то таке положення, що зараз склалося в складальному виробництві, можна признати навіть вкрай небезпечним. Старше покоління робітників і інженерів перейшло на пенсію, середнє, найбільш продуктивне – зайнялось бізнесом і іншими краще оплачуваними роботами, а молода зміна майже зникла. Зараз робітників для промисловості не підготовляє ніхто: професійно-технічні училища ліквідовані, фактично іде самопідготовка на окремих ще працюючих підприємствах. З-за мізерної платні більшість таких початково ледь-ледь підготовлених робітників розглядається за краще оплачуваною роботою і теж з часом відходить. Майже таке ж положення з технікумами та вузами, де рівень технічної підготовки вже давно опустився нижче мінімального. В цьому і полягає *п'ята* хвороба складального виробництва. Якщо трохи помріяти і допустити, що вже завтра всі попередні хвороби будуть вилікувані, тобто складальному виробництву буде приділена належна увага, значно збільшиться дійсне фінансування, цехи і заводи наповняться новим обладнанням і оснащенням, інновації передуватимуть у виробництві, тощо, але хто ж працюватиме? І виявляються справедливими закиди, що в нас бачать колоніальні країни і лише ринки збуту своєї продукції.

Висновки. Не дивлячись на заспокійливу інформацію про якийсь розвиток промисловості, здобуті успіхи, тощо, сучасний стан складального виробництва надзвичайно поганий, а за своїми показниками воно знаходиться далеко позаду аналогічного виробництва Заходу та Сходу. При продовженні такої ситуації в складальному виробництві можуть початися незворотні процеси, вийти з яких буде майже неможливо. До цієї межі маємо час ще пару років. Основна причина такого стану – політична. Це також підтверджується станом промисловості та роботою на Сході та Заході країни. Причини очевидні. Основними хворобами складального виробництва є: недостатнє приділення уваги, погане фінансування, слабка застаріла матеріально-технічна база, відсутність та ігнорування інноваційних розробок, малочисельність та низький рівень кадрів. Шлях лікування один, єдиний – по-справжньому зайнятися справжньою господарською роботою, як в промисловості, так і особливо складальному виробництві з наскрізним формуванням команд спеціалістів, а не політиків і дилетантів.

Список літератури: 1. Шабайкович В.А. Проблематика автоматической сборки изделий. Сборник трудов XII международной конференции «машиностроение и техносфера XXI века», т.4, 2005, с.79-83. **2.** Божидарнік В.В., Григор´єва Н.С., Шабайкович В.А. Автоматичне складання виробів: Навч. посібник. –Луцьк, вид-во „Надстир´я", 2005. – 386 с.

О МЕСТЕ ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩИХ КОМПАНИЙ В КОРПОРАТИВНЫХ СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Карпов Э.А., Шакалов С.Н. *(СТИ МИСиС, г. Старый Оскол, Россия)*

There are considered reasons of the shaping the corporative structures in metallurgical branch in the article .The main forming estimations of the complex potential of the corporative structure are chosen. The importance criterion is shown such as recursive potential, especially its energy component. The Offered main trends activity of the powersupply companies being included in the mining metallurgical holding.

Законы развития отраслей промышленности России в условиях рыночной экономики практически идентичны законам развития отраслей промышленности в мире.

Влияние процессов глобализации экономики и факторов (стремление выйти на международные рынки, вступление в ВТО, участие в различных конвенциях и д.р.) приводят к пересмотру парадигмы всеобщего разукрупнения предприятий и тезиса об обязательности конкурентной борьбы между производителями как атрибутивного свойства рынка.

Сегодняшняя организация экономики такова, что все более и более подталкивает участников рынка к формированию крупных корпоративных структур, что способствует росту концентрации производства в отраслях промышленности.

В металлургической отрасли сформировались следующие крупные корпоративные группы ООО «Евразхолдинг», группа ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», группа ОАО «Северсталь», группа «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Стальная группа Мечел», ООО «Газметаллпроект» и др.

Следует отметить активизацию процессов консолидации активов металлургических предприятий и концентрации производства. [1]

Формирование корпоративных структур в металлургии осуществляется по направлениям вертикальной, горизонтальной и конгломератной интеграции, в которых главными условиями развития интеграционных процессов и их интенсификации в последнее время явились:

- устранение «распыления собственности» при массовой приватизации вплоть до выделения из юридически оформленных в плановой экономике комбинатов отдельных подразделений в самостоятельные акционерные общества;

- завершение процесса консолидации акционерного капитала в крупнейших металлургических компаниях;

- резкая дифференциация экономического состояния отдельных комбинатов и заводов еще на этапе вхождения в рыночную экономику. Так по оценкам Международного союза металлургов 30% металлургических заводов имели в 2003 неудолетворительное финансовое положение. [2]

Практика работы зарубежных предприятий металлургии, например таких мировых лидеров металлургии как компании Mittal Steel, US Steel и др. показывает что, наиболее эффективно функционируют промышленные «сквозные» комплексы. Которые объединят предприятия сырьевого, металлургического и металлообрабатывающего

профиля в рамках крупнейших транснациональных компаний. В отличие от других отраслей промышленности, где целесообразна технологическая специализация, предполагающая обособление производственных секторов, в металлургии такая практика оказалась неэффективной. [5]

В условиях российской действительности подтверждением работоспособности и экономической эффективности холдинговой модели может служить тот факт, что в данное время на предприятиях входящих в состав корпоративных структур проводится масштабная реконструкция и ввод новых мощностей. В советское время, осуществление таких высокозатратных проектов осуществлялось в рамках программ министерства черной металлургии.

При формировании корпоративной структуры возникает проблема оценки комплексного потенциала, создаваемого в результате интеграционного процесса. Для этого выделим основные составляющие комплексного потенциала корпоративной структуры:
Инвестиционный.
Ресурсный.
IT технологический.
Инновационный.
Маркетинговый.
Кадровый.
Экологический.
Социальный.

Например, при включении в корпоративную структуру горно-металлургического холдинга, проводится оценка ресурсного потенциала. Критериями оценки могут служить запасы руды, производство продукции, качественная характеристика руды и технико-экономическая характеристика производства.

Отметим что, металлургическое производство является весьма энергоемкой отраслью. Так, по мнению авторов необходимо в ресурсный потенциал включать и обеспеченность энергоресурсами. В частности электроэнергией.

В условиях буксующей реформы электроэнергетики все более проявляются негативные последствия, из которых основными являются:
– возможность появления дефицита электроэнергии;
– снижение надежности энергоснабжения;
– неэффективность системы установления тарифов на электроэнергию;
– большие объемы перекрестного субсидирования;
– рост тарифов на электроэнергию. [3]

Уровень электро-энергетических затрат в структуре себестоимости производства продукции в настоящее время является одним ив важнейших факторов, определяющих не только уровень цен на эту продукцию, но и все финансово-экономическое состояние самих предприятий горно-металлургического комплекса.

Исследование и внедрение энергосберегающих мероприятий обуславливается необходимостью ведения хозяйственной деятельности на основе повсеместного внедрения ресурсосберегающих технологий, направленных на изменение структуры экономики и структуры потребления. Основными условиями данной задачи являются:

1. внешние — высокие показатели удельной энергоемкости всех видов производства не могут продуктивно сочетаться с ростом цен на энергетические и другие ресурсы;

2. внутренние — необходимость реализации технических возможностей существующего отечественного производства в условиях практически единого мирового экономического пространства.

Россия — особая страна, богатая, энергоресурсами. В нашей стране, несмотря на всю очевидность проблемы, до сих пор отсутствует необходимая экономическая база (использование перекрестного субсидирования, бюджетное дотирование энергорасходов и др.) при отсутствии понимания значимости этой проблемы не только среди населения, но даже среди специалистов, управленцев, экономистов, менеджеров и т.п. Поэтому в такой ситуации формируется третье условие:

3. только в случае ее (исследование и внедрение энергосберегающих мероприятий) эффективного научно-практического решения, возможно достижение как стабильного социально-экономического развития, так и коренного улучшения качества жизни людей. На первых этапах например, в рамках корпоративных структур, для решения ключевого третьего условия и может служить «Мотивация внедрения энергосберегающих технологий».

Выводы. Авторы считают, что целесообразно для снижения себестоимости продукции, осуществления надежного электроснабжения, появления стимула к осуществлению энергосберегающих технологий в состав корпоративных структур вводить подразделение «Энергоснабжающая компания».

«Энергоснабжающая компания» может осуществлять деятельность по следующим направлениям.

- Торговля на оптовом рынке электроэнергии.
- Генерация собственной электроэнергии. Как показывают расчеты Международного союза металлургов себестоимость собственной электроэнергии в 2-2,5 раза ниже, чем покупка у РАО ЕЭС.
- Проведение мероприятий по внутреннему энергоаудиту. [4]
- Внедрение энергосберегающих мероприятий и технологий на предприятиях входящих в состав корпоративной структуры.
- Мотивация внедрения энергосберегающих технологий.

Список литературы: 1. Место России в мировой черной металлургии. Информационный бюллетень МСМ №3 2004г. **2.** Жемчуева М.А.Оценка эффективности корпоративных структур в черной металлургии и методика их балансовой консолидации//Известия высших учебных заведений. Черная металлургия 2005 №7 с53-59. **3.** Карпов Э.А. Шакалов С.Н. Реформа энергетики создает проблемы металлургии материалы конференции «Образование, наука, производство и управление» СТИ МИСиС Старый Оскол, 2005 Т.2. с 255-258. **4.** Карпов Э.А., Шакалов С.Н. Энергоаудит как основа эффективного энергоснабжения крупного промышленного предприятия материалы научно-технической конференции ОАО «ОЭМК» Старый Оскол 2005 с.11-15. **5.** Латунов Д.Е. Формирование вертикально-интегрированных компаний в металлургическом комплексе России//Металлург. 2005 №6 с.12-17.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IT ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОРПОРАТИВНОЙ СТРУКТУРЫ С ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩЕЙ КОМПАНИЕЙ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Карпов Э.А., Шакалов С.Н. *(СТИ МИСиС, г. Старый Оскол, Россия)*

There are shown importance of IT potential holding in the article. The management models of the production on base of the using the modern methods of energy-count with current state of the business of the electric power and own needs production are chosen, within the framework of under development structure powersupply companies by author and it place in corporative structure of the metallurgical branch.

При реализации интенсивного направления деятельности энергоснабжающей организации холдинга особое место занимает IT технологический потенциал. [2]

До сих пор не редки случаи, когда информационные технологии внедряют как дань моде или в условиях, в которых эффективнее было бы применить организационное или техническое решение. Но, как правило, промышленные предприятия прибегают к автоматизации по объективным причинам, которые могут иметь как внутреннее (организационные или производственные проблемы), так и внешнее (конкуренция) происхождение. Основными целями IT- проектов в промышленности является сокращение издержек и повышение эффективности использования финансовых, материальных и трудовых ресурсов предприятия. Ключевые задачи автоматизации включают в себя переход к единому представлению данных в рамках предприятия, исключение дублирования информации, повышение достоверности внутрифирменных информационных потоков, согласование бизнес-процессов подразделений и обеспечение их прозрачности, использование методов оптимизации планирования, управления и производства. Кроме того, за счет IT управленцы стремятся упростить процессы агрегирования и анализа информации о деятельности предприятия, и в целом, обеспечить рост производительности труда.

В то же время, сегодня в целях повышения эффективности управления, многие сразу переходят к автоматизации бизнес-процессов, минуя этап их планирования и организационной оптимизации или совмещая его с автоматизацией.

При этом пример концерна «Тойота» с внедрённой там концепцией «бережливого производства», наглядно показывает, что существует реальная возможность кардинальной оптимизации деятельности и управления без «тотальной» автоматизации бизнес-процессов. Более того, родившаяся там же система производства «just-in-time», сама по себе почти не требует использования IT, основная её составляющая — организационная. [1]

Принято считать, что, «перешагивая» через этап организационной оптимизации, предприятия экономят время и сразу переходят в разряд «современных». В целом это верно, если не учитывать, что в таком случае предприятие несёт затраты одновременно и на организационную перестройку и на внедрение информационных технологий. При этом в очень многих случаях основной эффект приносит именно организационная перестройка бизнес-процессов, а информационные технологии лишь помогают этот эффект усилить. (Вспомним принцип Парето: 20% усилий обеспечивают 80% результата). Если же проводить эту процедуру в два этапа, то, во-первых, реорганизация пройдет более плавно, а, во-вторых, можно будет существенно снизить единовременные затраты на оптимизацию бизнес-процессов предприятия.

В металлургии как и в электроэнергетике основными системами являются DMPM/HMI/ SCADA/MES для управления технологическими линиями, а также ERP-системы для оптимизации бизнес-процессов.

Для холдинговых структур в металлургии принципиальным моментом является оптимальное распределение производства между комбинатами. Поэтому, при создании энергоснабжающей компании холдинга необходимо учитывать возможность планирования распределенного производства и формирования консолидированной отчетности.

Если на комбинатах используются разные ERP системы, то они должны, по крайней мере, хорошо состыковываться с точки зрения доступа к данным.

Что касается управления технологическими процессами энергоснабжающей компании, то необходима интеграция выходных данных SCADA систем контролирующих работу генерирующих мощностей, а также систем энергоучета по комбинатам и систем оперативно-диспетчерского управления с системой управления производством.

При выборе модели системы управления производством следует учитывать тот факт, что они должны изменятся и адаптироваться.

Сегодня есть три основных претендента на новую модель управления производством, которые могут быть в разной степени применимы к различным производственным процессам. Это модель планирования потребностей в материалах и производственных ресурсах (MRP/MRPII/ERP), модель «точно вовремя» (J I T) и модель оптимизированной технологии производства (OPT). [3]

Конвейерное производство. Традиционная модель управления производства. Не учитывает изменений на рынке и конкуренции по времени вывода продуктов на рынок.

Планирование потребностей. MRP/MRPII это «подталкивающая» производство система. Службой маркетинга/продаж даётся прогноз продаж (на неделю, месяц, год или другой срок), компьютерная система превращает его в производственный план. План затем детализируется до уровня ведомости материалов на производство планируемого объёма продукции, в результате собирается заданное количество изделий. Таким образом, производство «подталкивается» прогнозируемым спросом, а не тем, который есть на самом деле. Для использования этих моделей критичен точный учет сырья, незавершенного производства и готовой продукции. Система не предусматривает дальнейшего улучшения производственного процесса и выпускаемой продукции.

«Точно вовремя». С другой стороны, J I T «тянет» производство, базируясь на фактическом спросе на готовую продукцию, и спрос на комплектующие для необходимого объёма готовой продукции приводит всю систему в движение. Принцип работы JIT отражается фразой «продаём каждый день — производим каждый день». В результате естественным образом сокращаются складские расходы и повышается «скорость ответа» системы производства. Но внедрение этой модели управление производством может быть очень рискованным — требуются коренные изменения, как в производстве, так и в управлении и корпоративной культуре. J I T требует множества параллельных улучшений в системе производства и затрагивает все области деятельности компании.

Оптимизированная технология производства. OPT рассматривает компанию в целом, как механизм получения денежных средств и оптимизирует количество денег создаваемых системой. В основу OPT положена теория ограничений разработанная физиком Элияху Моше Голдраттом (Eliyahu Moshe Goldratt). Голдратт был вовлечен в процесс разработки методологии управления производством для фабрики своего друга. В результате применения теории ограничений выпуск продукции увеличился в три раза.

В рамках теории ограничений любое предприятие рассматривается как система ресурсов, связанных между собой процессами (цепи процессов), в которых они используются. Все ресурсы работают на достижение цели предприятия. Под ограничением понимаются все факторы, которые мешают предприятию (системе) на пути достижения поставленной цели.

При таком подходе к рассмотрению предприятия теория ограничений носит универсальный характер и может быть применена не только к управлению производством (хотя она изначально разрабатывалась именно для этого), а почти ко всем бизнес-процессам предприятия.

Как общие подходы, все три модели дополняют друг друга и могут использоваться совместно в разных сочетаниях. Очень важно не воспринимать их, как взаимоисключающие варианты: Можно использовать MRPII для общего планирования закупок, J I T для организации основного производства и OPT для оптимизации всей системы и устранения её «узких мест».

В рамках разрабатываемой авторами структуры энергоснабжающей компании и ее места в корпоративных структурах металлургической отрасли, определенны модели управления производством на основе применения современных методов энергоаудита с учетом текущего состояния рынка электроэнергии и собственных потребностей производства.

Взаимосвязь и основные направления деятельности энергоснабжающей компании показаны рис.1. Целью разработанной авторами функциональной структуры является снижение энергоемкости продукции, как основного способа повышения конкурентоспособности предприятия.

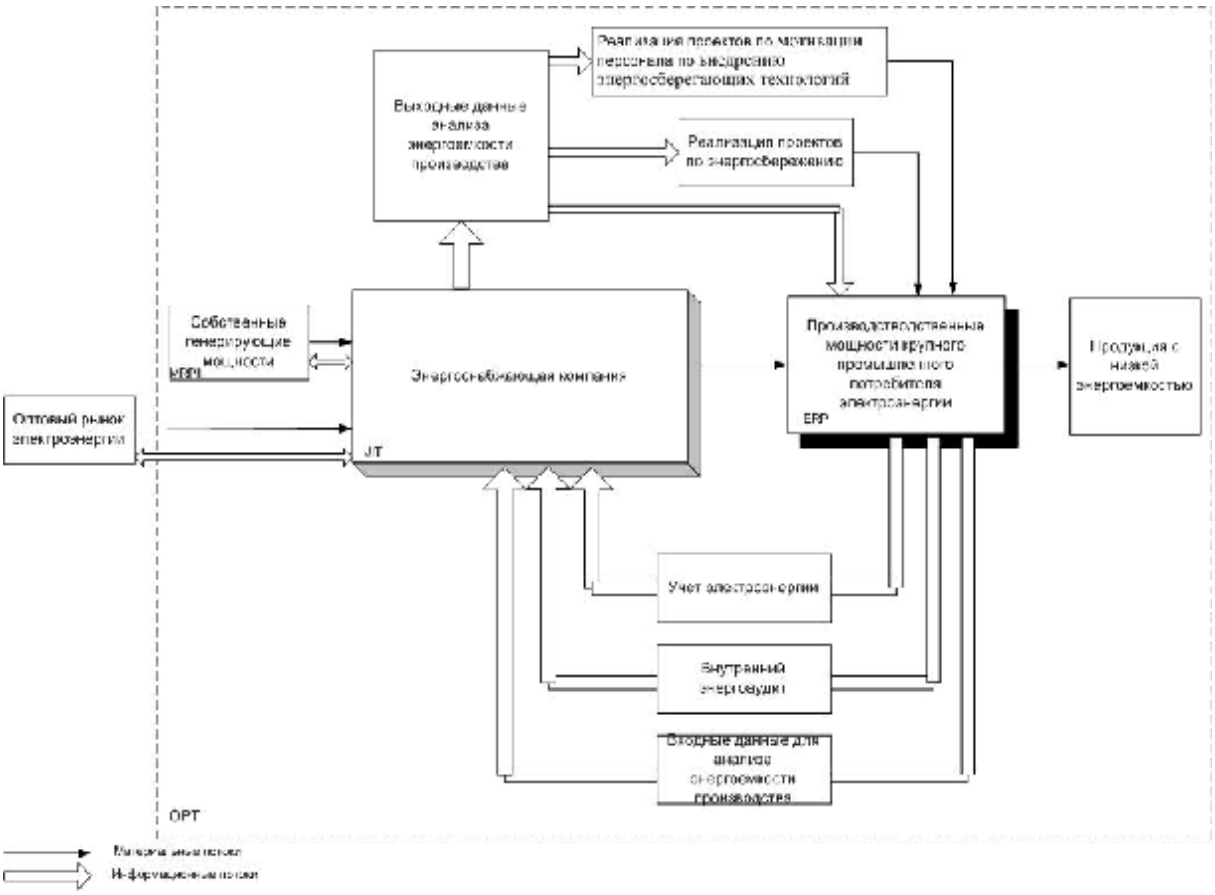


Рис.1 Взаимосвязь информационных и материальных потоков в энергоснабжающей компании в составе холдинга

Из схемы видно, что на каждом этапе необходимо применение соответствующей информационной системы и моделей управления. Такое разграничение вы-

звано, прежде всего, сложностью комплексного анализа корпоративной структуры (холдинга) и отсутствие комплексных систем решающих данную задачу. В связи с этим, можно разделить решаемую задачи и решить в рамках уже существующих программных продуктов и на их базе построить свою собственную универсальную IT систему.

Список литературы: 1. Вумек Джеймс П., Джонс Дэниел Т. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании/Пер, с англ. - М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. - 473 с. 2. Карпов Э.А., Шакалов С.Н. Энергоаудит как основа эффективного энергоснабжения крупного промышленного предприятия материалы научно-технической конференции ОАО «ОЭМК» Старый Оскол 2005 С.11-15. 3. Обзор: ИТ в промышленности 2005 /РБК.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ХРОМИРОВАНИЯ В ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Шалимов Ю.Н., Богданович Е.Н., Харченко Е.Л., Литвинов Ю.В. *(ФГУП «НКТБ «Феррит», г. Воронеж, Россия)*

In work are considered the problems of use III valency of electrolytic conductors of a chromium coating in an industry. Is fixed, that during an electrocrystallization there are limitations of new nuclei shaping. The base reason of these limitations is the formation of hydrides on an electrode surface.

В настоящее время гальваническое хромирование имеет широкое и разнообразное применение. Большая часть процессов хромирования осуществляется из электролитов, содержащих в качестве основного компонента оксид хрома (VI), концентрация которого может достигать 500 г/л. Соединения хрома (VI) обладают общетоксическим действием и проявляют канцерогенные свойства. Предельно допустимая концентрация хрома (VI), хроматов в воздухе в пересчете на Cr_2O_3 установлена равной 0,1 мг/л.

Хроматы попадают в окружающую среду, вытяжную вентиляцию, в почву – через сточные воды. Унос Cr_2O_3 в вентиляцию зависит от концентрации его в электролите, скорости процесса перепада температур нагрева, обильности газовыделения.

Накопленный опыт эксплуатации ванн хромирования в заводских условиях показывает, что при хромировании в электролитах с концентрацией Cr_2O_3 250 г/л, катодной плотности тока ($i_к$) 80 А/дм^2 и температуре 55 ^{0}С вынос электролита в вентиляцию составляет ≈ 220 мл с 1 м^2 поверхности электролита. при возрастании концентрации Cr_2O_3 до 500 г/л унос его в вентиляцию увеличивается в 15 раз. При изменении $i_к$ от 20 до 100 А/дм^2 (концентрация Cr_2O_3 – 250 г/л) эти потери возрастают в 5 раз и изменение температуры от 30 до 70 ^{0}С в 4 раза. Пары Cr_2O_3 разносятся ветром на большие расстояния, концентрируясь, проникают в почву, грунтовые воды, вызывая заражение окружающей среды.

В процессе хромирования значительные потери хромового ангидрида происходят в следствие уноса его с деталями и приспособлениями при выгрузке их из ванн. Исследование этих потерь показало, что при защитно-декоративном хромировании на толщину 0,5 мкм и твердом – 12 мкм из электролита с концентрацией Cr_2O_3 250 г/л на образование покрытия расходуется соответственно 12 и 76 % хромового ангидрида, остальное (88 и 24 %) выносятся с деталями в ванны промывки.

При программе 100 тыс. м^2 в год и идеальном выносе раствора, равном 0,2 г/л^2, из ванн выносится 20 тыс. литров, что соответствует 5 тыс. кг Cr_2O_3. В то же время при концентрации Cr_2O_3 в электролите 150 г/л и тех же толщинах (0,5 и 12 мкм) его расходуется соответственно 82 – 16 %. Таким образом, чем меньше толщина покрытия и больше концентрация хрома (VI) в электролите, тем большее его количество выносится в промывные воды.

Если оценивать влияние рассматриваемых выше факторов исходя из экологических требований, то наибольшее вредное влияние оказывает концентрация Cr_2O_3 в электролите.

Одним из эффективных путей снижения экологической опасности хромирования является осуществление этого процесса в мало концентрированных электролитах (с концентрацией Cr_2O_3 менее чем 250 г/л). Второй путь – замена хроматных электролитов нетоксичными, содержащими соединения хрома (III) наиболее приемлемым для защитно-декоративного хромирования.

Термокинетические эффекты, сопровождающие процессы электрокристаллизации хрома из его трехвалентных соединений, создают предпосылки уменьшения скорости реакции восстановления трехвалентного хрома до металлического состояния при увеличении продолжительности электролиза. В связи с этим толщина получаемых покрытий будет ограничена критическим временем, по истечении которого на поверхности электрода становится невозможной кристаллизация металлического хрома.

Анализ зависимостей $A_{Cr^0} = f(i_k, t)$ показывает, что практически при любом химическом составе электролита повышение температуры последнего резко тормозит процесс электрокристаллизации металлического хрома. Снижение скорости электроосаждения хрома с увеличением продолжительности электролиза, по нашему мнению, связано с изменением структуры сульфатных комплексов хрома (III) вследствие повышения температуры электролита в прикатодном слое. Практически всеми исследователями предлагаются электролиты на основе трехвалентного хрома для получения лишь защитно-декоративных покрытий небольшой толщины. Промышленное применение процессов гальванического хромирования из низковалентных электролитов реализовано лишь на некоторых фирмах Японии.

Рассматривая эффект тепловыделения на катоде как фактор дестабилизации процесса электроосаждения хрома, сравним характер изменения зависимостей $\Delta T = f(i_k, t)$ и $A_{Cr^0} = f(i_k, t)$ для одних и тех же технологических параметров электролиза.

Результаты этих экспериментов представлены на рис. 1 и рис. 2.

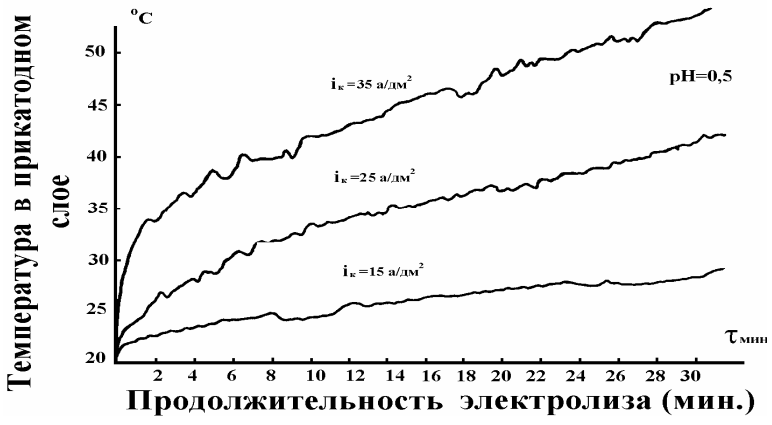


Рис. 1. Зависимость $\Delta T=f(i_k,\tau)$ при различных i_k (А/дм^2) для процесса электрохимического хромирования: 1 - 15 А/дм^2; 2 - 25 А/дм^2; 3 - 35 А/дм^2

Для определения времени перехода электрода в состояние, когда скорость кристаллизации хрома становится равной скорости его растворения (временного фактора дестабилизации процесса), используем аналитический метод решения задачи. Очевидно, критическая временная точка находится на оси времени при соблюдении следующего условия:

$$\int_0^{\tau_1} F(i,\tau,pH)d\tau = \int_{\tau_1}^{\tau_2} F(i,\tau,pH)d\tau, \qquad (1)$$

где F(i, τ, pH) представляет собой площадь, ограниченную осями координат времени и кривой зависимости выхода по току хрома от плотности тока и времени электролиза; τ_1 - время перехода электрода через состояние равновесия.

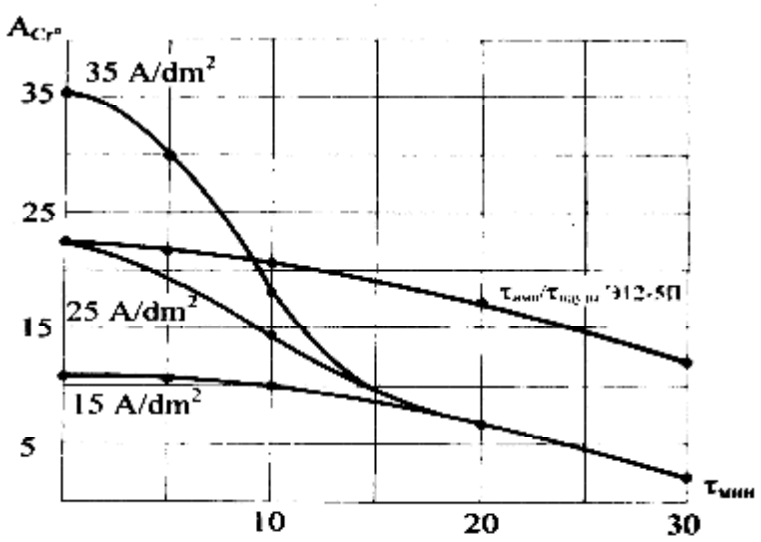


Рис. 2. Зависимость $A_{Cr}{}^0=f(i_k,\tau)$ при различных i_k (А/дм^2): 1 - 15 А/дм^2; 2 - 25 А/дм^2; 3 - 35 А/дм^2; 4 - имп. Э12-5П, $i_{ср}$=20 А/дм^2.

Решение задачи можно значительно упростить, заменив кривые зависимостей $A_{Cr^0} = f(i_k, t, pH)$ 1, 2, 3, 4 на соответствующие прямые 1', 2', 3' и 4' (рис. 3). В этом случае адекватность ограниченных кривыми и соответствующими прямыми площадей фигур сохраняется.

Рис. 3. Аппроксимация зависимости выхода по току металла от продолжительности электролиза и плотности катодного тока

Значение критической временной точки в этом случае определяется из равенства площадей трапеции abcd и треугольника cdf. Положение ординаты cd на временной оси и определит значение времени равновесия скоростей процессов электроосаждения и растворения металла.

Обозначив критическое время через τ_1, а время пересечения кривой (или аппроксимирующей её прямой) с осью времени через τ_2, после соответствующих преобразований получим:

$$\tau_1 \cdot (\tau_2 - \frac{1}{2} \cdot \tau_1) \cdot \mathrm{tg}\alpha = \frac{1}{2} \cdot (\tau_2 - \tau_1)^2 \cdot \mathrm{tg}\alpha, \qquad (2)$$

где α - угол наклона аппроксимирующей прямой к оси времени.

Тогда значение τ_1 можно определить из уравнения:

$$\tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \mathrm{tg}\alpha - \frac{1}{2} \cdot \tau_1^2 \cdot \mathrm{tg}\alpha = \left(\frac{1}{2} \cdot \tau_2\right)^2 \cdot \mathrm{tg}\alpha - \tau_2 \cdot \tau_1 \cdot \mathrm{tg}\alpha + \left(\frac{1}{2} \cdot \tau_1\right)^2 \cdot \mathrm{tg}\alpha. \quad (3)$$

Для определения τ_1 получим соответствующее выражение:

$$\tau_1 = \frac{2 \cdot \mathrm{tg}\alpha \cdot \tau_2 \pm \sqrt{(\mathrm{tg}\alpha \cdot \tau_2)^2 - 4 \cdot \mathrm{tg}\alpha \cdot \tau_2^2}}{2 \cdot \mathrm{tg}\alpha}. \quad \text{----------} \quad (4)$$

После подстановки соответствующих данных α=22°30', τ_2=33 мин получим значение критической временной точки для плотности тока i=35 А/дм^2, $\tau_1 \approx 9$ мин (8 мин 50 сек).

Для плотности тока, соответствующей 15 А/дм^2, α составит ≈10°30' и соответственно tg α=0,185. Тогда τ_1=10 мин.

При катодной плотности тока 25 А/дм^2 значение времени перехода через критическое значение составит 9,6 мин.

Аппроксимация зависимости $A_{Cr^0} = f(t)$ для плотности тока 20 А/дм^2 в импульсном режиме электролиза (Э12-П5) определяет исходные параметры в виде значений τ_2=50 мин, tg α=0,2. Критическое время перехода составит τ_1=14 мин.

Таким образом, при сохранении общей закономерности зависимости выхода по току от продолжительности электролиза создаются предпосылки для получения покрытий большей толщины.

В общем случае максимальное вероятное количество осажденного металла на катоде может быть определено по формуле:

$$m_{\text{мет}} = Э_{\text{ме}} \frac{Q}{F} \cdot \frac{\int_0^{\tau_{\text{кр}}} F(i, \tau, \text{pH}) d\tau}{S_{\text{ед}}} \qquad (5)$$

где $\int_0^{\tau} F(i,\tau,pH)d\tau$ - интегральное значение площади фигуры, ограниченной кривой зависимости $A_{Me^0} = f(i,\tau,pH)$; $S_{ед}$ - единичная площадь поверхности, ограниченная осью времени и прямой, соответствующей 100 % выхода металла по току.

Проведенный анализ и результаты наших исследований позволяют предположить, что после перехода критической временной точки состояние процесса можно охарактеризовать как режим псевдокристаллизации. За критическим переходом скорость окисления металла на катоде за счет химического взаимодействия с раствором электролита становится выше скорости электрохимического восстановления ионов металла. Механизм и динамику развития этих процессов определяет химический состав электролита, его стабильность при воздействии различных факторов (температура, буферные свойства), а также условия взаимодействия температурных, концентрационных и электрических полей в процессе электролиза. Возникающие в процессе электролиза температурные эффекты в зоне катодных реакций создают дополнительный энергетический барьер, который необходимо преодолеть для осуществления процесса восстановления катиона металла.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ НАБРЫЗГБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

Шашенко А.Н., Коваленко В.В. (*НГУ, Днепропетровск, Украина*)

The filler particle bounce phenomenon is investigated on the basis of the theory of elastic impact of a particle on a surface of a rocky wall (support). Analytical researches are executed in view of movement of a particle in a viscous solution and holding forces of viscosity. The mathematical model of formation throwconcrete covering process is received and the basic physical, mechanical and technological parameters influencing on size mixture bounce are determined at forming of throwconcrete covering.

Постановка задачи.

Эффективное совершенствование набрызгбетонной технологии возможно на основе разработки соответствующей физической модели (детерминированной или статистической) и математического ее описания. Установленные закономерности позволяют спрогнозировать основные параметры бетона и технологического процесса, а также оперативное их корректирование в непрерывно меняющихся горнотехнических условиях.

Сущность технологии набрызга заключается в удержании на поверхности породного контура (крепи) частиц заполнителя, летящих с определенной скоростью. Этот процесс удержания осуществляется за счет того, что каждая частица при движении к твердой преграде проходит слой раствора, вязкость которого уменьшает ее скорость и, кроме того, после удара частицы о твердую преграду нейтрализует ударную силу отскока.

Поведение материальной частицы, имеющей случайную массу и ударяющейся с определенной скоростью о твердую поверхность при движении ее в слое раствора, условий удержания ее в этом слое – представляют предмет аналитических и экспериментальных исследований процесса нанесения набрызгбетонных покрытий.

Теоретические исследования.

В основе явления отскока лежит упругий удар частицы о поверхность породного обнажения (крепи). Движение частицы в вязком растворе и удерживающие силы вязкости препятствуют реализации отскока. С достаточной для практических целей точностью будем считать, что частица заполнителя является шаром с радиусом r и массой m, а неподвижную преграду – гладкой поверхностью. Отклонение формы зерна заполнителя от идеального шара и неровности рабочей поверхности имеют случайный характер, и эти факторы могут быть учтены на основе методов теории вероятностей.

Согласно теории удара изменение количества движения материальной точки при ударе равно сумме действующих на точку ударных импульсов:

$$m(\bar{V}_2 - \bar{V}_1) = \sum_1^k \bar{I}_k ,$$

где $\bar{V}_1$, $\bar{V}_2$ – векторы скоростей точки соответственно в начале и конце удара, I_k – вектор ударного импульса.

Импульсы ударных сил в теории удара являются мерой взаимодействия тел, сами же ударные силы определяются в виде средних значений F_{cp} за время действия удара τ. Таким образом, импульс ударной силы равен

$$\bar{I} = \int_0^{F_{cp}} F dt = F_{cp} \cdot t \ .$$

Импульсы неударных сил за время удара являются величинами очень малыми и ими можно пренебречь. Такими силами в нашем случае являются: сила тяжести, сила трения при косом ударе.

При ударе о неподвижную преграду, под произвольным углом α (образованным относительно нормали, проведенной к поверхности в точке удара), на тело (шар) действует ударная сила в виде реакции преграды. Она при центральном ударе всегда направлена по нормали от поверхности.

В ударе тела о преграду различают две стадии. На первой стадии после соприкосновения тела с преградой его скорость падает от начальной V_1 до нуля, тело при этом деформируется и вся его кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию деформирования. На второй стадии тело под действием внутренних упругих сил восстанавливает свою форму и потенциальная энергия вновь переходит в кинетическую. Так как часть энергии уходит на остаточные деформации тела, скорость его в конце удара V_2 меньше скорости в начале удара V_1. Уровень потери энергии при прямом ударе (α=0) определяется коэффициентом восстановления, который равен

$$K = \frac{V_2}{V_1}.$$

В общем случае при косом ударе вектор движения тела направлен под углом α к нормали, в точке соприкосновения с преградой (рис. 1).

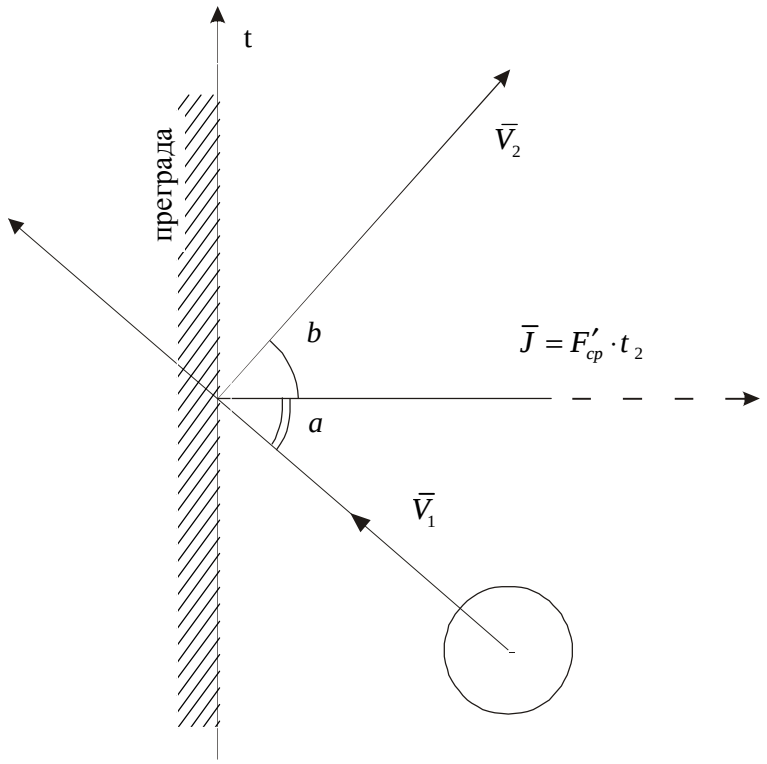


Рис. 1. Схема косого удара частицы заполнителя о преграду

После удара вектор скорости направлен под углом β к нормали.

Из теории удара следует основное равенство:

$$mV_1 \cos\alpha(1+K) = F_{cp} \cdot \tau \quad . \tag{1}$$

Оно описывает процесс удара, который может быть разделен на две стадии. В соответствии с этим и ударный импульс также разделим на две составляющие: первая $F^1_{cp} \cdot \tau_1$, соответствует первой стадии удара, вторая $F^2_{cp} \cdot \tau_2$ - второй. Тогда выражение (1) примет вид:

$$mV_1 \cos\alpha + KmV_1 \cos\alpha = F^1_{cp} \cdot \tau_1 + F^2_{cp} \cdot \tau_2 . \tag{2}$$

Для изучения отскока интерес представляет второй импульс, который в соответствии с (2) равен:

$$KmV_1 \cos\alpha = F^2_{cp} \cdot \tau_2 . \tag{3}$$

Это основное равенство для исследования отскока. Из него следует, что в результате удара тела о твердую поверхность возникает сила отскока F^2_{cp}, направленная по нормали от поверхности, определяемая выражением:

$$F^2_{cp} = \frac{KmV_1 \cos\alpha}{\tau_2} . \tag{4}$$

Чтобы препятствовать отскоку, необходимо нейтрализовать эту силу. Для этого используется цементный раствор.

Прежде чем достичь поверхности твердой преграды, тело, двигаясь в вязком растворе толщиной *h*, уменьшает скорость V_1, нормальная составляющая которой равна $V_n = V_1 \cos\alpha$. После удара сила вязкости раствора удерживает тело. Обозначим эту силу через F_B. Схема сил после удара показана на рис. 2.

После того, как удар произошел, наличие отскока зависит также от силы собственного веса тела и выталкивающей (архимедовой) силы, составляющие которых, направленные по нормали, способствуют отскоку в зависимости от ориентирования поверхности в точке удара относительно силы тяжести (угол φ). Эти силы всегда противоположно направлены и для произвольно ориентированной поверхности они равны:

$$P_n = mg\cos\varphi, \qquad F_{ОП} = g\gamma_p \nu \cos\varphi. \tag{5}$$

Следовательно, условие отсутствия отскока имеет вид:

$$F_{ср}^2 + mg\cos\varphi - g\gamma_p \nu \cos\varphi - F_B \le 0, \tag{6}$$

где $\gamma_р$ – плотность раствора, ν – средний объем зерна заполнителя.

Удерживающая сила вязкости равна:

$$F_B = 4\pi r^2 f_B, \tag{7}$$

где f_B - удельная сила вязкости. С учетом (4) и (7), принимая во внимание, что $m = \gamma\nu$, $\nu = 1{,}33\pi r^3$, общее условие (6) примет вид:

$$\frac{r\left[K\gamma V_1 \cos\alpha + \tau_2 g \cos\varphi(\gamma - \gamma_p)\right]}{3 f_B \tau_2} - 1 \le 0, \tag{8}$$

где γ – плотность зерна заполнителя.

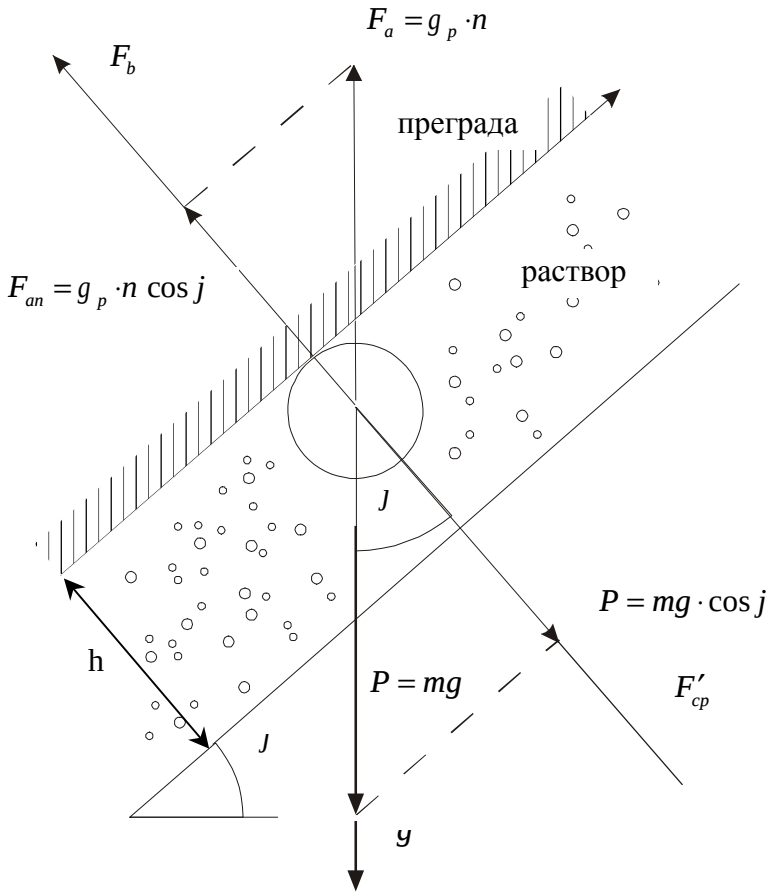


Рис. 2. Схема сил, действующих на частицу заполнителя после удара о преграду в цементном растворе.

Это условие включает различные частные случаи в зависимости от величины угла φ:

При φ=90º – вертикальная плоскость – стенка выработки,

При φ=0 – горизонтальная плоскость – кровля выработки,

При φ=180º – почва выработки.

Для использования условия (8) необходимо установить нормальную составляющую скорости V_n движения частицы заполнителя в растворе толщиной *h*, а также время τ_2, за которое реализуется вторая стадия удара о преграду и удельную силу вязкости f_B.

Для использования условия необходимо установить нормальную составляющую скорости V_n движения частицы заполнителя в растворе толщиной *h*, а также время τ_2, за которое реализуется вторая стадия удара о преграду, и удельную силу вязкости f_B.

Дифференциальное уравнение движения тела в вязкой среде для рассматриваемого случая имеет вид:

$$mV\frac{dV}{dx} = -mg\cos\varphi + g\gamma_p v\cos\varphi - C_X\gamma_p SV_1^2,$$

где последнее слагаемое – сила сопротивления движению тела в вязкой среде, в котором C_X – безразмерный коэффициент сопротивления, равный для шара 0,5.

Из решения дифференциального уравнения получим формулу нормальной составляющей скорости тела перед ударом о преграду:

$$V_n = \left[a^2 + (V_1^2 \cos^2 \alpha - a^2) \exp\left(- \frac{3C_X \gamma_p h}{2\gamma r} \right) \right]^2,$$

где $a^2 = \frac{4rg}{3C_X} \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_p} \right) \cos\varphi.$

С учетом полученных выше выражений условие отскока запишется в следующем виде:

$$\frac{r}{3f_B \tau_2} \left[K\gamma \sqrt{a^2 + (V_1^2 \cos^2 \alpha - a^2) \exp\left(- \frac{3C_X \gamma_p h}{2\gamma r} \right)} + (\gamma - \gamma_p) \tau_2 g \cos\varphi \right] - 1 \le 0 \quad (9)$$

Из формулы (9) следует, что условие отсутствия отскока зависит от многих величин.

Анализ выражения и физического процесса, возникающего при нанесении набрызгбетонного покрытия, позволяет разделить эти величины по характеру их влияния. Часть величин обладает определенными значениями: объемная масса заполнителя и раствора γ, γ_p, коэффициент сопротивления C_x и угол наклона бетонируемой поверхности φ.

Другая часть это параметры, которые должны быть определены экспериментально: коэффициент восстановления K, время удара τ_2, и удельная сила вязкости $f_в$. Угол α устанавливается в ходе выполнения набрызгбетонных работ либо вручную с помощью манипулятора, либо автоматизированно. Скорость частиц заполнителя определяется давлением, создаваемым в камере машины. Размер заполнителя r и толщина слоя раствора h имеют постоянный характер.

Управляемыми параметрами, влияющими на величину отскока, являются гранулометрический состав заполнителя r и его объемная масса γ, скорость движения частицы заполнителя V_n, зависящая от величины угла α и давления воздуха в рабочей камере машины.

Условие (9) позволяет рассчитать возможные значения входящих в него величин и в определенном приближении определить параметры процесса, обеспечивающие минимальный процент отскока.

Однако данный процесс носит динамический характер со статистическим распределением отдельных параметров, определяющих отскок. Условие (9) может использоваться в качестве теоретической базы, на основе которой могут конструироваться автоматизированные системы нанесения набрыгбетона.

Выводы.

Анализ выражения и физического процесса, возникающего при нанесении набрызгбетонного покрытия, характеризуется условием, на основании которого можно

определить факторы, влияющие на отскок при набрызгбетонировании. При проведении работ по нанесению набрызгбетонного покрытия экспериментальным путем определяются основные фиксированные параметры. Управление технологией нанесения набрызга будет осуществляться варьированием изменяемых физико-механических и технологических параметров на стадии приготовления смеси (гранулометрический состав, объемная масса), а также в процессе нанесения покрытия (угол наклона, давления воздуха в рабочей камере машины).

Список литературы: 1. Заславский И.Ю., Быков А.В., Компанец В.Ф. Набрызгбетонная крепь. – М.: Недра, 1986. – 197с. **2.** Работнов Ю.М. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979. с.375-377.

К ОБОСНОВАНИЮ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТЯЖЕННОЙ ВЫРАБОТКИ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ

Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Солодянкин А.В. *(НГУ, г. Днепропетровск, Украина)*

For mining a procedure of optimum designing extended developments, the stochastic model of a stability of a development presented in view of a maintenance cost. The model guesses the long-lived maintenance of a development at multiple accomplishment of maintenance functions. In the capacity of optimization parameters values of a between-repairs operating period of a development and admissible extent of fracture of a development are observed.

Введение.

Повышение глубины разработки месторождений полезных ископаемых, увеличение площади поперечного сечения выработок и их протяженности, отработка пластов, находящихся в сложных горно-геологических условиях существенно ухудшили геомеханическую ситуацию при ведении горных работ, что отражается на состоянии протяженных выработок угольных шахт.

В настоящее время протяженность перекрепляемых выработок составляет около 50 % по отношению к пройденным, а отремонтированных – в 1,7 раза превышает протяженность пройденных выработок. При этом более 40% протяженных выработок ремонтируется еще до сдачи в эксплуатацию, 52% действующих выработок деформировано. Ухудшение состояния выработок из-за процесса пучения составляет 45% от общего объема деформированных выработок [1].

Расходы на ремонт и поддержание подготовительных выработок на угольных предприятиях Украины составляют около 15% суммарных затрат на добычу угля, при этом задействовано до 10-15% штата подземных рабочих [2].

Изучение состояния протяженных выработок шахт, анализ затрат на поддержание и ремонт, показывают, что наиболее трудоемкими являются мероприятия по борьбе с пучением пород почвы. К 1999 г. средний объем подрывки, приходящийся на шахту, составлял около 9-10 км в год [2], или, в целом по Украине – до 2500 км в год. Учитывая, что уровень механизации работ по подрывке составляет незначительную величину (6,3 %), а перекрепление выработок проводится вручную и представляет, к тому же, высокую степень опасности для рабочих, очевидно, что вопросам проектирования безремонтного поддержания выработок или минимизации их объемов должно уделяться повышенное внимание, особенно в сложных горно-геологических условиях.

1. Постановка задачи

Вопросы проектирования крепи с минимальными затратами на поддержание занимали важное место среди актуальных научно-технических задач и часто были предметом серьезных исследований и обсуждений [3-7 и др.]. Ряд аспектов при проектировании подземных сооружений поднимался К.А. Ардашевым [3]. В числе основных недостатков он указывает на низкую надежность и малый объем горно-геологических сведений о породном массиве; недостаточную разработанность новых прогрессивных способов проведения выработок, крепей и др. Наряду с этим, по его мнению, необходимо изменение самой организации проектных работ путем перехода к двухстадийному проектированию, включающему обязательное уточнение проектных решений при строительстве, что обеспечит надежное рабочее состояние выработок с минимальными затратами на их проведение и крепление в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах.

Вопрос правильной оценки стоимости строительства выработок неоднократно поднимался ведущими специалистами в области поддержания выработок К.В. Кошелевым, Ю.А. Петренко и др. [4, 5]. В частности, ошибочно, по их мнению считается проектирование и строительство выработок с учетом только начальных затрат, когда последующие затраты на поддержание ее в эксплуатационном состоянии обычно не учитываются. Правильно говорить о снижении затрат на последующее поддержание выработки в эксплуатационном состоянии в течение всего периода ее использования или о достижении их наименьших величин.

В работе [8] решена задача оптимального проектирования протяженных выработок с учетом затрат при сооружении выработки и ее последующем поддержании. Суть решения заключается в определении таких параметров крепления выработки для конкретных горно-геологических условий при которых соотношение затрат капитальных - на сооружение выработки и эксплуатационных – на последующий ее ремонт в запланированных объемах, является оптимальным.

В настоящее время, в связи с ростом глубин разработки месторождений, и существенном ухудшении геомеханических условий, часто возникает необходимость проведения многократных ремонтов для обеспечения устойчивости выработок главных направлений. Как указывается в [5], в условиях глубоких шахт Донбасса при столбовой системе разработки угольных пластов, кратность ремонта в подготовительных выработках составляет 3 и более, а в других не менее 2.

Примером такой вынужденной практики могут служить случаи, приведенные в [8]. Для обеспечения требуемой площади сечения выработки возникала необходимость периодической подрывки пучащих пород, ввиду чего изменение поперечного сечения выработки носили цикличный характер (рис. 1).

Таким образом, важной задачей является определение оптимальных затрат на

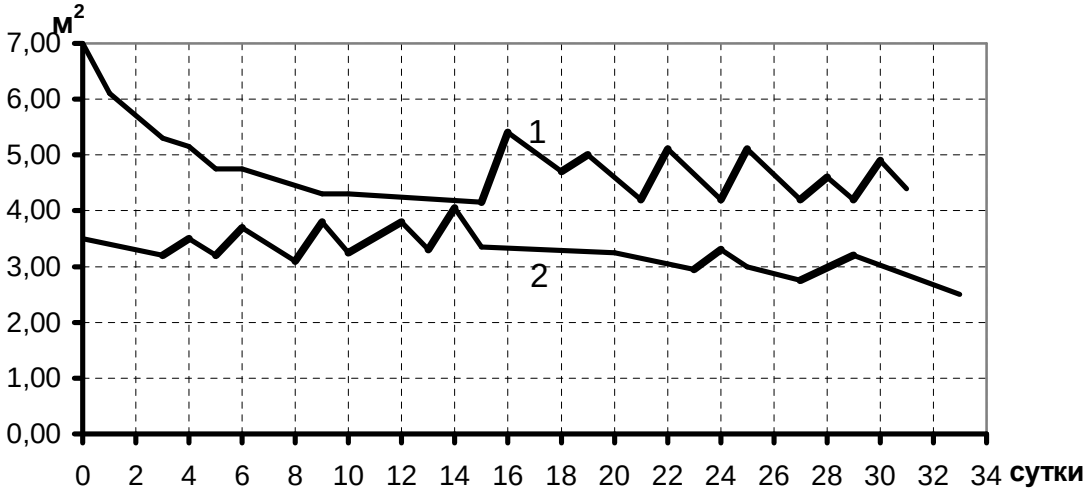


Рис. 1. Графики изменения поперечного сечения выработок при эксплуатации с подрывкой почвы [8]:
1 – 7-й северный штрек шахты им. Титова;
2 – 6-й южный штрек шахты им. Рухимовича

сооружение выработки, или группы выработок, (капитальные затраты) и последующее ее поддержание (эксплуатационные затраты) с учетом многократного выполнения ремонтных работ, чтобы общая стоимость выработки за весь период ее эксплуатации была минимальной.

2. Вероятностная модель устойчивости протяженной выработки с учетом эксплуатационных затрат

Обоснование вероятностной модели устойчивости протяженной выработки будем проводить с учетом следующих положений:

- затраты, связанные с содержанием подземных выработок, состоят, как отмечалось выше, из двух частей: капитальных и эксплуатационных, которые формируются в течение, соответственно, времени строительства и эксплуатации рассматриваемых объектов;
- состояние выработок на различных участках зависит от множества случайно воздействующих факторов из совокупности горно-геологических условий и параметров крепи;
- процесс поддержания выработок в рабочем состоянии носит ярко выраженный временной характер с объемами ремонтных работ, случайно распределенными по длине выработки.

Устойчивость выработки можно оценить показателем устойчивости $w = \overline{L_y} / L$, где $\overline{L_y}$ - длина устойчивых участков выработки, L – вся длина протяженной выработки. Величина ω изменяется в пределах от 0 до 1. Выработка обладает полной устойчивостью при $\omega = 1$ или полностью разрушена при $\omega = 0$.

Важным вопросом в создании оптимизационной модели является отслеживание динамики процесса разрушения-восстановления выработки в течение всего периода эксплуатации. Статистический материал при этом набирается на ряде сходных объектов эксплуатации с обязательным проведением замеров в равные моменты времени. Такой путь трудоемок, но дает достоверные результаты.

Снижение величины ω с течением времени может в реальных условиях происходить только до некоторой величины, когда параметры выработки удовлетворяют функциональному назначению выработки и требованиям правил безопасности. Затем следует выполнять восстановительный ремонт выработки. Если схематически изобразить зависимость $\omega(t)$ за достаточно большой (или весь) период T эксплуатации выработки, то это будет выглядеть примерно так, как показано на рис. 2.

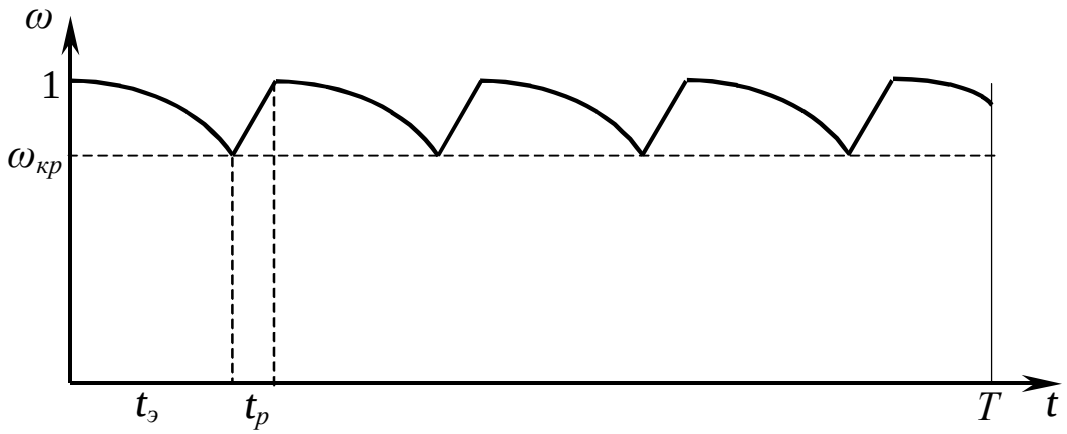


Рис. 2. Изменение показателя устойчивости ремонтируемой выработки в процессе эксплуатации

В течение начального периода времени эксплуатация ведется без ремонта. Выработка постепенно местами разрушается до какого-то критического значения параметра $\omega_{кр}$ Затем за относительно короткий промежуток времени ($t_р << t_э$) производится текущий ремонт и выработка восстанавливается до исходного состояния. В дальнейшем процесс периодически повторяется. График имеет пилообразный и достаточно регулярный вид (см. рис. 2) и близок по форме к реальным технологическим процессам при циклическом проведении ремонтных работ (см. рис. 1).

Рассмотрим отдельно один цикл (рис. 3).

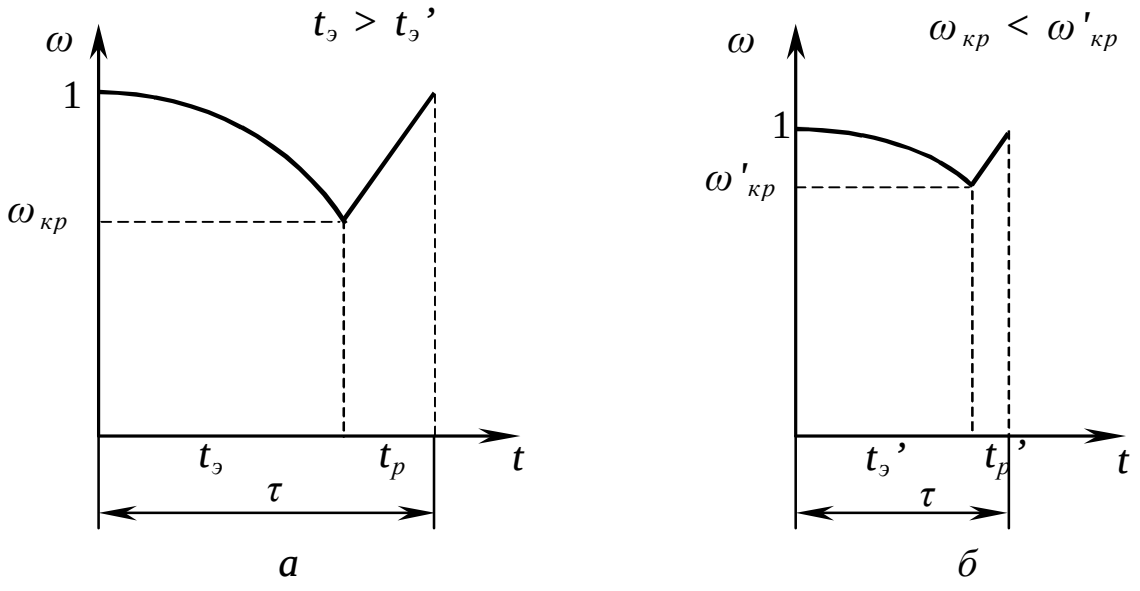


Рис. 3. Варианты выполнения циклов ремонтных работ

Процесс снижения параметра $\omega_{кр}$ в течение промежутка времени объективен и неуправляем. Зависимость $\omega(t)$ в усредненном виде может быть получена как по данным статистического анализа данных, так и на основе регрессионного анализа. В каком-то смысле можно повлиять на продолжительность ремонтного периода t за счет интенсификации восстановительных работ, но так как $t_р << t_э$. то существенного влияния на процесс в целом таким образом не добиться. Можно поступить иначе: сократить время безремонтной эксплуатации, т.е. взять $t'_э < t_э$. (сравним рис. 3, *а* и 3, *б)*.

За время $t'_э$, разрушения выработки будут меньше, чем за время $t_э$. Соответствующим неравенством связаны и значения параметра $\omega_{кр}$ ($\omega'_{кр} > \omega_{кр}$). Объем ремонтных работ во втором случае будет меньше а, значит, меньше и материальные затраты.

Увеличением $\omega'_{кр}$ можно добиться снижения стоимости разового ремонта, но при этом сокращается продолжительность t' одного цикла. Поэтому за весь период эксплуатации T количество циклов увеличивается, а значит, растет количество ремонтов. Возникает задача оптимизации, которая может быть сформулирована следующим образом: подобрать оптимальные значения параметров $\omega_{кр}$ и τ, при которых затраты на восстановительный ремонт будут минимальны.

Так как стоимость ремонта зависит от степени разрушения, то минимизироваться должна некоторая функция цели

$$\Phi(w) = \Phi[w(t)]. \tag{1}$$

Для получения замкнутого решения задачи потребуется аналитическое представление изображенной на рис. 2 функции $w(t)$.

Так как эта функция имеет периодический характер, то ее удобно аппроксимировать рядом Фурье:

$$w(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty}\left(a_k \cos k\frac{p}{t}t + b_k \sin k\frac{p}{t}t\right). \tag{2}$$

Здесь τ - период функции, связанный с общим временем эксплуатации так:

$$\tau = T/n, \tag{3}$$

где n - число ремонтов.

Анализ графика функции $w(t)$ (кусочная монотонность, наличие конечного числа особых точек) подтверждает выполнимость условий Дирихле.

Полагаем, что в результате статистического анализа определена аналитическая зависимость $w(t)$. Коэффициенты ряда Фурье определяются так:

$$a_0 = \frac{1}{t}\int_{-t}^{t} w(t)dt;$$

$$a_k = \frac{1}{t}\int_{-t}^{t} w(t)\cos\frac{kp}{t}tdt; \tag{4}$$

$$b_k = \frac{1}{t}\int_{-t}^{t} w(t)\sin\frac{kp}{t}tdt\,.$$

Обычно ряды Фурье для сравнительно гладких функций достаточно быстро сходятся. Поэтому в выражении (2) можно ограничиться относительно небольшим количеством членов ряда. Формула становится конечной, удобной для реализации задачи минимизации.

Используем в качестве примера параболическую аппроксимацию функции $w(t)$ на участке $t_э$. Участок $t_р$ полагаем равным нулю. Тогда $t_э = \tau$. График такой функции изображен на рис. 4.

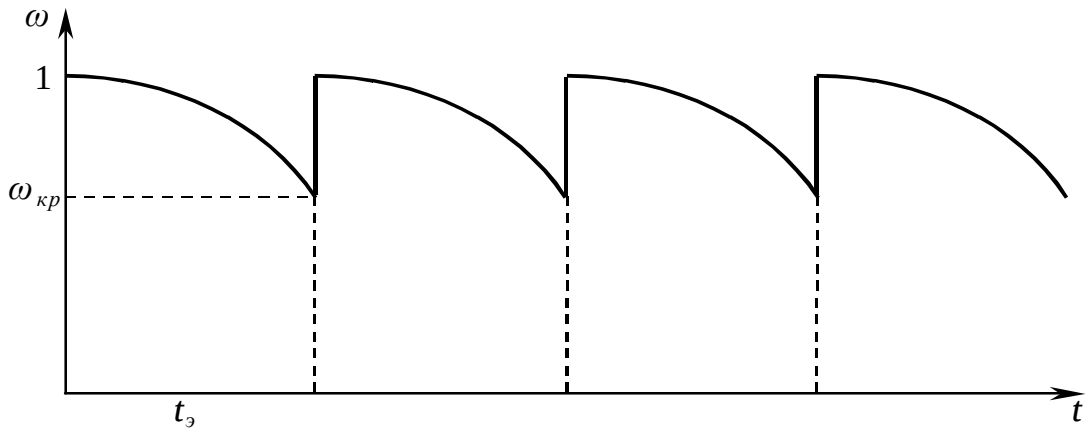


Рис. 4. Аппроксимация $w(t)$ параболической функцией при $t_р = 0$

Пусть

$$w(t) = 1 - Pt^2\,. \tag{5}$$

Параметр P определим из условия:

$$w(t) = 1 - Pt^2 = w_{кр}\,, \tag{6}$$

откуда следует, что

$$P = \frac{(1 - w_{кр})}{t^2}\,. \tag{7}$$

Определим коэффициенты ряда Фурье:

$$a_0 = \frac{1}{t}\int_{-t}^{t} w(t)dt = \frac{1}{t}\int_{-t}^{t}\left(1 - Pt^2\right)dt = 2\left(1 - P\frac{t^3}{3}\right); \tag{8}$$

$$a_k = \frac{1}{t}\int_{-t}^{t} w(t)\cos\frac{kp}{t}tdt = \frac{1}{t}\int_{-t}^{t}\left(1-Pt^2\right)\cos\frac{kp}{t}tdt = \frac{1}{t}\int_{-t}^{t}\cos\frac{kp}{t}tdt - \frac{P}{t}\int_{-t}^{t}t^2\cos\frac{kp}{t}tdt.$$

Первое слагаемое в последнем выражении:

$$\frac{1}{t}\int_{-t}^{t}\cos\frac{kp}{t}tdt = \frac{1}{t}\frac{t}{kp}\sin\frac{kp}{t}t\Big|_{-p}^{p} = 0.$$

Второе слагаемое с введением обозначения $m = \frac{kp}{t}$ интегрируем по частям дважды. Получим:

$$\int_{-t}^{t} t^2\cos mtdt = t^2\frac{\sin mt}{m}\Bigg|_{-t}^{t} + \frac{2}{m}\left[t\frac{\cos mt}{m} + \frac{\sin mt}{m^2}\right]\Bigg|_{-t}^{t} =$$

$$= 2t^2\frac{\sin mt}{m} + \frac{4}{m^2}t\cos mt + \frac{4}{m^3}\sin mt =$$

$$= \frac{2t^3}{kp}\sin kp + \frac{4t^3}{k^2p^2}\cos kp + \frac{4t^3}{k^3p^3}\sin kp = (-1)^k\frac{4t^3}{k^3p^2}.$$

Итак, окончательное выражение для a_k имеет вид:

$$a_k = (-1)^{k+1}\frac{4Pt^2}{k^2p^2}. \qquad (9)$$

Далее,

$$b_k = \frac{1}{t}\int_{-t}^{t}\left(1-Pt^2\right)\sin\frac{kp}{t}tdt = \frac{1}{t}\int_{-t}^{t}\sin\frac{kp}{t}dt - \frac{P}{t}\int_{-t}^{t}t^2\sin\frac{kp}{t}tdt. \qquad (10)$$

Первое слагаемое равно нулю. Второе слагаемое с введением обозначения $m = \frac{kp}{t}$ интегрируем по частям. Получим:

$$\int_{-t}^{t}t^2\sin mtdt = \frac{2}{m}\left[t\frac{\sin mt}{m}\Bigg|_{-t}^{t} + \frac{1}{m^2}\cos mt\Bigg|_{-t}^{t}\right] = 0. \qquad (11)$$

Таким образом, все выражение (10) обращается в нуль:

$$b_k = 0. \qquad (12)$$

Разложение Фурье приобретает вид:

$$w(t)=\left(1-P\frac{t^3}{3}\right)+\sum_{k=1}^{\infty}(-1)^{k+1}\frac{4Pt^2}{k^2p^2}\cos k\frac{p}{t}t\,. \qquad (13)$$

Если разложение (13) известно, то его можно проинтегрировать по всему промежутку времени эксплуатации выработки *T:*

$$w_{сум}=\int_0^T w(t)dt\,. \qquad (14)$$

Эта величина характеризует суммарную степень разрушения выработки за все время эксплуатации Очевидно, что существует некоторая функциональная зависимость стоимости ремонтных работ Ф от параметра $\omega_{\text{сум}}$:

$$\Phi\left(w_{сум}\right). \qquad (15)$$

Согласно изложенной расчетной схеме параметр $\omega_{\text{сум}}$ в свою очередь зависит от двух введенных ранее критериальных параметров $\omega_{\text{кр}}$ и τ. Таким образом, соотношение (15) приобретает вид

$$\Phi\left(w_{сум}\right)=\overline{\Phi}\left(w_{кр},t\right). \qquad (16)$$

Минимизация функции $\Phi\left(w_{кр},t\right)$ позволяет установить оптимальные значения межремонтного периода эксплуатации τ и допустимой степени разрушения выработки $\omega_{\text{кр}}$.

Предложенная методика допускает различные обобщения. В частности, можно учесть то обстоятельство, что при проведении ремонтных работ происходит не полное восстановление выработки, а лишь до определенной требуемой величины (например, 80-90 %). В этом случае зависимость $w(t)$ будет выглядеть так, как показано на рис. 5.

Отличие такой расчетной схемы от изложенной выше заключается в игнорировании периода времени до t_0, когда будет достигнуто снижение параметра ω до приемлемой величины ω^*.

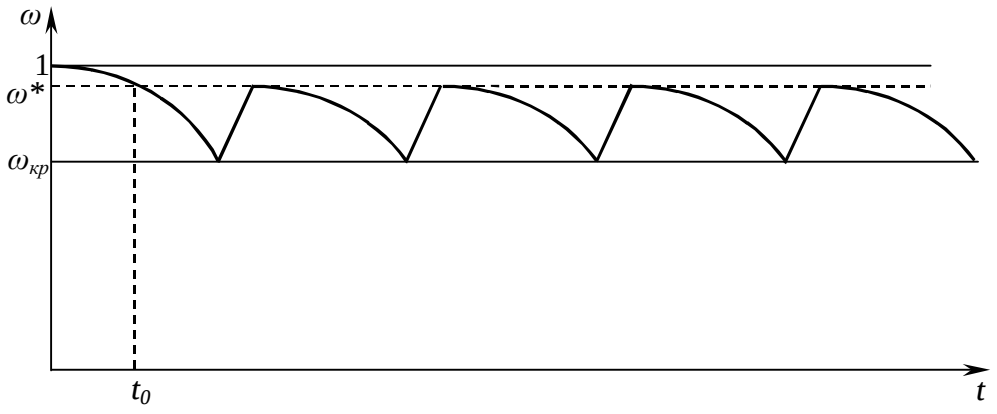


Рис. 5. Динамика изменения показателя устойчивости ремонтируемой выработки при неполном восстановлении (до $\omega = \omega^*$)

Моделирование процесса начинается с этого момента с учетом его периодичности. В математическом отношении сказанному отвечает параллельный перенос системы координат с размещением начала в точке t_0.

Вывод

Решение задачи определения оптимального значения межремонтного периода эксплуатации и допустимой степени разрушения выработки является основой для разработки методики оптимального проектирования подземных выработок с учетом затрат на их поддержание.

Список литературы: 1. Кошелев К.В., Игнатович Н.В., Полтавец В.И. Поддержание сопряжений горных выработок. – К.: Техника, 1991. – 176 с. **2.** Мизин В.А., Сытник А.В., Нагорный А.В. Творческое сотрудничество института, завода и шахты – залог успеха // Уголь Украины. – № 8. – 2003. – С. 43-44. **3.** Ардашев К.А. Анализ применения нормативных документов по проектированию крепей капитальных выработок // Шахтное строительство. – 1987. - № 3. – С. 9-12. **4.** Кошелев К.В., Томасов А.Г. Поддержание, ремонт и восстановление горных выработок. М.: Недра, 1985. – 215 с. **5.** Кошелев К.В., Петренко Ю.А., Новиков А.О. Охрана и ремонт горных выработок. М.: Недра. – 1990. – 218 с. **6.** Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве. – Дисс. … д-ра техн. наук: 05.15.04, 05.15.11. – Днепропетровск, 1988. – 507 с. **7.** Друцко В.П., Шаповал Ю.С., Гнездилов В.Г. Технология проведения горных выработок с поэтапным возведением крепи // Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. – Харьков: РИП «Оригинал», 2000. – С. 25-30. **8.** Гурдус А.В. Изучение причин вспучивания горных пород каменноугольной формации Донбасса и меры борьбы с этим явлением. - Харьков: Государственное научно-техническое издательство, 1933. - 85 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ОБЪЕМНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Шашенко А.Н., Старотиторов И.Ю. ***(НГУ, г. Днепропетровск, Украина)***

The technique is worked out and on its base strength tests of rocks in the volumetric stressed state in conditions of all-round compression are carried out at computer (numerical) models. The analysis of the received results is executed and directions of the further researches are defined.

Общие положения. Необходимые для геомеханических расчетов прочностные характеристики горных пород определяются на основе анализа процесса их разрушения. В этой связи явление разрушения твердых тел неразрывно связано с проблемой их прочности. Для оценки прочности твердых тел в сложном напряженном состоянии разрабатывают так называемые теории прочности: функциональные зависимости, связывающие в одном уравнении критические компоненты напряжений и пределы прочности материала на растяжение, сжатие, сдвиг. На сегодняшний день известно довольно большое количество теорий прочности [1, 2, 3]. Все они не универсальны: хорошо описывая процесс разрушения одних твердых тел, они непригодны для других, отличающихся структурой.

Таким образом, в настоящее время единой теории прочности твердых тел нет, хотя предпосылки для этого имеются.

В механике горных пород наибольшее распространение получила теория прочности Мора [1, 2]. Она полностью базируется на экспериментальных данных, получаемых при испытаниях образцов горных пород в объемном напряженном состоянии, которое создается, как правило, в приборе Кармана.

Анализ вопроса. Стандартные исследования процесса разрушения горных пород проводятся путем испытаний по определенным методикам породных образцов (блоков), т. е. по сути, физических моделей, имитирующих реальный породный массив. При этом затрачиваются значительные усилия для ликвидации несовершенств самого процесса физического моделирования, таких как торцевые условия, качество обработки поверхностей, особенностей испытательных машин, погрешностей измерительных приборов и т. п. Все вышеуказанные недостатки физического моделирования приводят к тому, что экспериментальные данные, полученные путем лабораторных испытаний породных образцов, являются в известной степени величинами случайными. Для получения же более точных результатов необходимо выполнить большое количество лабораторных опытов, проведение которых очень трудоемко и требует больших материальных затрат.

Благодаря развитию и доступности вычислительной техники в настоящее время наметилась тенденция использовать при проведении геомеханических исследований компьютерное моделирование процессов вместо натурных и лабораторных испытаний. Компьютерное моделирование процесса разрушения породных образцов в объемном напряженном состоянии в отличие от физического моделирования лишено отмеченных выше недостатков. Оно позволяет ограничиться определенной теорией прочности и результатами обычных испытаний образцов горных пород на одноосное сжатие (растяжение, сдвиг). При этом можно учесть естественную вариацию этих параметров, задавая в компьютерной стохастической модели параметры того или иного закона распределения.

Подавляющее большинство программных комплексов, пригодных для решения подобных геомеханических задач, построено в настоящее время, как правило, на базе одного из численных методов – методе конечных элементов [4].

Постановка задачи. Целью данной работы является:

1. Разработка методики компьютерного моделирования процесса разрушения горных пород.

2. Описание хода проведения эксперимента по изучению процесса разрушения горных пород в объемном напряженном состоянии на компьютерных моделях.

3. Сравнительный анализ полученных результатов исследований с опубликованными аналитическими и экспериментальными данными для установления пригодности применения компьютерного моделирования при оценке прочности горных пород.

Решение задачи. В процессе исследований на компьютерной модели имитировались испытания в условиях трехосного сжатия. Как известно, прочность пород в условиях объемного сжатия существенно зависит от соотношения между главными напряжениями: s_1, s_2 и s_3. Согласно предпосылке Мора, промежуточное по величине напряжение s_2 оказывает незначительное влияние на разрушение горных пород, поэтому их прочность определяется, прежде всего, разностью наибольшего и наименьшего напряжений s_1-s_3 [1]. В связи с этим моделирование процесса объемного разрушения горных пород производилось при следующем соотношении компонентов главных напряжений $s_1 > s_2 = s_3$. Такие условия нагружения создаются в приборе Кармана.

Для изучения процесса разрушения горных пород в объемном напряженном состоянии была разработана объемная конечно-элементная модель породного образца (рис. 1), который полагался изотропным, линейно-упругим и на первом этапе исследований – однородным. Размеры породного образца 50х50х100 мм.

В качестве исходных данных для проведения эксперимента задаются упругие постоянные – модуль Юнга и коэффициент Пуассона, объемный вес пород и предел прочности пород на одноосное сжатие. Численные значения всех перечисленных физико-механических параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные для задачи.

Физико-механический параметр	Значение
Модуль упругости, МПа	$2{,}4 \cdot 10^4$
Коэффициент Пуассона	0,23
Объемный вес, Мкг/м^3	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$
Предел прочности на сжатие, МПа	36

Граничные условия имеют следующий вид (см. рис. 1):

- сжимающая распределенная нагрузка, действующая на верхней $q_в$ и боковых гранях модели $q_б$;

- на нижней грани модели вертикальные перемещения равны нулю, т. е. перемещения в направлении оси OY равны нулю;

- на нижней и верхней гранях равны нулю оба горизонтальных перемещения, то есть перемещения в направлении осей OX и OZ равны нулю.

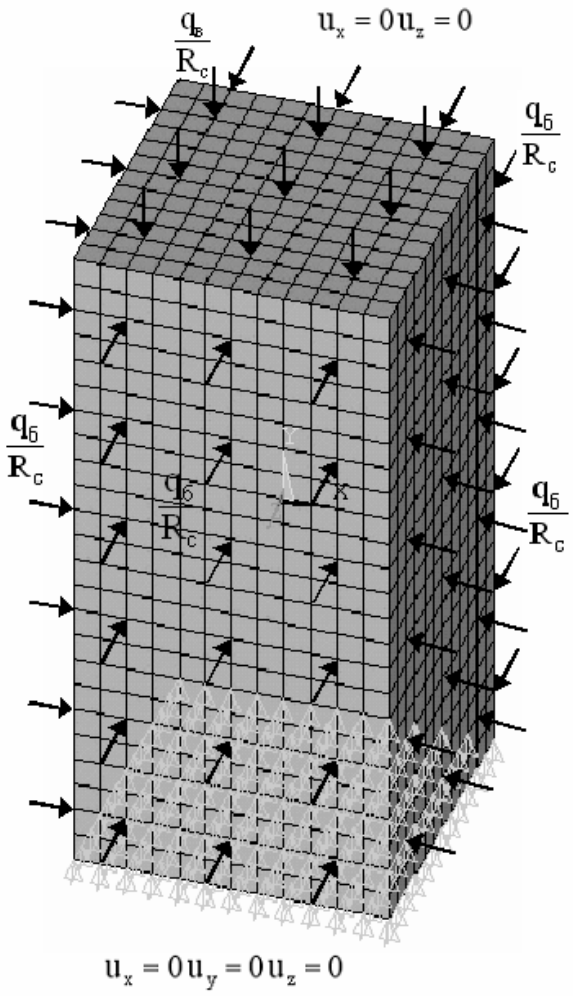


Рис. 1. Конечно-элементная модель породного образца

При моделировании процесса разрушения горной породы распределенная нагрузка задавалась в долях от предполагаемого предела прочности материала блока на одноосное сжатие, то есть на верхнюю грань модели действовала определенная безразмерная нагрузка $\frac{q_в}{R_c}$, а на боковые грани – $\frac{q_б}{R_c}$. На каждом этапе нагружения выполнялась оценка напряженно-деформированного состояния блока в соответствии с принятой теорией прочности и определялся уровень разрушающей нагрузки, вызывающей переход материала блока в стадию неупругого деформирования.

Полагалось, что блок породного массива переходит в разрыхленное состояние, т. е. разрушается, в том случае, когда для материала внутри него выполняется условие:

$$s_e \geq R_c, \qquad (1)$$

где s_e – эквивалентные напряжения, действующие в точке массива; R_c – предел прочности пород на одноосное сжатие.

Так как нагрузка задавалась в долях от предполагаемого предела прочности пород на одноосное сжатие, то выражение (1) примет следующий вид:

$$\frac{s_e}{R_c} \geq 1. \qquad (2)$$

Это неравенство означает, что породный блок перейдет в разрыхленное состояния лишь в случае, когда во всех элементах конечно-элементной сетки выполнится условие (2).

Для вычисления эквивалентного напряжения в данной работе использовался критерий прочности Л.Я. Парчевского – А.Н. Шашенко [1]:

$$s_e = \frac{(1-y)(s_1+s_3)+\sqrt{(1-y)^2(s_1+s_3)^2+4y(s_1-s_3)^2}}{2y} \leq R_c, \qquad (3)$$

где $y = \frac{R_p}{R_c}$ – коэффициент хрупкости горных пород; R_p – предел прочности на растяжение; s_1 и s_3 – главные значения компонентов тензора напряжений.

Методика исследований. Испытания проводились следующим образом.

1. К боковым граням модели прикладывается некоторая, заранее определенная, сжимающая нагрузка $\frac{q_б}{R_c}$, которая требуется для создания одного из двух главных напряжений s_2 либо s_3, причем $s_2 \geq s_3$.

2. К верхней грани модели прикладывается сжимающая нагрузка $\frac{q_в}{R_c} \geq \frac{q_б}{R_c}$, предельная величина которой в ходе эксперимента подбирается в соответствии со значением задаваемой боковой нагрузки.

3. При каждом значении нагрузки $\frac{q_в}{R_c}$ вычисляются эквивалентные напряжения по формуле (3) во всех элементах конечно-элементной сетки. В связи с тем, что все нагрузки заданы в долях от предполагаемого предела прочности пород на сжатие, то и вычисленные по данной формуле эквивалентные напряжения в результате также получатся в долях от предполагаемого предела прочности пород на сжатие.

4. Эксперимент продолжается до тех пор, пока в каждом из элементов не выполнится условие (2), то есть до полного разрушения породного блока. Причем условие (2) должно выполниться таким образом, чтобы значения эквивалентных напряжений были равными или близкими по величине к единице.

5. Значения максимального и минимального главных напряжений, при которых выполняется условие, описанное в предыдущем пункте, заносятся в таблицу (см. табл. 2).

6. Далее испытывается следующая модель, то есть эксперимент начинается сначала, но при другом значении величины нагрузки $\frac{q_б}{R_c}$.

7. Испытав достаточное количество моделей (обычно не менее 10), по найденным значениям максимальных и минимальных главных напряжений строят предельные круги напряжений (круги Мора) и огибающую к ним.

Анализ полученных результатов. По описанной выше методике были испытаны девять численных моделей породных блоков. Безразмерная нагрузка, действующая на боковые грани модели $\frac{q_б}{R_c}$, последовательно принимала следующие значения: 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8.

Значения эквивалентных напряжений, полученные при выполнении каждого опыта, удовлетворяли условию (2). В процессе эксперимента отклонений от этого условия не наблюдалось.

В результате проведенных испытаний был получен определенный ряд значений максимальных и минимальных главных напряжений (табл. 2) по которым были построены предельные круги Мора и огибающая к ним (рис. 2) для хрупких горных пород с коэффициентом Ψ = 0,1.

Таблица 2. Результаты испытаний породного образца (при Ψ = 0,1).

№ испытания	$\frac{q_б}{R_c}$	$\frac{q_в}{R_c}$	$\frac{s_3}{R_c}$	$\frac{s_1}{R_c}$
1	0	1	0	1
2	0,1	1,25	0,1	1,25
3	0,2	1,47	0,2	1,47
4	0,3	1,67	0,3	1,67
5	0,4	1,87	0,4	1,87
6	0,5	2,05	0,5	2,05
7	0,6	2,23	0,6	2,23
8	0,7	2,4	0,7	2,4
9	0,8	2,58	0,8	2,58

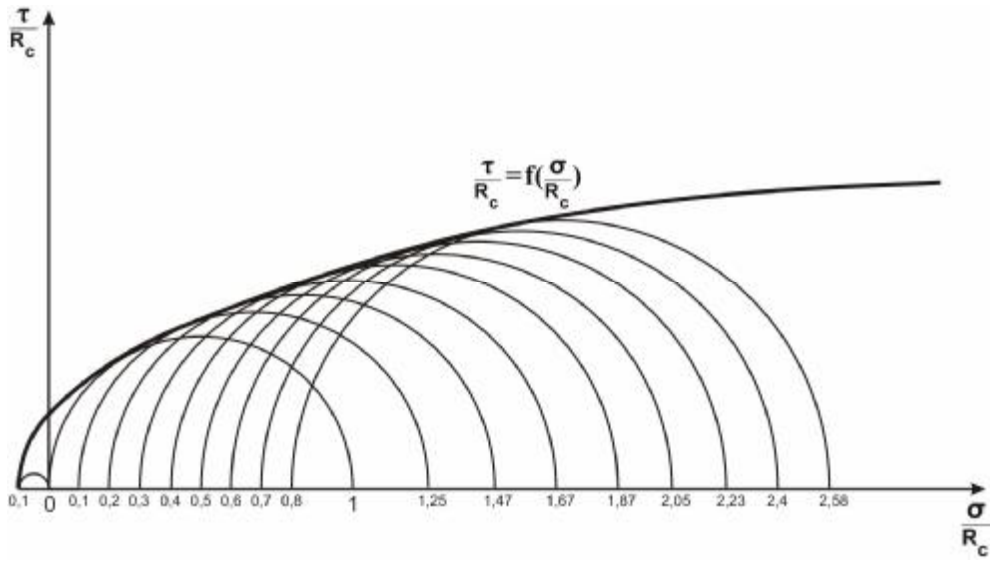


Рис. 2. Графическая интерпретация исследуемого объемного напряженного состояния.

По изложенной выше методике был выполнен ряд дополнительных испытаний породного блока с целью проведения сравнительного анализа полученных результатов исследований с аналитическими и экспериментальными данными. В качестве послед-

них использованы результаты испытаний горных пород, полученные А. Н. Ставрогиным [1] (рис. 3). Условие прочности (3) для крайних случаев имеет следующие выражения:

- при $\Psi = 0 - \frac{(s_1 - s_3)^2}{(s_1 + s_3)} \le R_c$;
- при $\Psi = 1 - (s_1 - s_3) \le R_c$.

Сопоставление значений максимальных и минимальных главных напряжений (табл. 3) с результатами аналитических и лабораторных испытаний были отображены на графике, представленном на рис. 3. Черные квадраты – результат компьютерного моделирования.

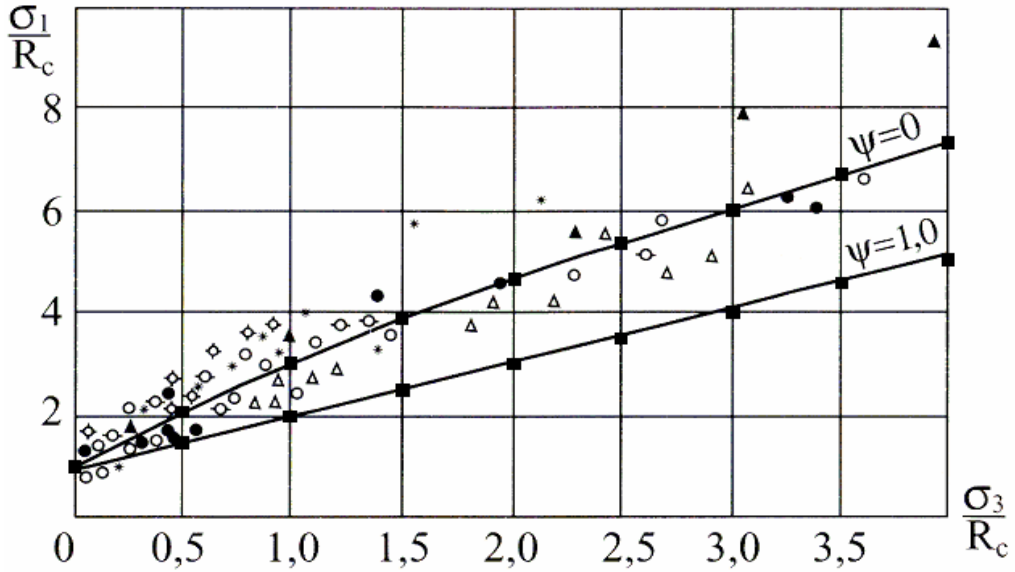


Рис. 3. Сравнение полученных результатов компьютерного моделирования ( ) с аналитическими (3) и экспериментальными [1] данными.

Таблица 3. Результаты испытаний породного образца (при Ψ = 0 и Ψ = 1).

№ испытания	При Ψ = 0		При Ψ = 1	
	$\frac{s_3}{R_c}$	$\frac{s_1}{R_c}$	$\frac{s_3}{R_c}$	$\frac{s_1}{R_c}$
1	0	1	0	1
2	0,5	2,12	0,5	1,5
3	1,0	3	1	2
4	1,5	3,81	1,5	2,5
5	2,0	4,57	2,0	3
6	2,5	5,3	2,5	3,5
7	3,0	6	3,0	4
8	3,5	6,7	3,5	4,5
9	4	7,38	4	5

Как следует из рисунка, результаты компьютерного моделирования процесса разрушения горных пород в объемном напряженном состоянии достаточно хорошо совпадают с результатами аналитических и экспериментальных исследований.

Следующий цикл виртуального нагружения и разрушения породных образцов в форме параллелепипеда был предпринят с целью проверки правильности предпосылки О. Мора об отсутствии влияния на прочность горных пород (или иных твердых тел) промежуточного напряжения s_2. При этом если в описанном выше эксперименте полагалось, что $s_1 > s_2 = s_3$, то в последующих восьми соблюдалось условие $s_1 > s_2 > s_3$, где величина s_2 изменялась с шагом 0,1. Величина s_3 в этом эксперименте фиксирована.

Следующий цикл виртуального нагружения и разрушения породных образцов в форме параллелепипеда был предпринят с целью проверки правильности предпосылки О. Мора об отсутствии влияния на прочность горных пород (или иных твердых тел) промежуточного напряжения s_2. При этом если в описанном выше эксперименте полагалось, что $s_1 > s_2 = s_3$, то в последующих восьми соблюдалось условие $s_1 > s_2 > s_3$, где величина s_2 изменялась с шагом 0,1. Величина s_3 в этом эксперименте фиксирована.

Результаты виртуального моделирования представлены на рис. 4.

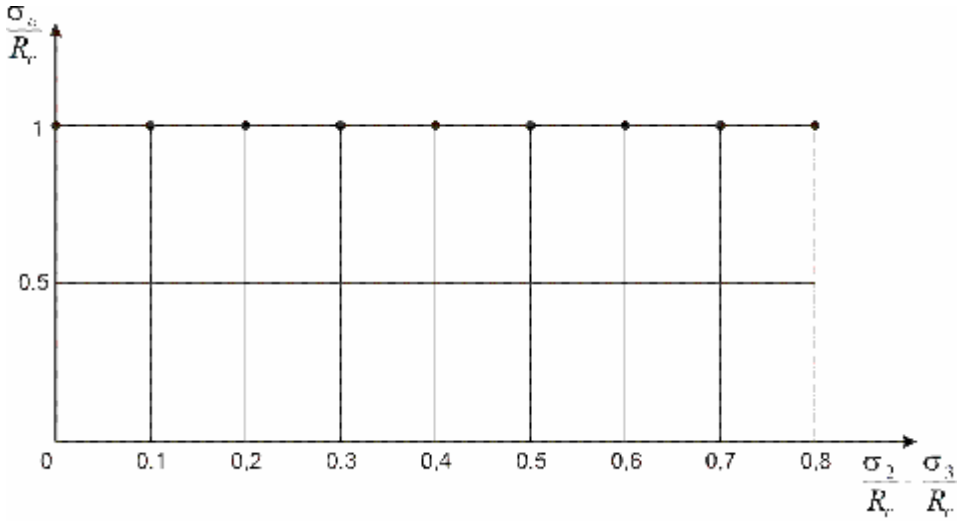


Рис. 4. Результаты виртуального моделирования.

Из рисунка 4 следует, что предпосылка О. Мора верна и её использование существенно упрощает аналитические исследования в области разрушения горных пород.

Таким образом, исследуемая компьютерная модель адекватно отражает явление разрушения горных пород в объемном напряженном состоянии, а сам метод вполне может быть использован при решении геомеханических задач.

Дальнейшие исследования. В дальнейших исследованиях планируется проведение аналогичных экспериментов для объемных численных моделей неоднородного и трещиноватого породного массива.

Выводы.

1. Разработана методика компьютерного моделирования процесса разрушения горных пород в объемном напряженном состоянии, пригодность которой подтверждается полученными результатами исследований.

2. По результатам сравнительного анализа полученных результатов исследований с опубликованными аналитическими и экспериментальными данными можно сделать вывод о том, что правильно построенная компьютерная модель адекватно отражает прочностные характеристики горных пород.

3. Результаты, полученные в процессе проведения опытов на численной модели породного образца, подтвердили возможность практического использования теории прочности О. Мора.

4. Проведенные в настоящей работе исследования процесса разрушения горных пород в объемном напряженном состоянии позволяют утверждать о том, что на данный момент компьютерное моделирование является самым удобным, эффективным и как следствие перспективным средством при решении геомеханических задач.

Список литературы: 1. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: Учебник для вузов. – К.: Новий друк, 2003. – 400 с. **2.** Шашенко А.Н., Майхерчик Т., Сдвижкова Е.А. Геомеханические процессы в породных массивах: Монография. – Днепропетровск: Национальний горный университет (Днепропетровск, Украина), 2005. – 319 с. **3.** Дидык Р.П., Кузнецов Е.В., Забара В.Н. Физические основы прочности. Учебник. – Д.: Наука и образование, 2005. – 608 с. **4.** Фадеев А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 236 с.

СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ БАЛОК СТУПЕНЧАТО-ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ КАК СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Шевченко Ф.Л. (*ДонНТУ, г. Донецк, Украина*)

Natural oscillation of step-variable cross section beam with distributed constants and localized mass are considered taking into account eigenfunction characteristics and step variation of beam hardness.

В учебной литературе по динамике систем с распределенными параметрами как правило рассматриваются однопролетные балки с погонной массой *m*.

В расчете балок с распределенными параметрами на поперечные колебания следует знать свойства собственных функций $Y(x)$. Если балка постоянного сечения, т.е. погонная масса *m и* жесткость *EJ* по длине балки не изменяются, то собственные функции при любом способе ее закрепления на опорах будут ортогональными [1], когда:

$$\int_0^l Y_n(x)Y_m(x)dx = 0 .$$

При наличии на балке сосредоточенных масс собственные функции будут ортогональными с весом $\rho(x)$, который определяется по формуле [2]:

$$\rho(x) = 1 - \frac{\int_0^l Y_n(x)Y_m(x)dx}{Y_n(x_1)Y_m(x_1)}\delta(x - x_1), \qquad (1)$$

где дельта-функция Дирака $\delta(x - x_{11})$ учитывает наличие сосредоточенной массы в сечении с координатой $x_{1.}$.

Интеграл этой формулы можно найти из зависимости [2]:

$$\left(k_n^4 - k_m^4\right)\int_0^l Y_n(x)Y_m(x)dx = \left| Y_m \frac{d^3Y_n}{dx^3} - Y_n \frac{d^3Y_m}{dx^3} - \frac{dY_m}{dx}\frac{d^2Y_n}{dx^3} + \frac{dY_n}{dx}\frac{d^2Y_m}{dx^3} \right|_0^l, \qquad (2)$$

подчиняя собственные функции условиям закрепления балки на опорах.

В балках ступенчато-переменного сечения, кроме определения весовых функций нужно учитывать отношения жесткостей участков и зависимости (2), умноженные на жесткости участков, нужно суммировать по длине балки:

$$\begin{aligned} &\sum EJ_i\left(k_{in}^4 - k_{im}^4\right)\int_0^l Y_{in}(x)Y_{im})x)dx = \\ &= \sum EJ_i \left| Y_{im} \frac{d^3Y_{in}}{dx^3} - Y_{in} \frac{d^3Y_{im}}{dx^3} - \frac{dY_{im}}{dx}\frac{d^2Y_{in}}{dx^3} + \frac{dY_{in}}{dx}\frac{d^2Y_{im}}{dx^3} \right|_0^l \end{aligned}. \qquad (3)$$

Аналогично, при вычислении квадрата нормы собственных функций:

$$\Delta_m^2 = \int_0^l \rho(x)Y^2(x)dx$$

также нужно учитывать жесткости участков балки.

Интеграл квадрата нормы также можно найти, не прибегая к интегрированию, из зависимости [2]:

$$\sum EJ_i \int_0^l Y_i^2(x)dx = \sum \frac{EJ_i}{4k_i}\left[3Y_i \frac{d^3Y_i}{dz^3} + kx\left(Y_i^2 - 3\frac{dY_i}{dz}\frac{d^3Y_i}{dz^3} + \left(\frac{d^2Y_i}{dz^2}\right)^2 \right) - \frac{dY_i}{dz}\frac{d^2Y_i}{dz^2} \right]_0^l, \qquad (4)$$

где $z = kx$.

Рассмотрим вышеизложенное на конкретном примере поперечных колебаний консоли ступенчато-переменной жест кости, рис. 1.

Известно, что собственные поперечные колебания балки как системы с распределенными параметрами описываются дифференциальным уравнением:

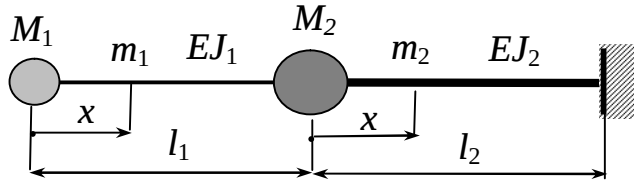


Рис. 1. Расчетная схема

$$EJ\frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + m\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = 0,$$

решение которого для свободных колебаний имеет вид:

$$y(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} y_n(x)\sin\left(\omega_n t + \mu_n\right),$$

или

$$y(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} D_n Y_n(x)\sin\left(\omega_n t + \mu_n\right), \qquad (5)$$

где $Y_n(x)$ - собственные функции, описывающие форму изогнутой оси балки при единичной амплитуде D_n для произвольной гармоники колебаний.

Уравнение изогнутой оси балки $y(x)$ с учетом начальных параметров y_0, y_0', M_0, P_0, представляющих деформационные и силовые факторы в начале координат, известно в виде:

$$y(x) = y_0 A_{kx} + \frac{y_0'}{k} B_{kx} + \frac{M_0}{k^2 EJ} C_{kx} + \frac{P_0}{k^3 EJ} D_{kx}, \tag{6}$$

где $A_{kx} = (\mathrm{ch}kx + \cos kx)/2$, $B_{kx} = (\mathrm{sh}kx + \sin kx)/2$,
$C_{kx} = (\mathrm{ch}kx - \cos kx)/2$, $D_{kx} = (\mathrm{sh}kx - \sin kx)/2$

- динамические функции А.Н. Крылова.

В конкретном случае ступенчатой консоли, представленной на рис. 1, уравнение изогнутой оси $y(x)$, при выборе начала координат на свободном конце консоли, имеет вид:

$$y(x) = y_0 A_{kx} + \frac{y_0'}{k} B_{kx} + \frac{P_0}{k^3 EJ} D_{kx}.$$

Здесь P_0 представляет силу инерции массы M_1, $P_0 = -M_1 \ddot{y}(0) = M_1 \omega^2 y(0)$. Так как спектр частот собственных колебаний определяется формулой:

$$\omega_n = k_n^2 \sqrt{\frac{EJ}{m}} \tag{7}$$

то

$$P_0 = Mk^4 EJ_1 y_0 = \xi_1 \lambda_1 k_1^3 EJ_1 y_0,$$

где обозначено $\xi_1 = \frac{M_1}{m_1 l_1}$, $\lambda_1 = k_1 l_1$.

Так получаем для левого участка балки уравнения изогнутой оси $y_1(x)$, углов поворота $y_1'(x)$, изгибающих моментов $M_1(x) = EJ_1 \ddot{y}_1(x)$ и поперечных сил $Q_1(x) = M_1'(x)$:

$$y_1(x) = y_0 \left(A_{k_1 x} + \xi_1 \lambda_1 D_{k_1 x}\right) + \frac{y_0'}{k_1} B_{k_1 x}, \tag{8}$$

$$y_1'(x) = y_0 k_1 \left(D_{k_1 x} + \xi_1 \lambda_1 C_{k_1 x}\right) + y_0' A_{k_1 x}, \tag{9}$$

$$M_1(x) = EJ_1 k_1^2 y_0 \left(C_{k_1 x} + \xi_1 \lambda_1 B_{k_1 x}\right) + EJ_1 k_1 y_0' D_{k_1 x}, \tag{10}$$

$$Q_1(x) = EJ_1 k_1^3 y_0 \left(B_{k_1 x} + \xi_1 \lambda_1 A_{k_1 x}\right) + EJ_1 k_1^2 y_0' C_{k_1 x}, \qquad (11)$$

где обозначено $\lambda_1 = k_1 l_1$.

На границе участков при $x = l_1$ от сосредоточенной массы M_2 возникает сила инерции

$$P_2 = -M_2 \ddot{y}_1(l_1) = M_2 k_2^4 \frac{EJ_2}{m_2} y_1(l_1) = EJ_2 \xi_2 \lambda_2 k_2^3 \left[y_0 \left(A_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 D_{\lambda_1}\right) + \frac{y_0'}{k_1} B_{\lambda_1} \right], \qquad (12)$$

где $\xi_2 = \dfrac{M_2}{m_2 l_2}$.

Принимая для второго участка начало координат на границе участков, где все силовые и деформационные факторы находятся из (8)-(11) при $x = l_1$, согласно (6) получим уравнение изогнутой оси правого участка балки:

$$\begin{aligned}
y_2(x) = &\left[y_0 \left(A_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 D_{\lambda_1}\right) + \frac{y_0'}{k_1} B_{\lambda_1} \right] A_{k_2 x} + \\
&+ \left[y_0 k_1 \left(D_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 C_{\lambda_1}\right) + y_0' A_{\lambda_1} \right] \frac{B_{k_2 x}}{k_2} + \\
&+ \frac{J_1 k_1^2}{J_2 k_2^2} \left[y_0 \left(C_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 B_{\lambda_1}\right) + \frac{y_0'}{k_1} D_{\lambda_1} \right] C_{k_2 x} + \\
&+ \frac{J_1 k_1^3}{J_2 k_2^3} \left[y_0 \left(B_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 A_{\lambda_1}\right) + \frac{y_0'}{k_1} C_{\lambda_1} \right] D_{k_2 x} + \\
&+ \xi_2 \lambda_2 \left[y_0 \left(A_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 D_{\lambda_1}\right) + \frac{y_0'}{k_1} B_{\lambda_1} \right] D_{k_2 x},
\end{aligned}$$

т.е.

$$\begin{aligned}
&y_2(x) = \\
&= \left[y_0 \left(A_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 D_{\lambda_1}\right) A_{k_2 x} + \frac{k_1}{k_2} \left(D_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 C_{\lambda_1}\right) B_{k_2 x} + \frac{J_1 k_1^2}{J_2 k_2^2} \left(C_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 B_{\lambda_1}\right) C_{k_2 x} + \right. \\
&\left. + \frac{J_1 k_1^3}{J_2 k_2^3} \left(\left(B_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 A_{\lambda_1}\right) D_{k_2 x} + \xi_2 \lambda_2 \left(A_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 D_{\lambda_1}\right) D_{k_2 x} \right) \right] + \\
&+ \frac{y_0'}{k_1} \left[B_{\lambda_1} A_{k_2 x} + \frac{k_1}{k_2} A_{\lambda_1} B_{k_2 x} + \frac{J_1 k_1^2}{J_2 k_2^2} D_{\lambda_1} C_{k_2 x} + \frac{J_1 k_1^3}{J_2 k_2^3} C_{\lambda_1} D_{k_2 x} + \xi_2 \lambda_2 B_{\lambda_1} D_{k_2 x} \right].
\end{aligned}$$

Из условия $y_2(l_2)=0$ выразим угол поворота y_0' через прогиб y_0

$$\frac{y_0'}{k_1}=-\alpha y_0,$$

$$\alpha=\frac{\begin{array}{c}A_{\lambda_1}A_{\lambda_2}+\beta_1D_{\lambda_1}B_{\lambda_2}+\beta_2C_{\lambda_1}C_{\lambda_2}+\beta_3B_{\lambda_1}D_{\lambda_2}+\xi_1\lambda_1\big(D_{\lambda_1}A_{\lambda_2}+\beta_1C_{\lambda_1}B_{\lambda_2}+\\ +\beta_2B_{\lambda_1}C_{\lambda_2}+\xi_1\lambda_1A_{\lambda_1}D_{\lambda_2}\big\rangle+\beta_2\xi_2\lambda_2\big(A_{\lambda_1}+\xi_1\lambda_1D_{\lambda_1}\big)D_{\lambda_2}\end{array}}{B_{\lambda_1}A_{\lambda_2}+\beta_1A_{\lambda_1}B_{\lambda_2}+\beta_2D_{\lambda_1}C_{\lambda_2}+\beta_3C_{\lambda_1}D_{\lambda_2}+\xi_2\lambda_2B_{\lambda_1}D_{\lambda_2}}}{B_{\lambda_1}A_{\lambda_2}+\beta_1A_{\lambda_1}B_{\lambda_2}+\beta_2D_{\lambda_1}C_{\lambda_2}+\beta_3C_{\lambda_1}D_{\lambda_2}+\xi_2\lambda_2B_{\lambda_1}D_{\lambda_2}}}. \quad (13)$$

Теперь уравнение изогнутой оси балки на втором участке можно представить через один начальный параметр y_0, множителем которого будут собственные функции второго участка:

$$y_2(x)=y_0\big[\big(A_{\lambda_1}+\xi_1\lambda_1D_{\lambda_1}-\alpha B_{\lambda_1}\big)A_{k_2x}+\beta_1\big(D_{\lambda_1}+\xi_1\lambda_1C_{\lambda_1}-\alpha A_{\lambda_1}\big)B_{k_2x}+$$

$$+\beta_2\big(C_{\lambda_1}+\xi_1\lambda_1B_{\lambda_1}-\alpha D_{\lambda_1}\big)C_{k_2x}+\beta_3\big(B_{\lambda_1}+\xi_1\lambda_1A_{\lambda_1}-\alpha C_{\lambda_1}\big)D_{k_2x}+$$

$$+\xi_2\lambda_2\big(A_{\lambda_1}+\xi_1\lambda_1D_{\lambda_1}-\alpha B_{\lambda_1}\big)D_{k_2x}\big]. \quad (14)$$

Введем обозначения: $Y_1(l_1)=A_{\lambda_1}+\xi_1\lambda_1D_{\lambda_1}-\alpha B_{\lambda_1}$,

$$Y_1'(l_1)=D_{\lambda_1}+\xi_1\lambda_1C_{\lambda_1}-\alpha A_{\lambda_1},\ Y_1''(l_1)=C_{\lambda_1}+\xi_1\lambda_1B_{\lambda_1}-\alpha D_{\lambda_1},$$

$$Y_1'''(l_1)=B_{\lambda_1}+\xi_1\lambda_1A_{\lambda_1}-\alpha C_{\lambda_1}.$$

При этих обозначениях уравнение изогнутой оси правого участка балки будет представлено через собственные функции $Y_2(x)$:

$$y_2(x)=y_0\big[Y_1(l_1)A_{k_2x}+\beta_1Y_1'(l_1)B_{k_2x}+\beta_2Y_1''(l_1)C_{k_2x}+\big(\beta_3Y_1'''(l_1)+$$
$$+\xi_2\lambda_2Y_1(l_1)\big)D_{k_2x}\big]=y_0Y_2(x). \quad (15)$$

Отсюда дифференцированием получаем остальные расчетные уравнения:

$$y_2'(x)=y_0k_2\big[Y_1(l_1)D_{k_2x}+\beta_1Y_1'(l_1)A_{k_2x}+\beta_2Y_1''(l_1)B_{k_2x}+\big(\beta_3Y_1'''(l_1)+$$
$$+\xi_2\lambda_2Y_1(l_1)\big)C_{k_2x}\big]=y_0k_2Y_2'(x), \quad (16)$$

$$M_2(x)=EJ_2y_0k_2^2\big[Y_1(l_1)C_{k_2x}+\beta_1Y_1'(l_1)D_{k_2x}+\beta_2Y_1''(l_1)A_{k_2x}+\big(\beta_3Y_1'''(l_1)+$$
$$+\xi_2\lambda_2Y_1(l_1)\big)B_{k_2x}\big]=EJ_2y_0k_2^2Y_2''(x), \quad (17)$$

$$Q_2(x) = EJ_2 y_0 k_2^3 \left[Y_1(l_1) B_{k_2 x} + \beta_1 Y_1'(l_1) C_{k_2 x} + \beta_2 Y_1''(l_1) D_{k_2 x} + \left(\beta_3 Y_1'''(l_1) + \right. \right.$$
$$\left. \left. + \xi_2 \lambda_2 Y_1(l_1) \right) A_{k_2 x} \right] = EJ_2 y_0 k_2^3 Y_1'''(x). \qquad (18)$$

Из условия $y_1(l_1) = y_2(0)$ с учетом уравнений (8), (14) получаем равенство

$$y_0 \left(A_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 D_{\lambda_1} \right) + \frac{y_0'}{k_1} B_{\lambda_1} = y_0 \left[A_{\lambda_1} + \xi_1 \lambda_1 D_{\lambda_1} - \alpha B_{\lambda_1} \right],$$

откуда находим зависимость $\frac{y_0'}{k_1} = -\alpha y_0$. С учетом этой зависимости уравнения первого участка можно представить также через один начальный параметр y_0 и собственные функции левого участка $Y_1(x)$:

$$y_1(x) = y_0 \left[A_{k_1 x} + \xi_1 \lambda_1 D_{k_1 x} - \alpha B_{k_1 x} \right] = y_0 Y_1(x), \qquad (19)$$

$$y_1'(x) = y_0 k_1 \left[D_{k_1 x} + \xi_1 \lambda_1 C_{k_1 x} - \alpha A_{k_1 x} \right] = y_0 k_1 Y_1'(x), \qquad (20)$$

$$M_1(x) = EJ_1 k_1^2 y_0 \left[C_{k_1 x} + \xi_1 \lambda_1 B_{k_1 x} - \alpha D_{k_1 x} \right] = EJ_1 k_1^2 y_0 Y_1''(x), \qquad (21)$$

$$Q_1(x) = EJ_1 k_1^3 y_0 \left[B_{k_1 x} + \xi_1 \lambda_1 A_{k_1 x} - \alpha C_{k_1 x} \right] = EJ_1 k_1^3 y_0 Y_1'''(x). \qquad (22)$$

Обратим внимание, что здесь штрихами обозначены производные по z (см. (4)).

Теперь изучим свойства собственных функций $Y_1(x)$, $Y_2(x)$ на основании зависимости (3), которую представим в виде:

$$EJ_1 \left(k_{1n}^4 - k_{1m}^4 \right) \int_0^l Y_{1n}(x) Y_{1m}(x) dx + EJ_2 \left(k_{2n}^4 - k_{2m}^4 \right) \int_0^l Y_{2n}(x) Y_{2m}(x) dx =$$

$$= Y_{1m}(l_1) Q_{1n}(l_1) - Y_{1n}(l_1) Q_{1m}(l_1) - \underline{Y_{1m}'(l_1) M_{1n}(l_1)} + \underline{\underline{Y_{1n}'(l_1) M_{1m}(l_1)}} - Y_{1m}(0) Q_{1n}(0) +$$
$$+ Y_{1n}(0) Q_{1m}(0) - Y_{2m}(0) Q_{2n}(0) + Y_{2n}(0) Q_{2m}(0) + \underline{Y_{2m}'(0) M_{2n}(0)} - \underline{\underline{Y_{2n}'(0) M_{2m}(0)}}.$$

Учитывая, что $Y_1(l_1) = Y_2(0)$, $Y_1'(l_1) = Y_2'(0)$, $M_1(l_1) = M_2(0)$, здесь подчеркнутые слагаемые взаимно уничтожаются, а согласно (12),(18)

$$Q_2(0) = EJ_2 y_0 k_1^3 \left(\frac{J_1}{J_2} \frac{k_1^3}{k_2^3} Y_1'''(l_1) + \xi_2 \lambda_2 Y_1(l_1) \right) = Q_1(l_1) + EJ_2 y_0 k_2^3 \xi_2 \lambda_2 Y_1(l_1).$$

Следовательно, из анализируемой зависимости получим:

$$\left(k_{1n}^4 - k_{1m}^4\right)\int_0^l Y_{1n}(x)Y_{1m}(x)dx + \frac{J_2}{J_1}\left(k_{2n}^4 - k_{2m}^4\right)\int_0^l Y_{2n}(x)Y_{2m}(x)dx =$$

$$= \xi_1 l_1\left(k_{1n}^4 - k_{1m}^4\right)Y_{1n}(0)Y_{1m}(0) - \frac{J_2}{J_1}\left(k_{2n}^4 - k_{2m}^4\right)Y_{2n}(0)Y_{2m}(0).$$

Отсюда получаем равенство:

$$\int_0^l Y_{1n}(x)Y_{1m}(x)dx + \frac{J_2}{J_1}\int_0^l Y_{2n}(x)Y_{2m}(x)dx =$$

$$= -\xi_1 l_1 Y_{1n}(0)Y_{1m}(0) - \frac{J_2}{J_1}\xi_1 l_1 Y_{2n}(0)Y_{2m}(0).$$

В соответствии с формулой (1) это значит, что на левом участке собственные функции $Y_1(x)$ ортогональны с весом $\rho_1(x) = 1 + \xi_1 l_1 \delta(x)$, а на правом кроме веса $\rho_2(x) = 1 + \xi_2 l_2 \delta(x)$ нужно учитывать отношение жесткостей участков J_2 / J_1.

Теперь можно найти квадрат нормы собственных функций. Согласно (4) он равен:

$$\Delta_n^2 = \int_0^{l_1}\rho_1(x)Y_1^2(x)dx + \frac{J_2}{J_1}\int_0^{l_2}\rho_2(x)Y_2^2(x)dx =$$

$$= \int_0^{l_1}\left(1 + \xi_1 l_1 \delta(x)\right)Y_1^2(x)dx + \frac{J_2}{J_1}\int_0^{l_2}\left(1 + \xi_2 l_2 \delta(x)\right)Y_2^2(x)dx =$$

$$= \int_0^{l_1} Y_1^2(x)dx + \xi_1 l_1 Y_1^2(0) + \frac{J_2}{J_1}\int_0^{l_2} Y_2^2(x)dx + \xi_2 l_2 Y_2^2(0). \qquad (23)$$

Входящие сюда интегралы вычисляются от собственных функций (14), (19):

$$\int_0^{l_1} Y_1^2(x)dx = \frac{1}{4k_1}\left[3Y_1(l_1)Y_1'''(l_1) + k_1 l_1\left(Y_1^2(l_1) - 2Y_1'(l_1)Y_1'''(l_1) + \left(Y_1''(l_1)\right)^2\right) - \right.$$
$$\left. - Y_1'(l_1)Y_1''(l_1) - 3\xi_1\lambda_1\right],$$

$$\int_0^{l_2} Y_2^2(x)dx = \frac{1}{4k_2}\left[k_2 l_2\left(Y_2''(l_2)\right)^2 - 3Y_2(0)Y_2'''(0) + Y_2'(0)Y_2''(0)\right] =$$

$$= \frac{1}{4k_2}\left[k_2 l_2\left(Y_2''(l_2)\right)^2 - 3Y_1(l_1)\left(\beta_3 Y_1'''(l_1) + \xi_2\lambda_2 Y_1(l_1)\right) + \beta_1 Y_1'(l_1)\beta_2 Y_1''(l_1)\right].$$

Начальный параметр y_0 и начальная фаза μ_n вычисляются из начальных условий:

$$\mathrm{tg}\mu = \frac{y(x,0)}{\dot{y}(x,0)}\omega. \qquad (24)$$

Допустим, что собственные колебания вызваны перемещением балки с некоторой скоростью v_0 и внезапным защемлением на правом конце. Тогда согласно (24) $\mu = 0$, а условие для вычисления начального параметра примет вид:

$$\omega_n y_0 Y_n(x) = v_0[1 - e(x - l_2)].$$

Это равенство нужно умножить на функцию $Y_m(x)$, вес $\rho(x)$ и проинтегрировать по длине балки, т.е.

$$\sum \omega_n y_0 \int_0^{l_1}(1+\xi_1 l_1 \delta(x))Y_{1n}(x)Y_{1m}(x)dx + \sum \omega_n y_0 \int_0^{l_2}(1+\xi_2 l_2 \delta(x))Y_{2n}(x)Y_{2m}(x)dx =$$
$$= v_0\left[\int_0^{l_1}(1+\xi_1 l_1 \delta(x))Y_1(x)dx + \int_0^{l_2}(1-e(x-l_2))(1+\xi_2 l_2 \delta(x))Y_{2n}(x)Y_{2m}(x)dx\right].$$

Интеграл левой части этого равенства представляет квадрат нормы собственных функций (23), а интеграл правой части берется с учетом интегрирования функций Крылова и свойств интегрирования дельта-функции Дирака и единичной функции, т.е.

$$\int_0^{l_1}\left(A_{k1x} + \xi_1\lambda_1 D_{k1x} - \alpha B_{k1x}\right)dx + \xi_1 l_1 + \frac{l_1}{\lambda_1}\int_0^{l_2}\left(Y_1(l_1)A_{k2x} + \beta_1 Y_1'(x)B_{k2x} + \beta_2 Y_1''(l_1)C_{k2x} + \right.$$
$$\left. + \left(\beta_3 Y_1'''(l_1) + \xi_2\lambda_2 Y_1(l_1)D_{k2x}\right)dx + \xi_2 l_2 Y_1(l_1) = \frac{l_2}{\lambda_1}\left(B_{\lambda_1} + \xi_1\lambda_1\left(D_{\lambda_1} - 1\right) - \alpha C_{\lambda_1} + \xi_1 l_1\right) + \right.$$
$$+ \frac{J_2}{J_1}\frac{l_2}{\lambda_2}\left[Y_1(l_1)B_{\lambda_2} + \beta_1 Y_1'(l_1)C_{\lambda_2} + \beta_2 Y_1''(l_1)D_{\lambda_2} + \xi_2 l_2 Y_1(l_1)\right].$$

После вычисления начального параметра y_0 по формулам (19)-(22) и (15)-(18) можно найти все расчетные силовые и деформационные факторы.

Список литературы: 1. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле.- М.: Наука, 1967. – 467 с. **2**. Шевченко Ф.Л. Будівельна механіка. Спеціальний курс. Динаміка пружних стержньових систем. – Донецьк: РИА ДонДТУ, 2000. -292 с.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ЗМІЩЕННЯ ДРОТЯНОГО ЕЛЕКТРОДА-ІНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕСІ КОНУСНОЇ ЧОТИРИКООРДИНАТНОЇ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ

Шитик О. Ю., Осипенко В. І., Ступак Д.О. (*ЧДТУ, м. Черкаси, Україна*)

In the given article the problem of the wire elektrodischarge cone treatment of details is expounded. Also, there is offered the original method of determination of the real slope's angle of instrument's wire electrode of the relatively processed detail.

Вступ.

На сучасному етапі розвитку технологій галузь електроерозійного дротяного вирізання займає все нові й нові лідируючі позиції на теренах прицизійної обробки твердих струмопровідних матеріалів.

Діапазон вимог до точності виготовлення деталей знаходиться в жорстких межах від ± 10 до ± 2 мкм. За таких умов суттєвий вплив на кінцеву точність процесу вирізання має такий специфічний інструмент як дротяний електрод, особливо при виготовленні складних конічних поверхонь .

Проблема полягає в складності точного формоутворення конічної поверхні деталі при русі приводів подач за спроектованою траекторією внаслідок зміщень ДЕІ і від розрахованого положення в процесі формування заданого кута нахилу.

Як правило, для вирішення даної проблеми світові лідери (AGIE, Sodick, Mitsubishi та багато інших) використовують складні багатовісні системи датчиків, які в режимі реального часу реєструють будь-які відхилення дроту і передають отримані данні до бази числового програмного керування верстата (ЧПК), що дає можливість визначати як кут нахилу дроту так і зміщення ріжучої ділянки дроту відносно свого заданого положення. В такий спосіб вдається корегувати траекторію руху приводів подач верстата і, відповідно, забезпечити точність геометрії кінцевого виробу.

Однак, враховуючи високу вартість даних систем контролю, як модернізація і покращення технічних характеристик електроерозійних вирізних верстатів (ЕЕВВ) колишнього СНД так і розробка вітчизняних ЕЕВВ можливі лише за умов розробки та створення недорогих, але, разом з тим, максимально простих і ефективних методик визначення реального положення ДЕІ.

Теоретичний аналіз.

На рис.1 показано схему обробки деталі, з метою отримання фігури конічної форми.

При формуванні заданого кута нахилу дроту внаслідок наявності власної жорсткості електрода-інструмента виникає викривлення вісі дроту, яка в загальному випадку приймає хвилеподібну форму. Дане викривлення провокує виникнення величини зміщення g у кожній точці дотику дротяного електрода-інструмента і оброблюваної заготовки.

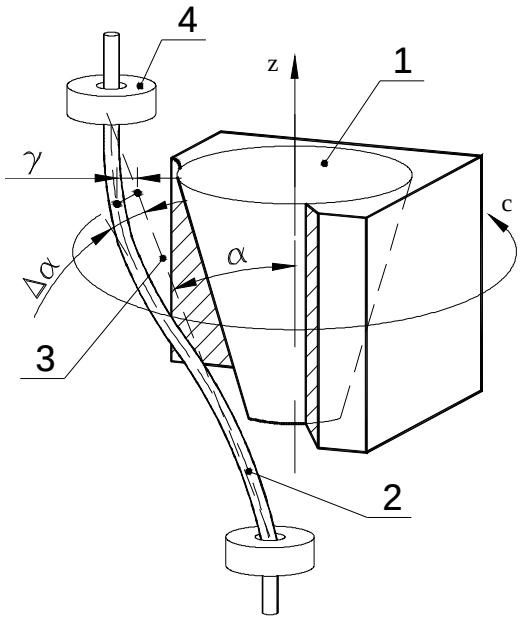


Рис. 1. Схема обробки конічних поверхонь на чотирикоординатному електроерозійному верстаті: 1 – оброблювана заготовка; 2 – дротяний електрод-інструмент; 3 – теоретичне положення вісі ДЕІ; 4 – система направлення ДЕІ; a - заданий кут нахилу вісі ДЕІ відносно поверхні деталі; Δa - похибка, отримана в процесі різання; g – величина зміщення ДЕІ від початкового положення в точці дотику з деталлю; c – напрямок руху електрод-дроту навколо вісі z.

Суть поставленої задачі полягає у визначенні величини зміщення точок робочої частини ДЕІ від розрахованого положення. При цьому для вирішення задачі необхідно і достатньо знайти лише дві величини $\mathbf{g}$: $\mathbf{Dg}_{в}$ – величину відхилення у верхній площині деталі та величину відхилення $\mathbf{Dg}_{н}$ у нижній площині деталі (рис.2):

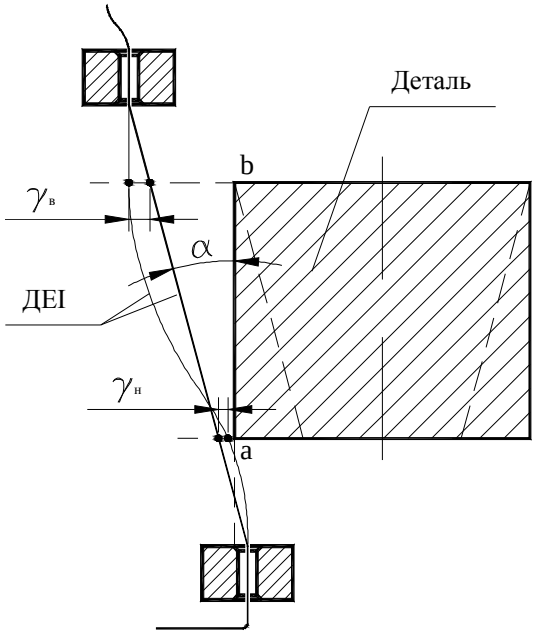


Рис. 2. Схема зміщення початкового положення ДЕІ в крайніх точках дотику електрода і деталі: $g_в$ – величина відхилення у крайній верхній точці дотику; $g_н$ – величина відхилення у крайній нижній точці дотику; a - теоретичний початковий кут обробки.

Визначивши величини $\mathbf{Dg}_в$ та $\mathbf{Dg}_н$ не складно знайти похибку заданого кута Δa, що і провокує неточність кінцевого розміру: внаслідок зміни кута нахилу бічної сторони змінюються верхній та нижній діаметри готової деталі.

За таких умов, для покращення техніко-економічних показників електроерозійного верстата та для вирішення поставлених промисловістю задач необхідна розробка та впровадження спеціальних методик, які б дозволили з одного боку забезпечити точність обробки з врахуванням відхилень ДЕІ від номінального положення, а з іншого – здешевити загальний виробничий процес.

Методика вимірювань.

На базі принципово нового чотирикоординатного електроерозійного вирізного верстата СЕЛД-04 на лінійних приводах було проведено дослідні вимірювання з метою визначення точного положення дротяного електрода-інструмента відносно деталі при конусному різі заготовки.

Універсальність даного методу полягає у використанні спеціального пристосування, яке імітує оброблювану заготовку. Характерна особливість даного пристосування полягає у можливості виставляти будь-яку висоту рівну висоті заготовки.

Безпосередньо перед проведенням досліду були виконані всі необхідні заміри по базуванню пристосування щодо приводів подач верстата (рис. 3).

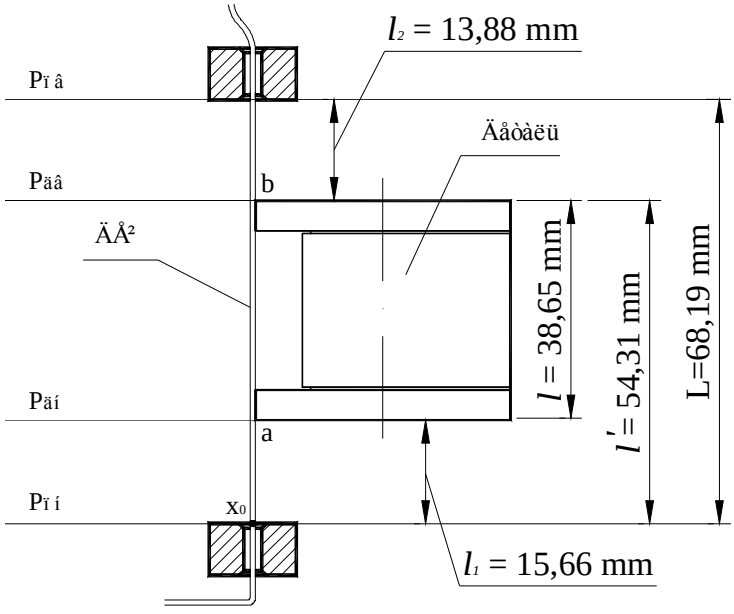


Рис.3. Приклад схеми базування заготовки на чотирикоординатному електроерозійному вирізному верстаті СЕЛД-04: $Р_{пв}$ – верхня площина привода; $Р_{дв}$ – верхня площина деталі; $Р_{дн}$ – нижня площина деталі; $Р_{пн}$ – нижня площина привода.

На першому етапі визначались наступні величини: H, H_1, і h (рис.4).

Маючи на меті отримати конічну деталь з кутом бічної сторони a, привода подач верстата за допомогою ЧПУ розміщувались таким чином, щоб точка нижньої фіксації ДЕІ в напрямній чітко співпадала з віссю ab жорстко закріпленого пристосуван-

ня.. Точка фіксації ДЕІ у верхній напрямній розміщувалась від вісі *ab* на визначену системою ЧПК відстань *H* до утворення величини необхідного кута *a* . Таким чином, знаючи всі необхідні відстані та розміри, встановлювались наступні рівності:

$$H = L \times tg\alpha \text{ , звідки} \qquad tga = \frac{H}{L} = \frac{H_1 - h}{l} \qquad (1)$$

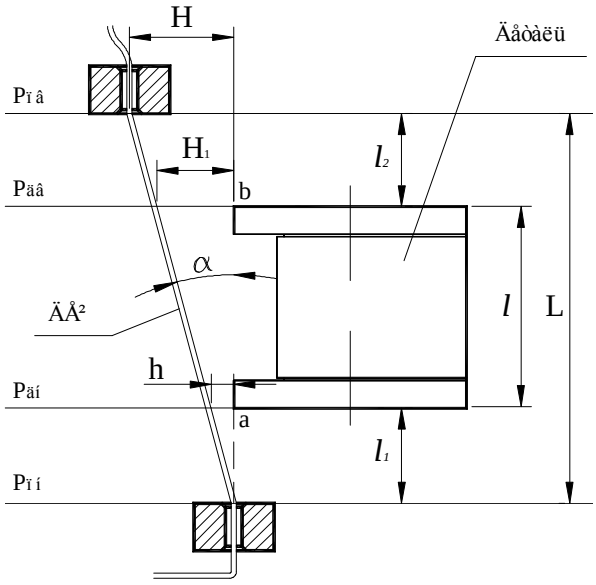


Рис. 4. Схема визначення величин зміщення ДЕІ у верній та нижній площинах деталі.

З даної рівності легко знайти шукані величини H_1, і h:

$$H_1 = (l_1 + l) \times tga \qquad (2)$$

$$h = l_1 \times tga \qquad (3)$$

На наступному етапі привід подач верстата переміщував напрямні на вже відому величину *h* у точку дотику ДЕІ з нижнім торцем пристосування (рис.5). Всі координати переміщення приводів подач фіксувалися стійкою ЧПК.

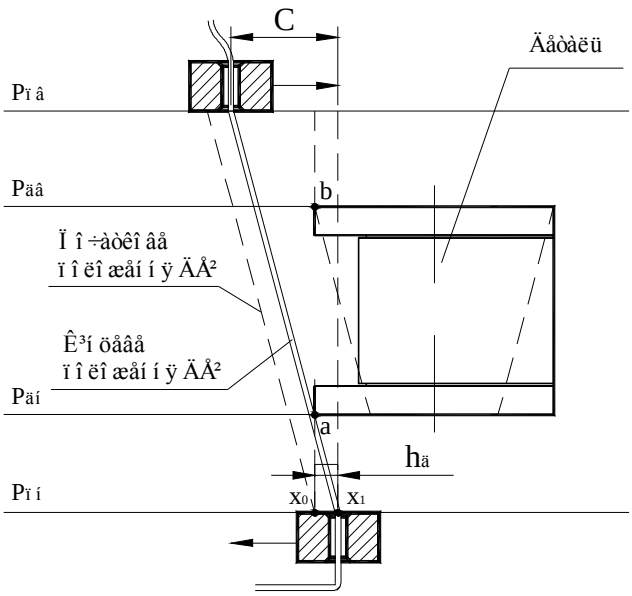


Рис. 5. Схема визначення дійсної величин зміщення ДЕІ *h*д.

де $h_Д = x_1 - x_0$.

Симетрично перемістивши напрямні на величину *C* у точку дотику дроту з верхньою площиною пристосування отримали відповідний тангенс кута $tg\alpha_д$ (рис.6):

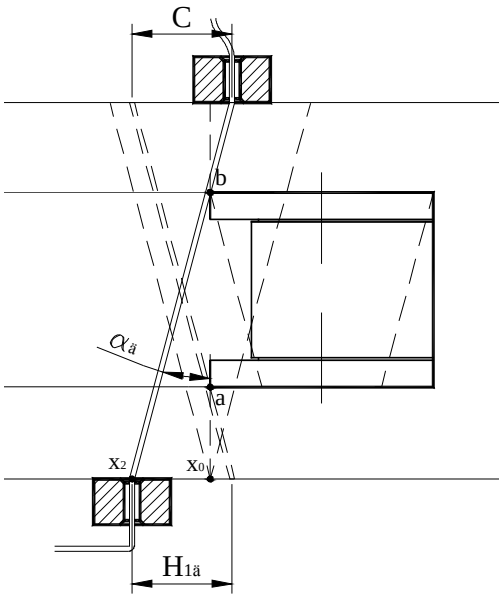


Рис. 6. Схема визначення величин дійсного кута нахилу ДЕІ $\alpha_д$

$$\text{де } H_{1Д} = x_0 - x_2, \qquad tg\alpha_Д = \frac{H_{1Д} - h_Д}{l} \tag{4}$$

Отже, визначивши всі необхідні відхилення, можемо знайти шукане реальне положення дротяного електрода-інструмента відповідно до обраної заготовки. Для цього відкладаємо від точки *b* (дотику ДЕІ і деталі) в зворотному напрямку відстань H_{1g}. Че-

рез дану точку пройде крива електрода-інструмента. Іншу точку фіксації дроту в нижній напрямній переміщуємо в своє початкове положення X_0 (рис.7).

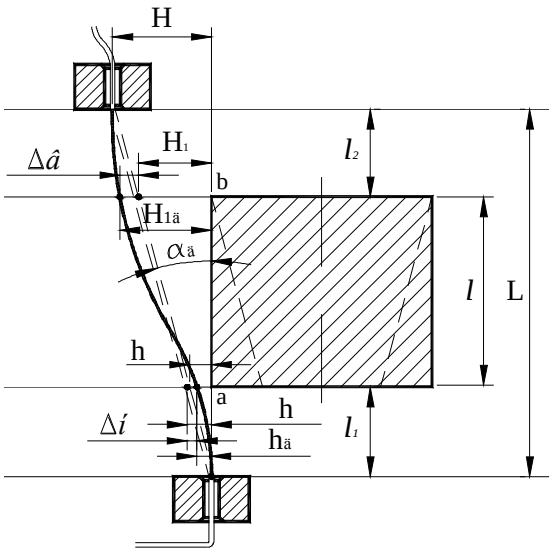


Рис. 6. Схема визначення реальної величин зміщень дротяного ЕІ $\mathbf{Dg}_{в}$ та $\mathbf{Dg}_{н}$ та відповідне визначення дійсного кута нахилу ДЕІ $a_{д}$ в процесі обробки заготовки

де величина зміщення ДЕІ у точці дотику нижнього торця деталі від початкового положення визначається за наступною рівністю:

$$\Delta g_{н} = h - h_{Д}, \tag{5}$$

відповідна величина зміщення робочої точки дотику ДЕІ у верхньої площини деталі від початкового положення визначається як:

$$\Delta g_{в} = н_1 - н_{1Д} \tag{6}$$

Таким чином, визначивши всі необхідні похибки від заданого положення, спеціальне пристосування замінювалось на безпосередньо оброблювану заготовку.

Висновки. В результаті проведених експериментів на принципово новому електроерозійному верстаті СЕЛД-04 на фірмі “Араміс” (м. Черкаси) було вперше розроблено оригінальну методику по визначенню реального положення дротяного електрода-інструмента (ДЕІ) відносно оброблюваної деталі. Абсолютно точно встановлено величини зміщення електрод-дроту в точках дотику із оброблюваною заготовкою, що дозволило визначити необхідний кут для конкретної обробки деталі. Так, при різанні заготовки з необхідним кутом нахилу сторони деталі рівним 14^{o} і висотою деталі h = 38,65 mm нижнє відхилення h_g = 3,527 mm (при початково визначеному h_g = 3,904 mm). Верхнє відхилення склало H_1 = 13,524 mm (при початково визначеному H_1 = 13,539 mm).

Принциповим удосконаленням даного методу є застосування універсального пристосування, яке дозволяє на етапі проектування технологічного процесу отримувати точну висоту відповідної заготовки. Це дозволяє попередньо визначити всі відхилення положення ДЕІ відносно будь-яких геометричних параметрів деталі.

Дана методика дозволяє уникнути всих небажаних похибок при чотири координатному електроерозійному вирізанні конічних поверхонь деталей і забезпечити максимальну точність позиціонування дротяного електрода-інструмента.

Список літератури: 1. Ф. Балле. Скорость и точность электроэрозионной обработки. – Женева (Швейцария), 1994.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Юринок В.И. (*БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь*)

Theoretical and technological fundamentals of control over the process of surface treatment have been developed. They include: A mathematical model reflecting the particulars of redistribution of pressure and sliding speeds with regard to the changes of the lap & blank shape and dimensions; shaping control method allowing for the technological heredity of blanks.

Современное производство точного машиностроения и приборостроения требует создания управляемых технологических процессов изготовления высококачественной микрооптики. Решение этих задач невозможно без математического моделирования формообразования сферических поверхностей малого радиуса. В работе обсуждается подход к установлению взаимосвязи параметров процесса обработки с изменением массы, поверхности и других характеристик заготовки.

Получение полноразмерных сферических поверхностей малого радиуса из заготовок кубической формы происходит между инструментальными дисками, вращающимися с определенной скоростью [1]. Сжатый воздух, подающийся от воздушной сети, проходя через тангенциальные сопла, воздействует на обрабатываемую поверхность и вызывает ударно-вращательное движение кубиков о поверхность инструментальных дисков**.**

Анализ работы устройств для пневмоцентробежной обработки показывает, что процесс формообразования шариков из заготовок кубической формы можно описать, выделив несколько стадий: качение кубика без скольжения, когда он поворачивается вокруг некоторой неподвижной точки контакта; качение заготовки с проскальзыванием, когда она имеет форму кубика со сработанными вершинами; качение заготовки с проскальзыванием, когда она имеет форму шара, то есть стадия доводки шарика до заданного диаметра и требуемого качества поверхности.

Известно, что износ U поверхности обрабатываемой детали (объемные или весовые единицы) определяется по зависимости $U = kpVt$, где k – коэффициент, зависящий от условий обработки (характеризует размер абразивного зерна инструментальных дисков, материал детали, коэффициент трения и т.д.); p – давление по нормали к трущимся поверхностям; V – скорость относительного движения поверхностей; t – время обработки. В связи с рассмотренными стадиями обработки заготовок кубической формы можно записать: $U=U_I+U_{II}+U_{III}$, где U_I – износ поверхности кубика при вращении вокруг некоторой неподвижной точки; U_{II} – износ поверхности при проскальзывании заготовки относительно рабочей поверхности инструментальных дисков; U_{III} – износ поверхности заготовки на стадии доводки до заданного диаметра [1].

При обработке заготовок кубической формы с целью получения полноразмерной сферической поверхности малого радиуса происходит значительное изменение массы,

что является определяющим фактором интенсивности обработки на первоначальной стадии технологического процесса.

Соотношение для определения линейной скорости точек, лежащих на ребрах кубика можно записать в виде:

$$V(t) = w(t) \cdot 2a,$$

где $w(t)$ – угловая скорость заготовки; a – половина ребра кубика. Величина $w(t)$ определяется из дифференциального уравнения:

$$\frac{dw(t)}{dt} I_{отн.ребра}(t) + w(t) \frac{dI_{отн.ребра}}{dt} = \left(\vec{M}_1^t + \vec{M}_1^n\right)_z .$$

Предполагая, что основная закономерность изменения поверхности определяется кинематикой и динамикой процесса, определим линейную скорость относительного движения заготовок кубической формы на второй стадии обработки, когда заготовка совершает поступательное движение с проскальзыванием относительно поверхности инструментальных дисков.

На основании основного уравнения динамики тела переменной массы можно записать:

$$m\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F}_в + \frac{dm}{dt}\vec{V} + \vec{N},$$

где m – масса кубической заготовки; $\vec{V}$ скорость кубической заготовки с учетом проскальзывания; $\vec{F}_в$ – активная сила воздушного потока; $\vec{N}$ – сила реакции.

Так как кубик движется по неподвижной поверхности под действием активной силы $\vec{F}_в$, то в любой момент движения координаты точки контакта $M(x, y, z)$ должны удовлетворять уравнению поверхности инструментальных дисков $f(x, y, z) = 0$, где

$$f(x,y,z) = x^2 + y^2 - \frac{(z - R_u tga_u)^2}{tg^2 a_u}.$$

Здесь R_u – радиус инструментальных дисков; a_u – угол наклона образующей конической поверхности инструментальных дисков; $0 \le z \le H_{è}$, $H_{è}$ – высота инструментальных дисков.

Так как сила реакции $\vec{N}$ в любой момент движения кубика по поверхности инструментальных дисков направлена по нормали, то есть $\vec{N} \| \vec{V}$, то проекции единичного вектора нормали $\vec{V}$ на оси Ox, Oy, Oz пропорциональны соответствующим частным производным $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial z}$. Поэтому, с учетом, что

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 2x, \frac{\partial f}{\partial y} = 2y, \frac{\partial f}{\partial z} = \frac{2(z - R_u tg\,a_u)}{tg^2 a_u},$$

можно записать:

$$\frac{N_x}{2x} = \frac{N_x}{2y} = \frac{N_x}{\frac{2(z - R_u tg\,a_u)}{tg^2 a_u}} = l,$$

где l – множитель пропорциональности.

Дифференциальные уравнения движения примут вид:

$$\begin{cases} m\dfrac{dV_x}{dt} = F_x + \dfrac{dm}{dt}V_x + N_x, \\ m\dfrac{dV_y}{dt} = F_y + \dfrac{dm}{dt}V_y + N_y, \\ m\dfrac{dV_z}{dt} = F_z + \dfrac{dm}{dt}V_z + N_z, \end{cases}$$

где $\vec{F}_в\left(F_x, F_y, F_z\right)$ – активная сила воздушного потока среды под давлением с проекциями F_x, F_y, F_z; $\vec{N}_в\left(N_x, N_y, N_z\right)$ – сила реакции.

Выражая N_x, N_y, N_z из уравнения с множителем λ и добавляя уравнение связи $f(x, y, z)$=0, запишем дифференциальные уравнения движения кубика по неподвижным инструментальным дискам:

$$\begin{cases} m\dfrac{dV_x}{dt} = F_x + \dfrac{dm}{dt}V_x + l\,2x, \\ m\dfrac{dV_y}{dt} = F_y + \dfrac{dm}{dt}V_y + l\,2y, \\ m\dfrac{dV_z}{dt} = F_y + \dfrac{dm}{dt}V_z - l\,\dfrac{2(z - R_u tg a_u)}{tg^2 a_u}, \\ x^2 + y^2 - \dfrac{(z - R_u tg a_u)^2}{tg^2 a_u} = 0. \end{cases}$$

Решая систему дифференциальных уравнений, найдем скорость $V(t) = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}$ относительного движения заготовки кубической формы с учетом изменения ее массы в процессе обработки.

Таким образом, расчет износа U_{II} поверхности кубика при проскальзывании заготовки относительно рабочей поверхности инструментальных дисков наряду с определенным ранее износом U_I позволяет оценить интенсивность съема припуска с заготовки, что необходимо при автоматизации процессов изготовления микрооптики. Однако при этом следует учитывать, что давление в точках соприкосновения является переменной величиной ввиду непрерывного изменения геометрической формы заготовки в

ее преобразовании из куба в шар. Давление в точках спряжения можно определить по формуле $p(t) = \left|\mathbf{F}_{в}\right| \Big/ \iint\limits_{S(t)} dS$, где $S(t)$ – изменяющаяся площадь контакта в процессе обработки.

Полученные соотношения для $V(t)$ и $p(t)$ позволяют провести численные исследования изменения формы кубической заготовки, прогнозировать на этой основе закономерности достижения качественных и количественных показателей при изготовлении микрооптики.

Анализ дифференциальных уравнений, составляющих математическую модель получения полных сферических поверхностей из заготовок кубической формы показывает, что прогнозирование изменения формы оптических поверхностей может базироваться только на нелинейных динамических системах. Линейные модели не позволяют определить локальные погрешности на обрабатываемой поверхности, которые неизбежно появляются при неудачном сочетании кинематики исполнительных механизмов и динамики технологического оборудования. Недостатком линейной модели является невысокая степень адекватности результатов расчета и экспериментальных данных ввиду непостоянства массы обрабатываемой заготовки и существенного нелинейного характера изменения площади контактируемых поверхностей. Более того, имеющиеся на сегодняшний день мощные математические пакеты Mathematica , MathCAD, Mathlab и т.д. позволяют осуществить математическое моделирование существующих и находящихся в стадии конструкторской проработки новых технологических схем финишной обработки. Установление приемлемого соответствия таких моделей реальным физическим процессам может быть только на основе нелинейных математических моделей.

Список литературы: 1. Козерук А.С. Формообразование прецизионных поверхностей. – Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ, 1997. – 176 с.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Янкевич Н.С. ***(ИМИНМАШ НАНБ, г. Минск, Республика Беларусь)***

The method of the reliability investigation is developed for the complex mechanical systems such as internal combustion engines.

Современный этап развития производительных сил общества, повышение требований к конкурентоспособности продукции машиностроения обострили необходимость разработки новых теоретических и экспериментальных методов, применяемых при анализе надежности. По этой причине значительный интерес представляет анализ отказов, возникающих при эксплуатации сложных механических систем, с целью выявления рациональных путей их снижения. Особое внимание в упомянутых исследованиях уделяется разработке метода прогнозирования надежности их деталей как основы для анализа надежности сложной механической системы в целом.

Обычно практикуемое экспертное задание требований по надежности деталей сложных технических систем, основанное только на инженерной практике и опыте эксплуатации является не только самым простым, но и наиболее распространенным подходом [1 – 3]. Расчетные прогнозы, безусловно, необходимые, обычно имеют невысо-

кую достоверность (за исключением случаев, когда они используют обширный экспериментальный опыт). Попытки некоторых специалистов на стадии проектирования сложной машины уверенно прогнозировать расчетным путем сроки ее текущих и капитальных ремонтов, потребность в запасных частях и т.п. свидетельствуют о крайнем оптимизме и должны соответственно оцениваться [1].

В целях повышения достоверности вероятностных моделей предлагаемый расчетно-экспериментальный метод оценки надежности деталей базируется на априорной информации (обобщении статистических данных), а также результатах наблюдений, измерений над единичной ситуацией или единичным объектом. На этой основе вычислены вероятностные оценки, которые относятся к конкретной ситуации или к конкретному объекту.

Рассмотрим общую постановку задачи. Пусть завод в течение k лет выпускает деталь Д, которая состоит из n элементов $Э_1, Э_2 \dots Э_N$, т.е.

$$\{Д\} = \{ Э_1, Э_2 \dots Э_N\}. \quad (1)$$

Положим, что в результате анализа статистических данных установлено, что отказы элементов множества {Д} описываются различными законами:

$$\{Z\} = \{ Z_1, Z_2 \dots Z_k\}. \quad (2)$$

Пусть выборка по годам (ввода в эксплуатацию и эксплуатации) статистических данных по отказам детали Д и ее элементов приведена в таблице 1 ($m_{il}^{(s)}$ – количество отказов элементов детали Д, i – год эксплуатации детали, выпущенной в l-том году, s – номер элемента). Обозначим через:

$$m_t^{(s)} = \frac{\sum_{l=1}^{k} m_{tl}^{(s)}}{\sum_{l=1}^{k}\sum_{s=1}^{n} m_{tl}^{(s)}}, \qquad t = \overline{1, j}, \quad s = \overline{1, n} \quad (3)$$

$$M_t = \frac{\sum_{l=1}^{k}\sum_{s=1}^{n} m_{tl}^{(s)}}{k}, \qquad t = \overline{1, j}.$$

$m_t^{(s)}$ и M_t – среднеарифметические значения по годам эксплуатации количества отказов для s – того элемента $Э_s$ и детали Д соответственно. Согласно закону больших чисел, в сводных показателях $m_t^{(s)}$ и M_t t = 1, j, s = 1,n при достаточно больших j и n исчезает элемент случайности , с которой связаны индивидуальные характеристики элементов детали. Последовательность чисел $\{ m_t^{(s)} \}$, $\{M_t\}, t = 1, j , s = 1, n$ задают дискретные плотности функций распределения отказов элементов и самой детали Д в целом, которые с помощью известных математических методов могут быть аппроксимированы до непрерывных.

Обозначим через

$$M = \{ m^{(s)}(x)\} , s = 1,n , \quad (4)$$

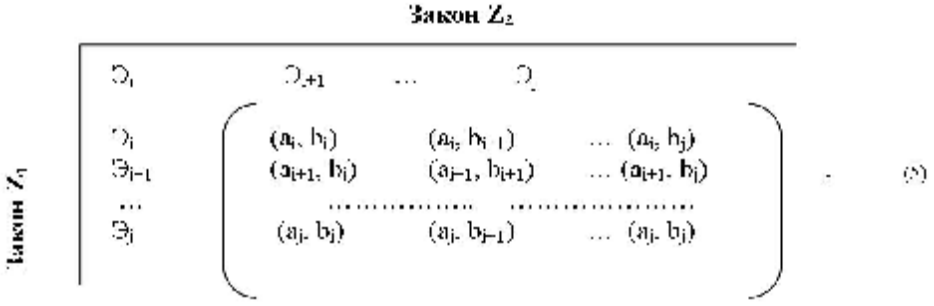
$$M = \{ M(x) \}$$

множества непрерывных приближений функций распределения отказов s – го элемента и всей детали Д в целом.

Решение проблемы можно строить с точки зрения теории игр – достаточно нового, но бурно развивающегося раздела современной математики. В отличие от теории оптимизации, изучающей возможности построения оптимального решения для всей системы в целом, теория игр изучает методы оптимизации индивидуальной полезности в соревновании с другими лицами (явлениями), которые рационально стремится к удовлетворению своей полезности. При такой постановке количество возникающих отказов элемента детали Д, определяемое действием законов Z_1 или Z_2 можно считать выигрышем в игре с ненулевой суммой. Саму же оценку выигрыша (количества отказов) можно производить как с точки теории минимакса (нижняя граница оценки – минимальный, но гарантированный выигрыш), так и с точки зрения построения равновесного решения (такая стратегия, при которой попытка любого игрока изменить свою стратегию, когда его партнер придерживается первоначального выбора, не приведет к увеличению выигрыша нарушающего стратегию игрока).

Для того, чтобы сделать изложение более наглядным, будем считать в (2) k = 2, т.е. что отказы элементов детали распределены по законам Z_1 (элементы { $Э_1$, $Э_2$ … $Э_l$}) и Z_2 (элементы { $Э_{l+1}$, $Э_{l+2}$ … $Э_n$}). При k > 2 рассуждения аналогичны постановке задаче о игре k лиц с ненулевой суммой.

Постановка задачи может быть рассмотрена и для произвольного числа действующих законов аналогично. При этих предположениях платежная матрица принимает вид (5), где a_i, b_j , i, j = 1 … N - количества отказов соответствующего элемента детали, вызванных соответственно действием физических закономерностей, описываемых Z_1 и Z_2. Анализ приведенной платежной матрицы выполняется на основе известных методов.



Очевидно, что при такой постановке точка (A, B) равновесия определяется как

$$A = \max \{a_i\}$$

$$B = \max \{b_i\} \qquad (6)$$

i

Обеспеченный уровень и максиминные стратегии могут быть определены в неведении действий другого игрока. Однако при таком построении платежной матрицы, очевидно, результаты применения максиминной теории совпадают с точкой равновесия.

Остается открытым вопрос, в каком смысле выигрыш и соответствующие ему стратегии являются лучшими. Считается, что игрок обеспечивает себе максиминный, а возможно, и больший выигрыш, используя в игре стратегию равновесия.

После определения стратегии равновесия и, таким образом, максимального гарантированного выигрыша (количества отказов, определяемых действием того или иного закона) можно сделать вывод о наиболее значимых для данной конструкции причинах отказов и, следовательно, наиболее эффективном направлении поиска новых решений.

С учетом вышеприведенных ограничений платежная матрица для детали Д будет иметь следующую структуру:

$$\begin{array}{c} \\ \text{Закон } Z_1 \end{array} \begin{array}{c} \text{Закон } Z_2 \\ \begin{array}{cccc} Э_1 & Э_2 & \dots & Э_l \end{array} \\ \begin{array}{c} Э_{l+1} \\ Э_{l+2} \\ \dots \\ Э_k \end{array} \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & \dots & D_{1n} \\ D_{21} & D_{22} & \dots & D_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{n1} & D_{n2} & \dots & D_{nn} \end{pmatrix} \end{array} , \qquad (7)$$

где D_{st} - расчетно-экспериментальные коэффициенты для элемента $Э_s$ детали Д, s, t = 1, n, равные допускаемой заводом-производителем вероятности отказа элемента $Э_s$ при условии отказа элемента $Э_t$. При этом следует отметить, что с точки зрения математической постановки задачи случай отсутствия отказа соответствующих элементов детали Д не вызывает затруднений: необходимо положить соответствующий элемент платежной матрицы D равным нулю.

Очевидно, что в качестве стратегий поведения детали Д необходимо выбрать векторы-столбцы $T_{1(2)}$, элементами которых являются вероятности отказа s – го элемента серийной (или перспективной) детали в k – й год эксплуатации при накоплении повреждений в соответствии с законами Z_1 и Z_2, т.е.

$$T_1^{(k)} = \left(T_1^{(1)}, T_2^{(1)}, \dots T_n^{(1)} \right)^T$$

$$T_2 = \left(T_1^{(2)}, T_2^{(2)}, \dots T_n^{(2)} \right)^T, \qquad (8)$$

$$T_i^{(s)} = P(S_s) = \frac{m^{(s)}(j)}{M(j)}, \quad s = \overline{1, n}, \; j = \overline{1, k}, \; 1 = \overline{1, 2}.$$

верхний индекс T обозначает транспонирование, S_s – событие отказа элемента $Э_s$ детали Д, T_1 и T_2 распределены соответственно по закону Z_1 и Z_2. Обозначим через T_1 (x) и T_2 (x) - непрерывные функции, аппроксимирующие T_1 и T_2 соответственно.

Подсчитаем вероятность события S, заключающегося в накоплении повреждений детали Д в соответствии с законом Z_1:

$$\left(\overline{T_1^{(1)}}, \overline{T_2^{(1)}}, \dots T_n^{(\overline{1})} \right) \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & \dots D_{1n} \\ D_{21} & D_{22} & \dots D_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ D_{n1} & D_{n2} & \dots D_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1^{(2)} \\ T_2^{(2)} \\ \dots \\ T_n^{(2)} \end{pmatrix} - \qquad (9)$$

$$- \sum_{j=1}^{n} \left(\sum_{i=1}^{n} D_{ij} T_i^{(1)} \right) T_i^{(2)} - P_1(S).$$

Очевидно, что итоговая функция распределения отказов I детали Д с вероятностью P_1 описывается законом Z_1 и с вероятностью $P_2 = 1 - P_1$ – законом Z_2.

Очевидно,

$$M(I) = P_1 * Z_1 + (1 - P_1) * Z_2, \qquad (10)$$

где M – математическое ожидание.

Интересным является также вопрос нахождения седловой точки платежной матрицы D, определяющей стратегии C_1 и C_2 для законов Z_1 и Z_2. Это означает, что в случае распределения отказов элементов детали по стратегиям C_1 и C_2 итоговая функция распределения примет наиболее взвешенный вид с точки зрения максимизации вклада каждого из действующих законов накопления повреждений. В случае, если платежная матрица не найдена в нормальной форме, седловую точку для игр с нулевой суммой выигрыша нетрудно вычислить путем несложных преобразований.

Задание показателей надежности сложной технической системы, основанное на анализе имеющейся статистической информации по уже существующим объектам, близким по показателям к существующему образцу, является в значительной степени прогнозом в направлении технического совершенствования исследуемой конструкции. Таким образом, построение платежной матрицы D позволяет сформировать модель для исследования надежности детали Д, базирующуюся на априорной информации, при внесении в нее конструктивных изменений, что позволит сделать вывод об их целесообразности на стадии проектирования.

AKTYWNA WIBROIZOLACJA KABINY SUWNICY POMOSTOWEJ

Adamczyk J., Kaliński W., Margielewicz J.*(Politechnika Śląska, Gliwice, Polska)*

The paper presents some results of simulation research of the active vibration protection system of the bridge crane cabin. The active protection system reduced displacement and velocity of cabin vibration.

Drgania mechaniczne wzbudzane podczas transportu ładunku są poważnym źródłem zagrożenia chorobami zawodowymi i wpływają na obniżenie wydajności pracy i jej bezpieczeństwo. U człowieka przebywającego w środowisku wibracyjnym powstają zaburzenia czynności wielu narządów i ośrodka nerwowego, przejawiające się m.in. zmniejszeniem sprawności wykonywania określonych prac i poczuciem zmniejszonej wydolności psychofizycznej. Drgania oddziałujące czynnie na operatora maszyny oraz biernie na ludzi znajdujących się w otoczeniu pracującej maszyny wzbudzają w organizmach ludzkich drgania organów wewnętrznych.

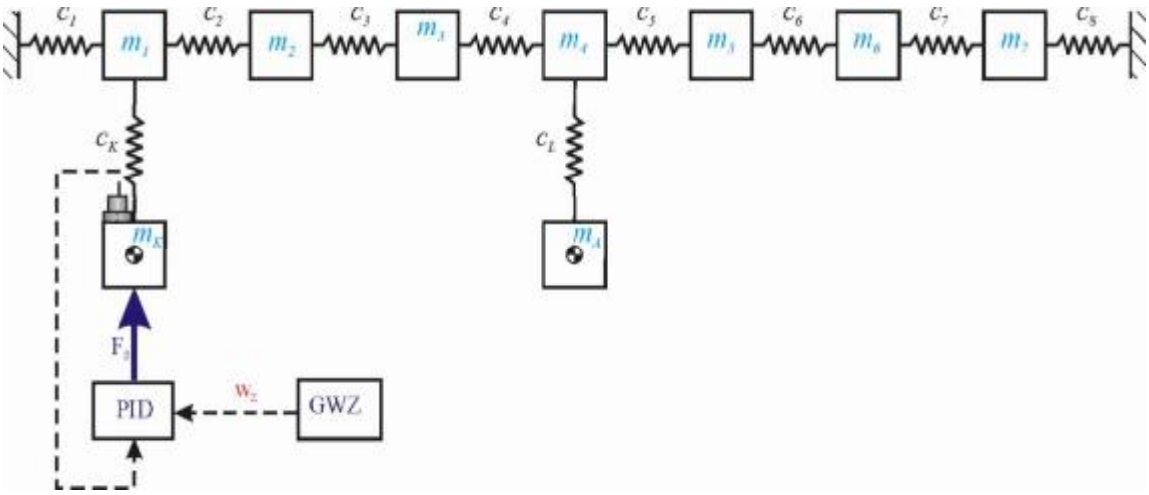
Miarą wpływu wibracji na organizm człowieka jest ilość energii przekazywanej na jego organizm. Energię tę określa się dwoma parametrami: czasem ekspozycji i przyspieszeniem drgań, skorygowanym w zależności od przedziału ich częstotliwości. Dłuższe przebywanie w zasięgu intensywnych drgań mechanicznych powoduje niekorzystne zmiany czynności kory mózgowej, która jest odpowiedzialna za czynności spostrzegania, myślenia, zapamiętywania i odbierania informacji zewnętrznych. Ponadto drgania oprócz wpływu na funkcjonowanie kory mózgowej wpływają również na gałki oczne powodując problemy z ostrym widzeniem. Obniżona zdolność widzenia przejawia się dodatkowo zawężeniem granic pola widzenia jak również szybkością reakcji. Do oceny zagrożenia drganiami mechanicznymi wykorzystuje się widma amplitudowo częstotliwościowe: prędkości, przyspieszeń drgań a nawet zrywu. Widma wielkości kinematycznych drgań mechanicznych zależą nie tylko od rodzaju i typu maszyny czy realizowanego przez nią procesu technologicznego. Uzależnione są one również od sposobu sterowania mechanizmami wykonawczymi.

Do analizy drgań mechanicznych wywołanych pracą suwnicy w aspekcie ich wpływu na operatora tworzy się modele, których właściwości mechaniczne umożliwiają uzyskać wyniki

obliczeń, odpowiadające założonemu stopniowi dokładności. Badania doświadczalne oraz modelowe układu maszyna – wibroizolacja – operator usprawniają proces projektowania systemów wibroizolujących stanowiska pracy oraz pomagają w doborze optymalnego dla danej maszyny sposobu jej sterowania.

Maszyny robocze takie jak suwnice pomostowe, bramowe, żurawie oraz maszyny budowlane i drogowe, charakteryzują się pracą przerywaną oraz zmiennymi w czasie obciążeniami. Podczas obsługi tych maszyn, operator poddawany jest drganiom mechanicznym, których wartość przyspieszenia często przekracza wartość dopuszczalną. W takich przypadkach stosuje się układy wibroizolacji kabin lub siedzisk. Ze względu na charakter pracy, układy wibroizolujące dzieli się na pasywne oraz aktywne. Pasywne układy wibroizolacji mogą jedynie rozpraszać energię lub okresowo magazynować a następnie oddawać ją. Systemy aktywnej wibroizolacji wprowadzają do urządzenia układy automatycznego sterowania, zawierają zewnętrzne źródło zasilania, które odpowiednio sterowane może dostarczać lub rozpraszać energię w określony sposób.

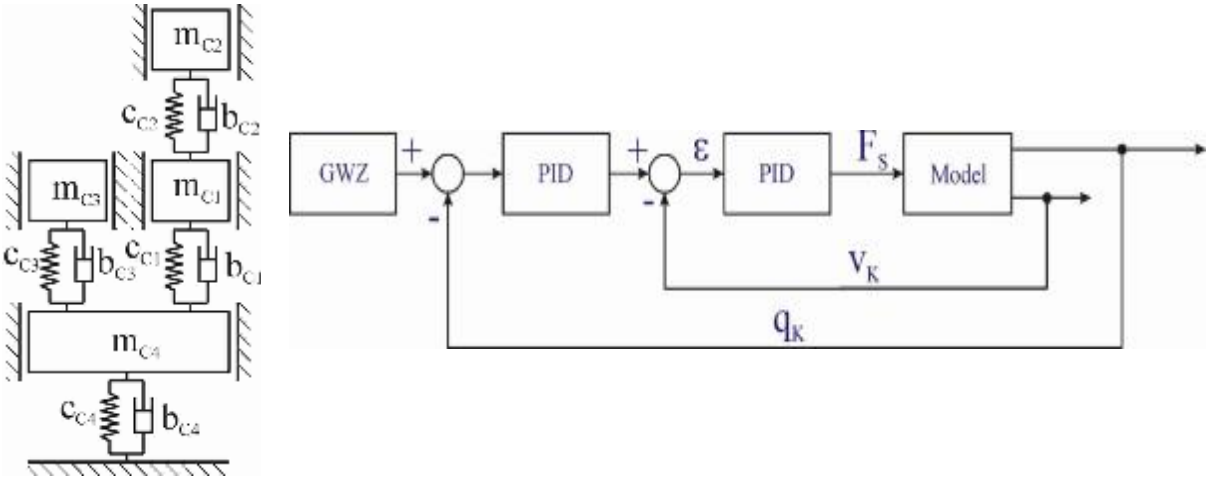
W niniejszej pracy zamieszczono wyniki badań numerycznych aktywnej wibroizolacji kabiny suwnicy pomostowej. Model fenomenologiczny suwnicy pomostowej zamieszczono na rys. 1.



Rys. 1. Model fenomenologiczny suwnicy pomostowej

Dynamiczne oddziaływania przenoszone na operatora suwnicy pochodzą od mechanizmu podnoszenia i są wywołane poderwaniem ładunku z podłoża. W celu zbadania wpływu drgań mechanicznych na organizm człowieka przyjęto jego model, który zamieszczono na rys. 2.

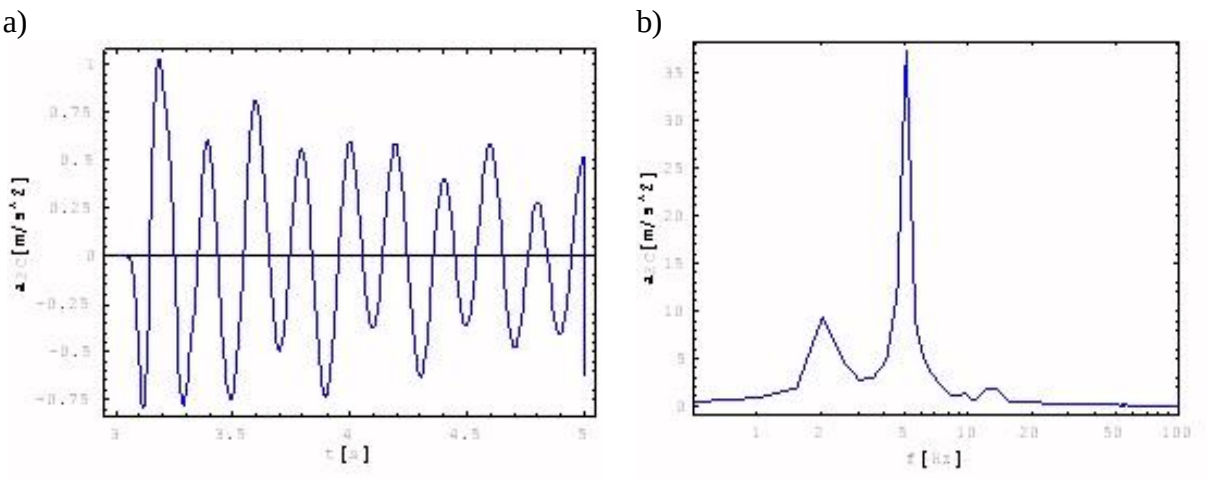
a) b)



Rys. 2. Układ wibroizolacji kabiny suwnicy pomostowej: a) model ciała operatora b) schemat blokowy układu aktywnej wibroizolacji

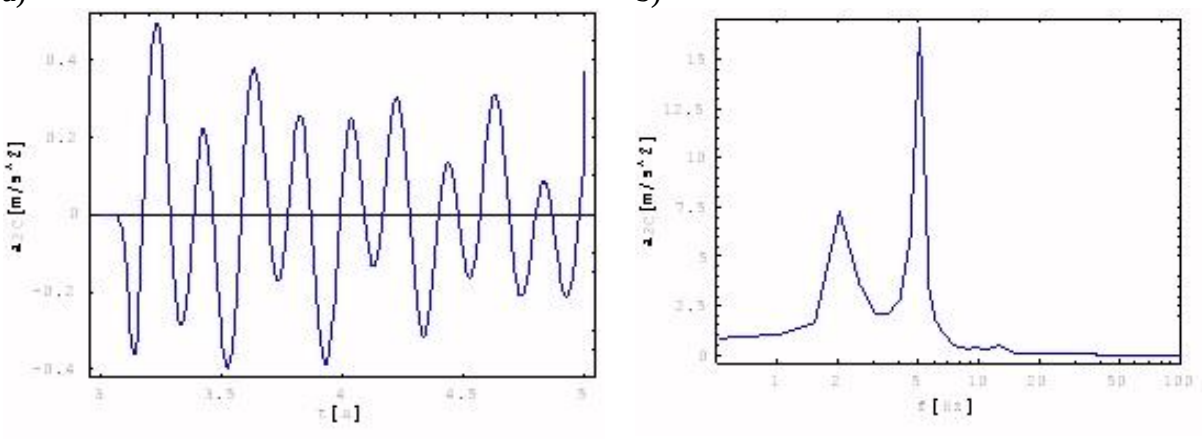
Do ograniczenia i eliminacji drgań mechanicznych przenoszonych na obsługę maszyny zastosowano układ automatycznej regulacji z dwiema pętlami sprzężenia zwrotnego. Jedno ze sprzężeń zwrotnych odpowiedzialne jest za stabilizację przemieszczenia kabiny, drugie natomiast za stabilizację prędkości drgań kabiny.

Wyniki badań numerycznych przedstawiono w postaci odpowiedzi czasowych oraz widma amplitudowo częstotliwościowych.



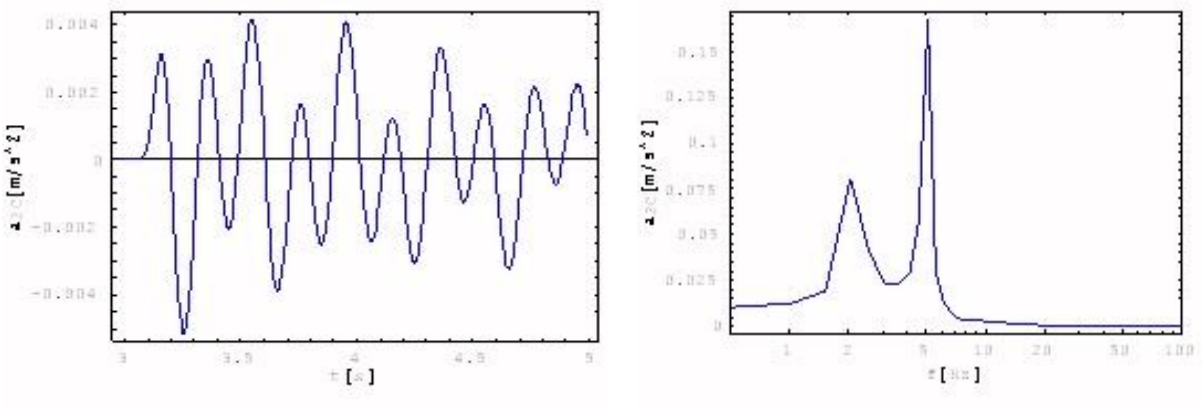
Rys. 3. Drgania głowy operatora bez układu aktywnej wibroizolacji:
a) odpowiedź czasowa przyspieszeń drgań, b) widmo amplitudowo częstotliwościowe

a) b)



Rys. 4. Drgania głowy operatora z układem stabilizującym położenie kabiny:
a) odpowiedź czasowa przyspieszeń drgań, b) widmo amplitudowo częstotliwościowe

a) b)



Rys. 5. Drgania głowy operatora z układem stabilizującym położenie oraz prędkość kabiny:
a) odpowiedź czasowa przyspieszeń drgań, b) widmo amplitudowo częstotliwościowe

Na podstawie przeprowadzonych badań numerycznych, można sformułować wnioski dotyczące oceny wpływu sterowania na jakość wibroizolacji kabiny operatora:

- istotne znaczenie na jakość wibroizolacji mają parametry nastaw układu automatycznej regulacji,
- nie jest możliwe dobranie parametrów układu automatycznej regulacji, w taki sposób by zapewnić w szerokim zakresie żądaną wibroizolację widma amplitudowo częstotliwościowego,
- dodatkowa pętla sprzężenia zwrotnego układu wibroizolacji (prędkościowa), istotnie ogranicza poziom drgań przenoszonych na organizm operatora.

Literatura: 1. Borkowski W., Konopka S., Prochowski L. Dynamika maszyn roboczych. WNT. Warszawa 1996. **2.** Margielewicz J. Mechatroniczny model suwnicy pomostowej. Maszyny Dźwigowo – Transportowe. Kwartalnik Naukowo – Techniczny Nr 1-2/2003 s. 23÷33. **3.** Nader M.: Modelowanie i symulacja oddziaływania drgań pojazdów na organizm

człowieka. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2001. **4.** Piątkiewicz A., Sobolski R. Dźwignice. Tom I i II. WNT. Warszawa 1977. **5.** Szpytko J., Schab J., Smoczek J. Badania modeli suwnic pomostowych dla potrzeb eksploatacyjnych. Kwartalnik – Transport Przemysłowy 4(10)/2002. s. 40÷44. **6.** Uciński J. (red.) Badania teoretyczne i doświadczalne możliwości zmniejszenia obciążeń dynamicznych w układach napędowych nawrotnych mechanizmów dźwignic. Prace Naukowe Centralnego Programu Badań Podstawowych 02.05. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1990. **7.** Wojnarowski J. (red.) Modele układów maszyna – operator w ograniczaniu oddziaływania drgań wzbudzanych ruchem przerywanym. ZN Katedry Mechaniki, Robotów i Maszyn. Nr 6. Gliwice 1999, 208 s.

EINFLUß VOM ANLAUF UND BREMSEN DES KATZFAHRWERK AUF DIE LADUNGSTRAJEKTORIE

Adamczyk J., Kaliński W., Margielewicz J. *(Schlesische Technische Hochschule ,Gliwice, Polen)*

The paper presents some results of a computer simulation of the bridge crane moving load trajectory. The moving load velocity is assumed to belong to specified working phases of bridge crane mechanisms.

Bei Brückenkräne außer den Arbeitsbewegung beobachtet man auch das pendeln der Ladung. Das pendeln der Ladung erregen die Ausführungswerke, welche für die Fahrt der Brücke und Katze verantwortlich sind. Das kann auch durch die Windlast verursacht sein. Während des Transportes von der Ausgangstellung bis zu Zielstellung ist das erregte pendeln die Ursache für die verlängerten Umladenzeiten und verringert die Genauigkeit der Positionierung. Kann auch eine Gefahr für die Arbeitssicherheit sein. Aus diesem Grunde ist das pendeln der Ladung eine ungewünschte Erscheinung. Man zeichnet drei Arten von Ladungspendeln aus:

- grundlegendes, hervorgerufen durch die Änderung des Ausschlagswinkels vom Tragseil, verursacht durch die Veränderliche Lage des Aufhängepunktes vom Seil,
- sekundär, hervorgerufen durch das pendeln der Ladung an der Flasche
- Drillartige, hervorgerufen durch die Umdrehung in der Hochachse die durch den Aufhängepunkt geht.

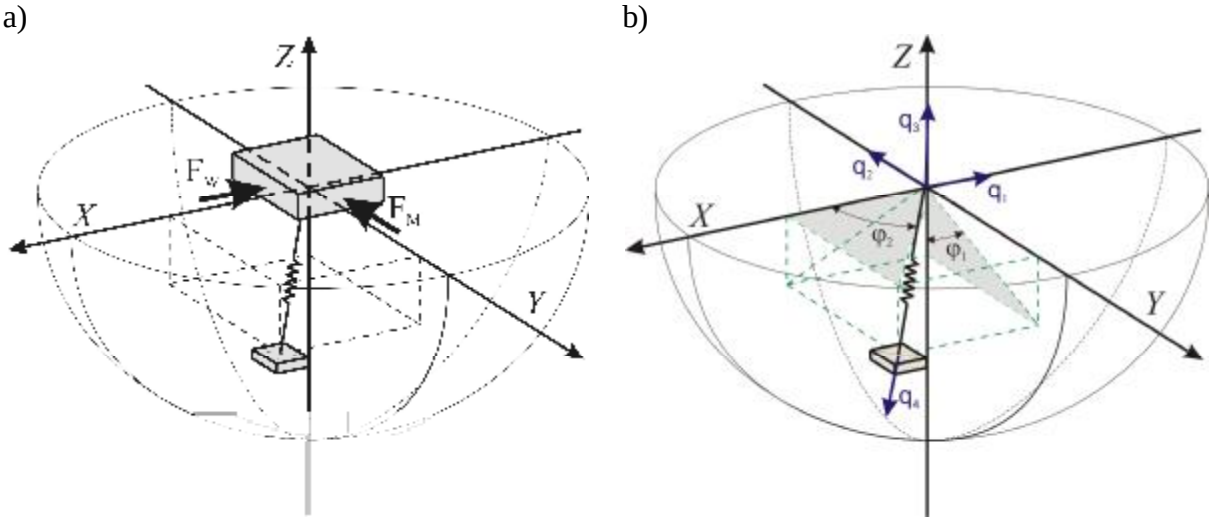
Um eine numerische Forschung des Ladungsausschlages aus dem Lot und ein Kompensationssystem für den Ausschlageinfluss bearbeiten, kann man mit ausreichender Genauigkeit ein Modell nutzen, wo die transportierte Ladung als Anhäufungsmasse modelliert ist. Die Eliminierung und Einschränkung des Ladungsausschlages, hervorgerufen mit dem Kranbetrieb, sowie auch seine Stabilisierung läst sich zurückführen auf die optimale Steuerung der Ausführungswerke. Die Steuerung hat die Aufgabe so die Anlauf- und Bremskennlinien gestalten, dass nach dem ende der Bewegung die Ausschlagamplitude am kleinsten ist.

Die grundlegende Frage während der wirklichen Modellierung der dynamischen Anordnung ist die Formulierung des mathematischen Modells. Während der Formulierung des phänomenologischen Modells soll man in Betracht Ziehen, dass das entstandene Modell weiterer Analyse unterzogen sein soll, und die durchgeführte Analyse soll Ergebnisse geben, welche näher den Bemessungen auf einem wirklichen Objekt sind.

Bei der Formulierung des phänomenologischen Modells der Anordnung, kann man auf bestimmte Schwierigkeiten anstoßen. Übermäßig kompliziert, gibt Ergebnisse die mit

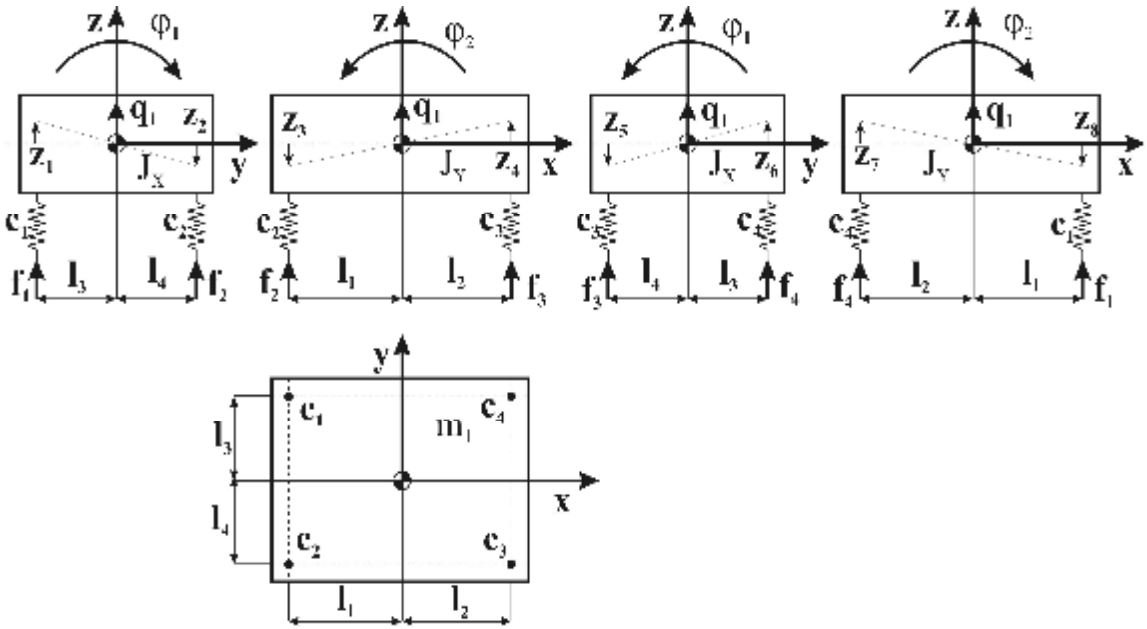
größeren Rechnungsfehler belastet sind, außer dem steigert die Zeit der numerischen Berechnungen. Große Anzahl von Freiheitsgraden kann der Grund für das missgestalten der Berechnungen sein.

Man strebt daher, dass das formulierte Modell so bearbeitet wird, dass es ermöglicht die Forschung von komplizierten und erwarteten Erscheinungen, die in Wirklichkeit auftreten. Das phänomenologische Modell und die verallgemeinerten Koordinaten angenommene im Modell sind vorgestellt auf Zng. 1



Zng. 1. Das phänomenologische Modell:
a) der geforschten Anordnung, b) angenommene im Modell verallgemeinerte Koordinaten

Während der Durchführung der numerischen Simulation wurde die Wagenfahrt der Lastwinde und die Brückenfahrt angenommen. Auf dieser Forschungsetappe wurde der Betrieb des Hubwerkes übergangen. Der Lastwindewagen ist modelliert als steifer Körper mit fünf Freiheitsgraden der die Versetzungsmöglichkeit länglich Achsen *x*, *y*, *z* hat, und Schwenkungsmöglichkeiten gegenüber Achsen *x* sowie *y*. Auf Zng. 2 wurde das phänomenologische Modell eines Wagens vorgestellt, welches im weiteren zu Ausführung der Gleichheiten über die Bewegung der Lastwinde dient.



Zng. 2. Phänomenologisches Modell des Lastwindewagens

Die Bindungsgleichheiten, welche die Versetzungen sämtlicher federnde Elemente beschreiben haben folgende Form:

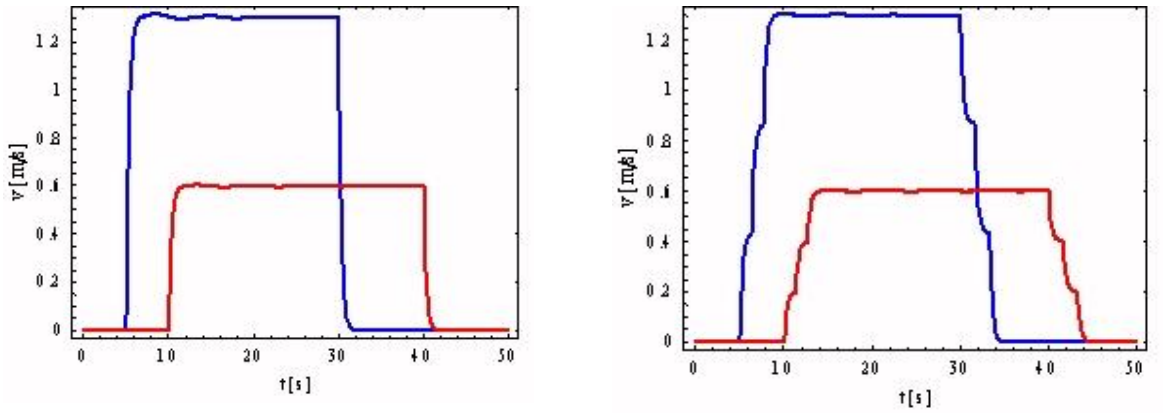
$$\begin{cases} w_1 = q_1 + z_1 - z_8 = q_1 + j_1 l_3 - j_2 l_1 \\ w_2 = q_1 - z_2 - z_3 = q_1 - j_1 l_4 - j_2 l_1 \\ w_3 = q_1 + z_4 - z_5 = q_1 + j_2 l_2 - j_1 l_4 \\ w_4 = q_1 + z_6 + z_7 = q_1 + j_1 l_3 + j_2 l_2 \end{cases}. \quad (1)$$

Die räumliche Ladungslage beschreiben folgende Gleichheiten:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} -\sin j_4 \sin j_3 (l_5 + q_4) + q_2 \\ \cos j_4 \sin j_3 (l_5 + q_4) + q_3 \\ -\cos j_3 (l_5 + q_4) + q_1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

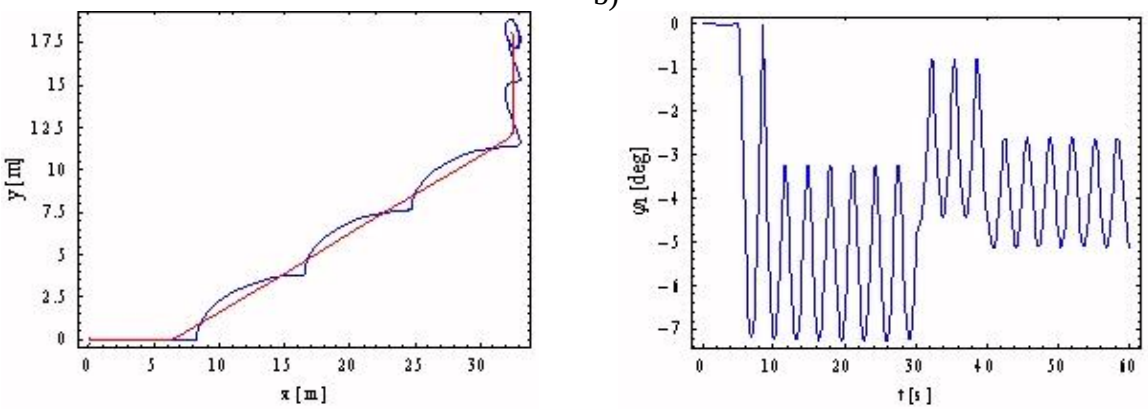
Im weiteren Teil der Bearbeitung, wurden numerische Forschungen der Ladungstrajektorie für verschiedene Geschwindigkeitsprofile durchgeführt, während des Anlaufens – und Bremsen der Brücke und der Lastwinde des Brückenkrans(Zng. 3).

a) b)



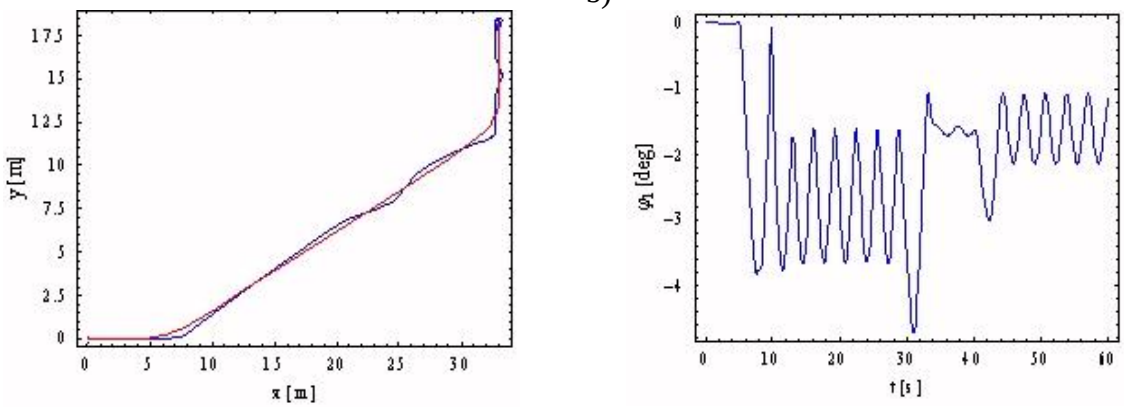
Zng. 3. Fahrtgeschwindigkeit der Brücke und Lastwindewagen:
a) ohne Zwischengeschwindigkeiten, b) mit Zwischengeschwindigkeiten

a) b)



Zng. 4. Ergebnisse der Computersimulation für Anlaufkennlinie ohne Zwischengeschwindigkeiten: a) Ladungstrajektorie, b) Ladungsausschlagwinkel vom Lot

a) b)



Zng. 5. Ergebnisse der Computersimulation für Anlaufkennlinie mit Zwischengeschwindigkeiten: a) Ladungstrajektorie, b) Ladungsausschlagwinkel vom Lot

Auf Grundlage der durchgeführten numerischen Forschungen, kann man feststellen, dass die kinematische Kennlinie der Brücke sowie des Wagens der Lastwinde vom Brückenkran ein wesentlichen Einfluss auf die Ladungstrajektorie hat.

Die Zwischengeschwindigkeiten in der Anlauf- und Bremsphase der Brücke und des Lastwindewagens beschränken den Ladungsanschlagswinkel vom Lot. Außer dem beobachtet

man kleinere Oszillationen in der Absatzzone. Es sollen weiterhin numerische Forschungen durchgeführt werden, welche die Forschung der Ladungstrajektorie im Ausschlagbereich beschränkt. Außer dem ist es wesentlich, bei den in der Zukunft geführten Forschungen, die Bestimmung des Einflusses der Trajektorie, auf die Werte der dynamischen Einwirkung, die auf das Fahrerhaus der Arbeitsmaschine übertragen sind.

Literatur: 1. Craig J. Wprowadzenie do robotyki. Mechanika i sterowanie. WNT. Warszawa 1995. **2.** Piątkiewicz A., Sobolski R. Dźwignice. Tom I i II. WNT. Warszawa 1977. **3.** Szpytko J., Schab J., Smoczek J. Badania modeli suwnic pomostowych dla potrzeb eksploatacyjnych. Kwartalnik – Transport Przemysłowy 4/2002, s. 40÷44. **4.** Tomczyk J., Bednarski S. Własności energetyczne żurawia portowego o napędzie elektromechanicznym i hydrostatycznym. Kwartalnik – Transport Przemysłowy 2/2000, s. 30÷34. **5.** Wojnarowski J., Żochowski L., Banaś W. Badania numeryczne mechanizmu zawieszenia układu samochodowego grafami wiązań. XVII Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Dydaktyczna Teorii Maszyn i Mechanizmów. Warszawa - Jachranka 2000, s.431÷436.

ELASTISCH-PLASTISCHES DEFORMATIONSVERHALTEN VON GRANULATEN BEI STOSS- UND DRUCKBEANSPRUCHUNGEN

Antonyuk S., Tomas J., Heinrich S., Müller P. **(*Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg, Deutschland*)**

The deformation behaviour of spherical granules during central impact and compression was studied using free fall and compression tests. The effects of material behaviour (elastic and elastic-plastic) and of impact velocity on normal coefficient of restitution are examined.

Einleitung

Ein wichtiger Parameter für die Modellierung der Partikeldynamik in Wirbelschichtgranulationsprozessen ist die Stoßzahl [1], die die Energiedissipation während des Stoßes beschreibt. Die Granulate verhalten sich beim Stoß mehr oder weniger inelastisch [2]. Die im ersten Stoßabschnitt (Kompressionsphase) zugeführte kinetische Energie ($E_{kin,1}$) dissipiert teilweise infolge von plastischer oder viskoplastischer Deformation und der Reibung der Stoßpartner (E_{diss}) (Abb. 1). Der Rest dieser Energie ($E_{kin,2}$) wird im zweiten Stoßabschnitt (Ablösephase) zurückgegeben und ist für die Trennung und den Abprall der Stoßpartner verantwortlich.

Das Verhältnis zwischen Kraftstößen der Ablösephase ($t_k \le t \le t_A$) und Kompressionsphase ($0 \le t \le t_k$) in Gl. (1) wird als Stoßzahl bezeichnet. Die Stoßzahl kann ebenfalls als Verhältnis zwischen den Relativgeschwindigkeiten der Kontaktpartner nach und vor dem Stoß in Gl. (1) bestimmt werden.

$$e = \frac{\int_{t_k}^{t_A} F dt}{\int_{0}^{t_k} F dt} = \sqrt{\frac{E_{kin,2}}{E_{kin,1}}} = \sqrt{1 - \frac{E_{diss}}{E_{kin,1}}} = \frac{v_2}{v_1} \approx \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \qquad (1)$$

Experimenteller Aufbau und Modellgranulate

Für die Ermittlung der Stoßzahl wurden Fallversuche durchgeführt (Abb. 2). Dabei wird ein Granulatkorn auf eine festliegende Platte von einer Höhe h_1 fallengelassen und die

Rückprall-

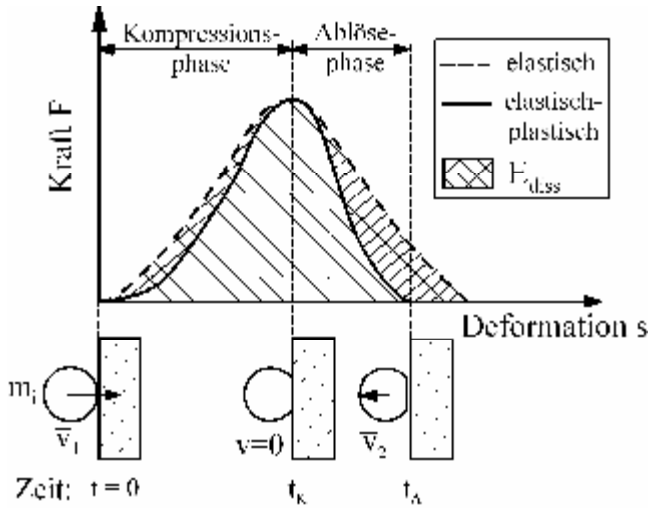


Abb. 1: Schematische Darstellung des Kraft-Zeit-Verlaufs bei elastisch-plastischem Stoß.

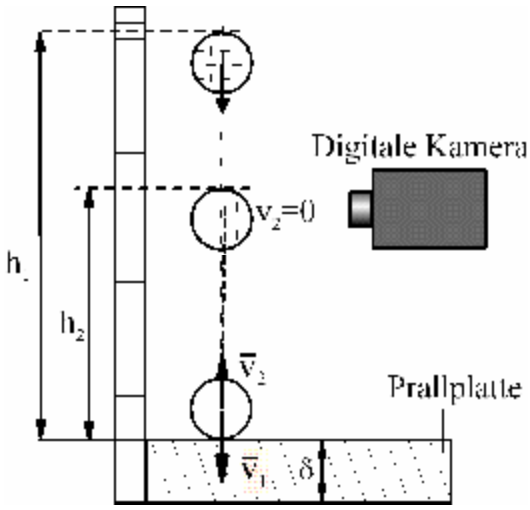


Abb. 2: Schema des Fallversuches.

höhe h_2 gemessen. Für die Ermittlung der Rückprallhöhen der fallenden Granulate wurden die Versuche mit einer Digitalkamera aufgenommen.

Die Prallplattenhöhe musste so ausgewählt werden, dass Einflüsse von reflektierten elastischen Stoßwellen auf den Rückprall ausgeschlossen werden konnten. Bei der Auswertung der Fallversuche wurden die realen Partikelgeschwindigkeiten für jede gemessene Fall- und Rückprallhöhe mit Berücksichtigung der Luftreibung berechnet und damit die Stoßzahl in Gl. (1) bestimmt. Bei Fallversuchen wurden 300 Partikeln von jedem Versuchsgranulat getestet.

Als Modellstoffe wurden drei kugelförmige Granulate: □-Al_2O_3 (d_{50} = 1,8 mm), das synthetische Zeolith 13X (d_{50} = 1,4 mm) und Natriumbenzoat (d_{50} = 1,4 mm) verwendet. Um das Verhalten der Granulate bei Druck- und Stoßbeanspruchungen zu vergleichen und den Einfluss der Anzahl der Beanspruchungen auf die Stoßzahl zu ermitteln, wurden die zyklischen Druckversuche bei einer Beanspruchungsgeschwindigkeit von 0,02 mm/s durchgeführt [3].

Experimentelle Ergebnisse

Bei den Fallversuchen wurde die Fallhöhe im Bereich von 125-1000 mm variiert. Im Diagramm (Abb. 3) sind die ermittelten Stoßzahlen bei verschiedenen Stoßgeschwindigkeiten dargestellt. Die Werte der Stoßzahlen bestätigen einen elastisch-plastischen Stoß für alle drei Granulate, wobei sich folgende Reihenfolge ergibt: γ-Al_2O_3 (e = 0,87), Zeolith (e = 0,74) und Natriumbenzoat (e = 0,6).

Die ermittelte Stoßzahl ist praktisch unabhängig von der Stoßgeschwindigkeit im untersuchten Bereich von 1,6-3,7 m/s. Dies ist nur dann möglich, wenn das Verhältnis der dissipierten Energie zur kinetischen Stoßenergie für jede Stoßgeschwindigkeit in diesem Bereich konstant bleibt [4]. Um dies zu überprüfen, wurden die Granulate beim Drucktest bis zu einem bestimmten Kraftniveau belastet und entlastet. Die Entlastungskurven von verschiedenen Kraftniveaus (F_U in Abb. 4) sind etwa parallel miteinander, d.h. das Verhältnis der Dissipationsenergie zur Belastungsenergie bleibt konstant. Aus diesen Kurven heraus wurden die äquivalenten Stoßzahlen ermittelt. Diese stellt in Analogie zur Stoßbelastung das Verhältnis der elastischen Rückdehnungsenergie zur gesamten Belastungsenergie dar:

$$e_{äq} = \sqrt{E_{el} / E_{bel}} \qquad (2)$$

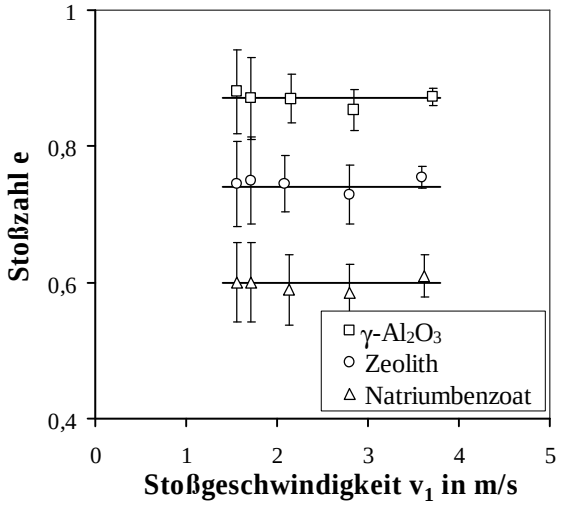


Abb. 3: Stoßzahl der Granulate in Abhängigkeit von der Stoßgeschwindigkeit.

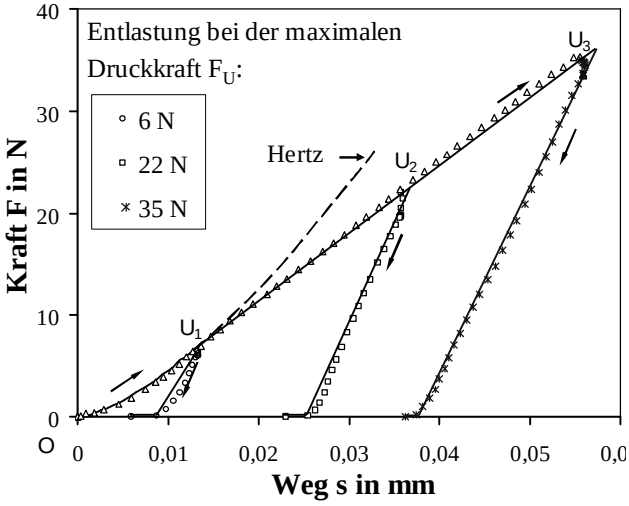


Abb. 4: Typische Belastungs-Entlastungs-Kurven von γ-Al_2O_3 beim Drucktest.

Im Vergleich zur Stoßbeanspruchung zeigen die Versuchsgranulate beim Drucktest wesentlich kleinere Stoßzahlen. Beim Drucktest von γ-Al_2O_3 beträgt die äquivalente Stoßzahl 0,57. Für Zeolith liegt sie bei 0,52, und Natriumbenzoat hat einen Wert von 0,33, dementsprechend werden die relativen Anteile der dissipierten Energie beim Stoß kleiner als beim Druck (für Zeolith und Natriumbenzoat auf 38 %), deswegen verhalten sich die Granulate beim Druck plastischer als beim Stoß.

Abb. 5 zeigt die äquivalente Stoßzahl in Abhängigkeit von der Zyklenanzahl. Bei diesem Druckversuch wird ein Granulatkorn bis zu einer konstanten Kraft (F_{zyk} = 7 N für Zeolith und F_{zyk} = 16 N für Natriumbenzoat) zyklisch belastet und entlastet. Aufgrund der Abnahme der Belastungs- und Dissipationsenergien bei der Erhöhung der Steifigkeit mit wachsender Zyklenzahl steigt die Stoßzahl der Granulate solange bis sich ein Sättigungszustand in der plastischen Verformung einstellt. Wie aus Abb. 5 folgt, erreichen die Zeolith-Granulate nach 15 Zyklen und die Natriumbenzoat-Granulate nach 25 Zyklen die Sättigung. Danach verhalten sich die Granulate wie ideale viskoelastische Körper.

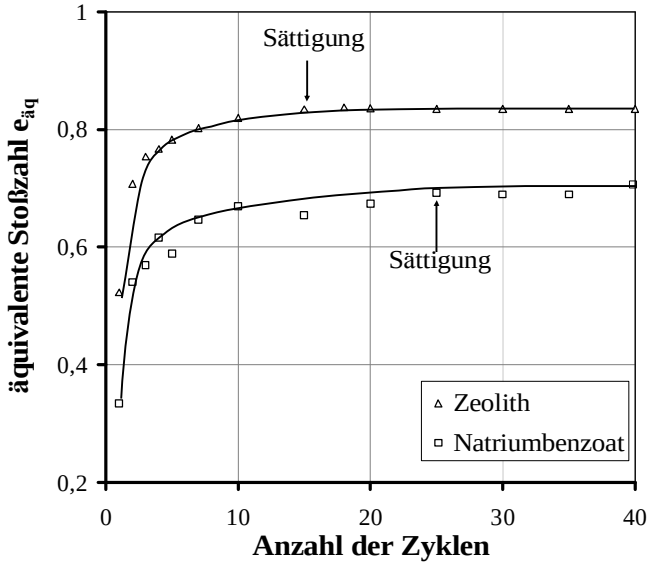


Abb. 5: Einfluss der Anzahl der Druckbelastungs-Entlastungs-Zyklen auf die äquivalente Stoßzahl der Granulate.

Das zyklische Verhalten der Granulate verändert sich mit Vergrößerung des Kraftniveaus. In einem Versuch wurde ein Zeolith-Granulatkorn zunächst fünfmal bei einem Kraftniveau von 2,2 N zyklisch beansprucht. Danach wurde die Belastungsgrenze auf eine Kraft von 5,2 N erhöht und fünf Beanspruchungszyklen an denselben Lastpunkten durchgeführt. Auf die gleiche Weise erfolgten weitere Versuche bei den Kraftniveaus 8,2 N und 11,2 N.

Bei zyklischer Belastung bis zu einem konstanten Kraftniveau nimmt die Stoßzahl mit wachsender Anzahl von Zyklen zu. Wird das zyklische Kraftniveau (im sechsten Zyklus in Abb. 6) erhöht, setzt wieder plastisches Fließen ein, was die Stoßzahl auf das Anfangsniveau des ersten Zyklus heruntersetzt. Den gleichen Einfluss zeigt die Erhöhung des zyklischen Kraftniveaus auf die Kontaktsteifigkeit.

Die ermittelten Energieanteile in Tabelle 1 zeigen, dass das Verhältnis zwischen den Entlastungs- und Belastungsenergien bzw. die äquivalente Stoßzahl in den ersten Zyklen der jeweiligen Kraftniveaus (F_U) etwa gleich ist. Dies betrifft auch die anderen Zyklen, was eindeutig Abb. 6 zeigt. Daraus lässt sich schließen, dass die äquivalente Stoßzahl der Versuchsgranulate nicht von der Größe des Kraftniveaus sondern von der Anzahl der Zyklen abhängig ist.

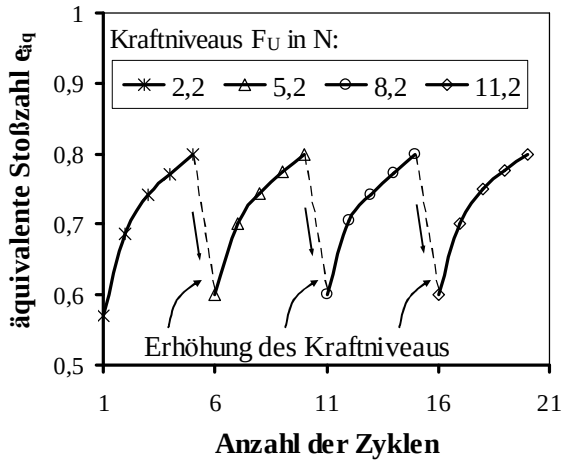


Tabelle 1: Energiebilanz der ersten Beanspruchungszyklen bei verschiedenen Kraftniveaus.

F_U in N	E_{bel} in □J	E_{bel}/m in J/kg	E_{el} in □J	$e_{äq}$
2,2	14,7	5,7	4,8	0,57
5,2	49,5	19,3	17,5	0,60
8,2	80,7	31,5	29,0	0,60
11,2	123,7	48,3	46,2	0,61

Abb. 6: Einfluss der Anzahl der Druckbeanspruchungszyklen auf die äquivalente Stoßzahl der Zeolith-Granulate (d = 1,61 mm) bei Erhöhung des Kraftniveaus.

Zusammenfassung

Bei der Druck- und Stoßbeanspruchung zeigt □-Al_2O_3-Granulat vorherrschend elastisches Deformationsverhalten, Zeolith hat sowohl elastische als auch elastisch-plastische Eigenschaften und Natriumbenzoat verformt sich dagegen nur plastisch. Durch einen Vergleich der Stoßzahl beim Stoß mit der äquivalenten Stoßzahl beim Druck wurde nachgewiesen, dass sich die untersuchten Granulate beim Stoß elastischer als beim Druck verhalten.

Die Aufprallgeschwindigkeit im Bereich von 1,6-3,7 m/s hat keinen Einfluss auf die Größe der Stoßzahl, was durch einen parallelen Verlauf der Entlastungskurven von verschiedenen Kraftniveaus bei zyklischen Druckversuchen aufklärt wurde.

Die Energiedissipation im Laufe der zyklischen Beanspruchung lässt sich mit der äquivalenten Stoßzahl beschreiben. Für beide Granulate nimmt sie mit wachsender Anzahl von Beanspruchungszyklen ab.

Die Granulate zeigen die Sättigung während der zyklischen Druckbeanspruchung. Nach Erreichen der Sättigung verhalten sich die Granulate wie ideale viskoelastische Körper, wobei die äquivalente Stoßzahl konstant ist. Die äquivalente Stoßzahl der Granulate ist nicht vom Kraftniveau sondern von der Anzahl der Zyklen abhängig.

Literatur: 1. Li, J.: Euler-Lagrange simulation of flow structure formation and evolution in dense gas-solid flows, PhD thesis, University of Twente, Enschede (Niederlande), 2003. **2.** Antonyuk, S., Tomas, J., Heinrich S. and L. Mörl: Impact breakage of spherical granules: experimental study and DEM simulation, Chem. Eng. and Process., 2006, in Press. **3.** Antonyuk, S., Tomas, J., Heinrich, S. and L. Mörl: Micro-macro breakage behaviour of elastic-plastic granulate by compression, Chem. Eng. and Technol. 28, 5 (2005), 623-629. **4.** Walton, O.R., Braun, R.L.: Viscosity, granular-temperature, and stress calculations for shearing assemblies of inelastic, frictional disks, J. Rheol. 30 (1986), 949- 980.

THE INFLUENCE OF THE INPUT PARAMETERS ON ULTRASONIC MICRODRILLING PRODUCTIVITY

Apetrei L., Coteața M., Munteanu A., Ilii S., Nastase E. (*Technical University "Gh. Asachi of Iasi, Romania*)

A systemic approach can be made to the microdrilling process as well as it can be to any system. We can take in to consideration the entrance parameters the process, the noise and the exit factors for making an interdependent system. This way, we can easily see the influence of the variation of the factors above the productivity.

Generalities. The ultrasonic machining is based on effects that are generated in the condition of vibrations with frequency and amplitude characteristic to the ultrasonic waves in the working zone existing.

The ultrasonic drilling is a technology that permits to obtain diverse, but constant, transversal sections after rectilinear or curvilinear trajectories with bar or pipe type of tools, for metal and nonmetal workpieces.

On the international level, the microultrasonic machining is a part of the research made by Joseph McGeough where is mentioned that the smallest diameter hole that can be performed by microdrilling is of about 0, 2 mm.

I have presented in this paper some entrance parameters influence on the ultrasonic microdrilling productivity.

The microdrilling input process parameters influence on productivity

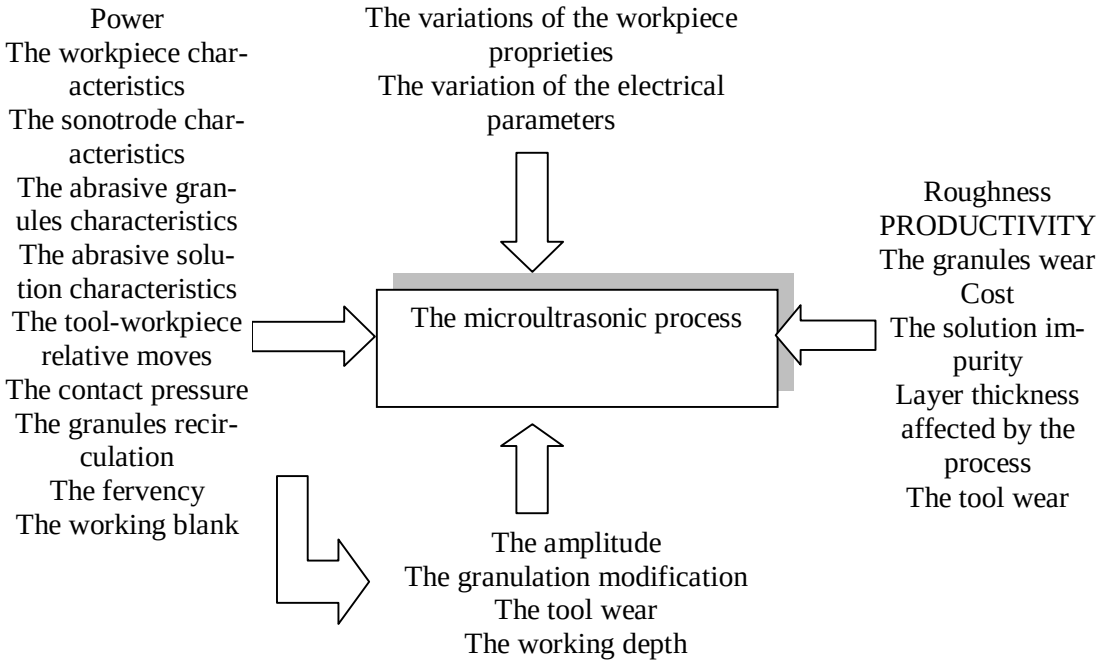


Fig.1 Correlations among the working parameters

After a long research period it came to the conclusion that there are following modalities for the material removal from the workpiece:

- the microcutting process determined by some granules that are very sharpened and in the vibratory motion, they hit the workpiece surface;
- the microcracking determined by pressure force on the abrasive granules on the workpiece;
- cavitations phenomenon lied to the microgranules removal form the workpiece .

The recirculation of the abrasive suspension can be made by splashing directly in the work zone, by the using of the upsetting modality or by to the tool or workpiece absorption.

The ultrasonic microdrilling process is one of the most utilized because holes with a diameter Φ 0,2 …Φ (60 - 80), length 20 – 30 mm, and 180 – 350 mm length, in special conditions, can be obtained.

80% from the microdrilling processes are made by the abrasive particles impregnated in the tool or existing in the work solution.

At very low working speeds, the oscillations frequency and amplitude are unregulated, but with the speed increasing, the character of these parameters becomes regular.

The introduction of the ultrasonic vibration into a liquid medium is accompanied by a mechanical energy transport. If in the liquid we introduce abrasive particles in suspension, those are getting vibrations and they are hitting the piece surface with a force of ten thousand times bigger then the granules weight, small particles of material from the piece surface are rending.

The cavitations effect is determined by the rapid variation of the liquid pressure that generates the modification of the medium distance between the liquid particles. Through implosion the shock weaves are produced with very high local temperatures and pressures.

The total effect of material breaking out from the piece surface grows with the concentration of the abrasive granules in suspension (max 30 %) and with the ultrasonic energy introduced in the liquid.

The abrasive granules material can be: boron carbide, silicon carbide, aluminum oxide and the working liquid can be: water, distilled water, water with soap, astral oil, ethyl alcohol.

The materials that can be manufactured by the ultrasonic processes are: hard steel, fragile non-metallic materials, glass, aluminum oxide, ceramic materials, composite materials, and other materials that have difficulties at the machining by traditional processes.

The machined surface quality is dependent on: the abrasive granules dimension, the surface roughness, the work liquid concentration and the tool working section.

The roughness best value is R_a=0.4 μm and the dimension precision is around 0.01 mm. The machining precision is bigger if the abrasive granules are more fine.

Table1. Results concerning the influence of the force *F*, amplitude A and the tool diameter D on the working speed V [1]

	F [daN]	***A [μm]***	***D [mm]***	***V [mm/min]***
1	0.2	21.5	0.2	0.5
2	0.3	21.5	0.2	0.7
3	0.4	21.5	0.2	0.6
4	0.6	21.5	0.2	0.4
5	0.8	21.5	0.2	0.4
6	0.2	29	0.2	1.2
7	0.4	29	0.2	1.3
8	0.6	29	0.2	1.2
9	0.7	29	0.2	1.0
10	0.8	29	0.2	0.8
11	0.2	33	0.2	1.3
12	0.3	33	0.2	1.5
13	0.4	33	0.2	1.7
14	0.6	33	0.2	1.5
15	0.8	33	0.2	1.2
16	0.3	39	0.2	2.2
17	0.4	39	0.2	2.7
18	0.5	39	0.2	2.8
19	0.6	39	0.2	2.5
20	0.7	39	0.2	2.2
21	0.3	46	0.2	2.4
22	0.4	46	0.2	3.0
23	0.5	46	0.2	3.3
24	0.6	46	0.2	3.5
25	0.7	46	0.2	3.3
26	0.2	27.5	0.4	1.0
27	0.3	27.5	0.4	1.3
28	0.4	27.5	0.4	1.5
29	0.6	27.5	0.4	1.3
30	0.8	27.5	0.4	0.9
31	0.2	36.5	0.4	1.5
32	0.4	36.5	0.4	2.1
33	0.5	36.5	0.4	2.3
34	0.7	36.5	0.4	2.0

35	0.8	36.5	0.4	1.6
36	0.2	42	0.4	1.7
37	0.3	42	0.4	2.0
38	0.4	42	0.4	2.3
39	0.6	42	0.4	2.9
40	0.8	42	0.4	2.2

By the using of mathematical program [2], for the data included in the table, we established the following relation for the machining speed:

$$V = -1.713461 + 6.358983 \cdot F - 6.249513 \cdot F^2 + 5.364811 \cdot 10^{-2} \cdot A + 6.000255 \cdot 10^{-4} \cdot A^2 - 3.524829 \cdot D + 5.717213 \cdot D^2$$

and the Gauss sum is:

$$S = 5.872621 \cdot 10^{-2}$$

The workpiece material is glass and the working medium is represented by the boron carbide in water.

Table 2 The ultrasonic micromachining productivity [mm^3/min]

The workpiece material	Abraziv material	Productivity
Boron carbide	Diamond	0,1….5
Aluminum oxide	Boron carbide	5…..25
Ceramic	Boron carbide	19
Quartz	Boron carbide	14
Synthetical ruby	Silicon carbide	7
Glass	Silicon carbide	32

The microultrasonic processes advantages

The main microultrasonic processes advantages are the following:

- high dimensional precision and a small surface roughness;
- good working speed comparing to the conventional processes;
- absence of the intern stresses and local warming accumulation in workpiece;
- the tools manufacture with ultrasonic processes increase the tool durability 2 or 3 times.

Examples of ultrasonic microdrilling with good productivity could be:

- material – monocrystal silicon, which is very hard, working time - t = 12..15 minutes, working speed - v = 2 mm/min;
- material - zirconium oxide, Φ = 2…22 mm, t = 12…15 minutes, deepness – h = 25 mm;
- material – glass rings, thickness – g = 0,12 mm, Φ_e = 6 mm, Φ_i = 2,5 mm, the productivity – P = 0,2 seconds/piece [1].

Conclusions.

When the frequency and the amplitude grow, the working speed grows too. The amplitude value A has to be correlated with the equivalent medium diameter d_a of the abrasive particles. After the experiments we proved that the working speed is maximum for $2A/d_a$ = [0,6 ..0,8]; when $2A$ = 20 …100 µm and d_a = 12 …50 mm.

The abrasive influences the productivity through: granulation, the granules material and the working solution concentration. If the granulation and the particle dimension grows the productivity will increase (at granulation 12 and 125 – 150µm dimension the productivity coefficient is very good). The best experimental results that were obtained till now used as abrasive the artifi-

cial corundum, silicon carbide or diamond. As working liquid it is used the water or the soap solution because it was demonstrated that the viscosity opposing to the abrasive entrance decrease the abrasive solution circulation and the productivity. The optimum solution, in this case is that the abrasive replace speed to be equal with the abrasive destruction speed. Now it's recommended to be used the abrasive suspension under pressure introduction method, with the 1..3 daN/cm^2 heading pressure.

The pressure force has a very important role in the abrasive particles impact forces transmission, influencing the suspension circulation.

The physic and mechanical proprieties of the workpiece and tool, fragility, microhardness, structure and elastic proprieties, have very big influence above the ultrasonic microdrilling productivity.

As ultrasonic micromachining approaches is mature stage the industry is challenged to provide more productivity and accuracy.

References: 1. Paicu G. , Utilizări ale energiei electrice : Tehnologii electrice speciale, Casa de Editură Venus, Iasi 2006. 2. Marinescu N.I et. al. Tratat de tehnologii neconventionale. Volumul VIII. Bucuresti Editura Bren 2004. 3. *** Ultrasonic machining resource center. Available at: www.ultrasonicmachining.com, accessed at 12-04-2005.

ABSCHÄTZUNG DER DÄMPFUNGSEIGENSCHAFTEN SOWIE RESONANZZONEN DES MANIPULATORS

Banaś W., Koprowski T., Margielewicz J. *(Schlesische Technische Hochschule, Gliwice, Polen)*

The constructions of robots is a lot of more complicated than different machine engines and devices. The testings of newly designed constructions is and already existing is necessary. The development of industry causes that manipulator's quality increased larger, in field of precisions and precision their kelter. The papers including opinions of quality of power units manipulators have the large meaning.

Die Manipulatoren und Roboter sind Vorrichtungen die analogische Funktionen realisieren, welche im Arbeitsverfahren die oberen Extremitäten des Menschen erfüllen. Die Baubedingungen der Manipulatoren und Roboter sind viel mehr kompliziert, besonders Manipulatoren die in der Medizin Anwendung finden, als andere Maschinen und Vorrichtungen. Aus diesem Grunde unumgänglich ist die Führung von Versuchsprüfung der neuprojektierten und bereits vorhandenen Konstruktionen. Zusammen mit der Entwicklung der modernen Industrie, wachsen die Forderungen die den Manipulatoren gestellt werden im bereich der Genauigkeit und Präzision der Funktionierung. Deshalb von großer Bedeutung sind Bearbeitungen, welche die Abschätzung der Qualität von Ausführungsmechanismen der Manipulatoren ermöglichen, um die Auswahl der besten Konstruktion und auch die Eigenschaften zu bestimmen, welche die Brauchbarkeit des Manipulators für die Ausführung des vorgeplanten Arbeitsverfahren zu bezwecken. Über die Brauchbarkeit des Manipulators als Vorrichtung welche die Menschenarbeit ersetzen soll, entscheiden u.a. folgende Kriterien:

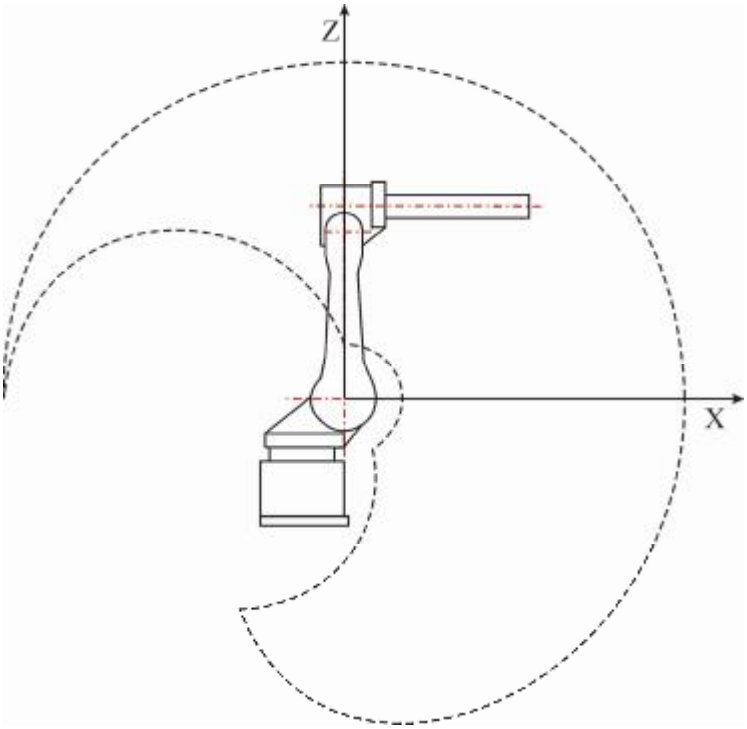
- Freiheitsgradzahl der kinematischen Kette,
- Größe des Arbeitsraumes,
- Ausführungsgeschwindigkeit der Arbeitsbewegungen,
- Max. Gewicht vom manipulierten Gegenstand,

- Genauigkeit der Positionierung,
- Wiedergabepräzision der aufgegebenen Trajektorie,
- Nachgiebigkeit der kinematischen Kette auf Erregung von mechanischen Schwingungen.

Während der Prüfung von Industriemanipulatoren sind dynamische und statische Methoden angewendet. Während der statischen Prüfung bestimmt man den Arbeitsraum, geprüft ist die statische Durchbiegung der Arme des Manipulators beim Einfluss vom Eigengewicht und angelegten Außenkräfte. Die typische Verbindungsstruktur der kinematischen Kette eines Manipulators ist empfindlich auf Erregung von mechanischen Schwingungen, besonders die Greifer, oder Fachwerkzeuge die sich am Ende der Kette befinden. Bei den Industriemanipulatoren kann man mechanische Schwingungen beobachten, wo die Erregungsquelle selbsttätig ist d.i. die Schwingungen sind vor allem durch den Anlauf und das abbremsen der Armen aufgerufen. Die erzwungene Schwingungen entstehen durch die Einwirkung der Außenkräfte und entstehen als Ergebnis einer Kollision mit anderen Vorrichtungen, oder entstehen während der Realisierung des Arbeitsverfahrens. Der Ziel für Durchführung der dynamischen Vermessung der Industriemanipulatoren ist die Bestimmung folgender Parameter :

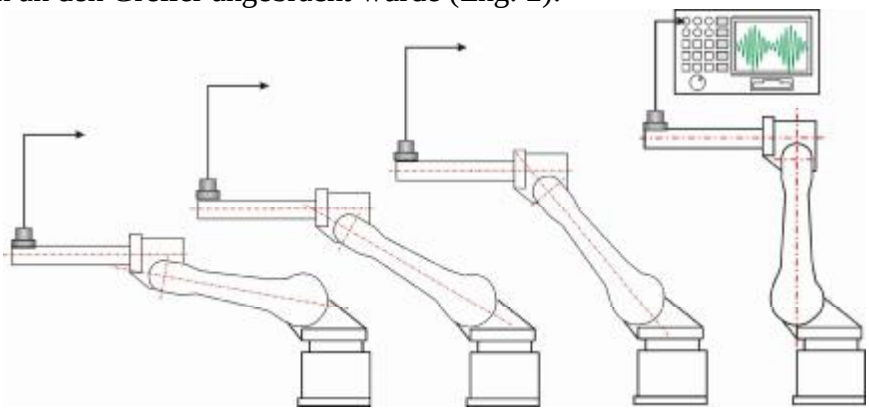
- dynamische Steifigkeit der kinematischen Kette,
- Dämpfungsgröße der mechanischen Schwingungen,
- Bezeichnung der Resonanzzonen.

Die Parameter haben wesentlichen Einfluss auf die Dauerzeit des Arbeitszyklus, Genauigkeit der Positionierung, sowie die Genauigkeit der Wiedergabepräzision von aufgegebenen Trajektorie. Die Ergebnisse der Forschungen und Abmessungen sind auch eine wertvolle Informationsquelle, während der Durchführung von Projektions-Konstruktiven und Einführungs-Technologischen Arbeiten. Außerdem ermöglichen das genaue Kenntnis der Eigenschaften und die dynamischen und statischen Kennlinien des Manipulators selbst. In dieser Bearbeitung wurden Ergebnisse von Versuchsprüfung des Manipulators Fanuc ARC Mate 100iB unterbracht (Zng. 1), aufgrund welchen die Resonanzzonen des Manipulators in gewählten Konfigurationen bestimmt wurden. Die Versuchsprüfung wurde mit Hilfe von einem Digitalanalysator HP 3556 durchgeführt.



Zng. 1. Arbeitsraum vom Manipulator Fanuc ARC Mate 100iB

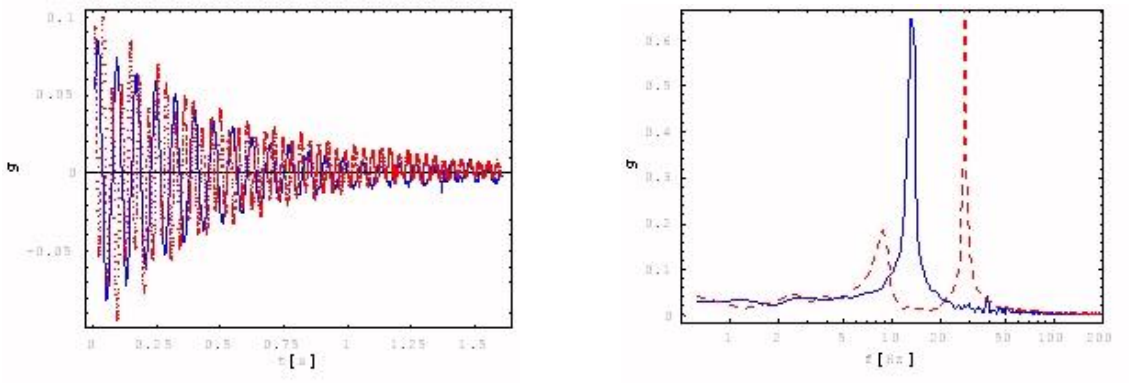
Die Beschleunigung der mechanischen Schwingungen wurden in zwei Achsen bemessen: in der Hochachse sowie in der Parallelachse zu Drehachse des Manipulators Arm. Der Manipulator wurde mit einer Impulserzwingung angeregt, die in verschiedenen Konfiguration an den Greifer angebracht wurde (Zng. 2).



Zng. 2. Konfigurationslagen für Bemessung der Beschleunigung

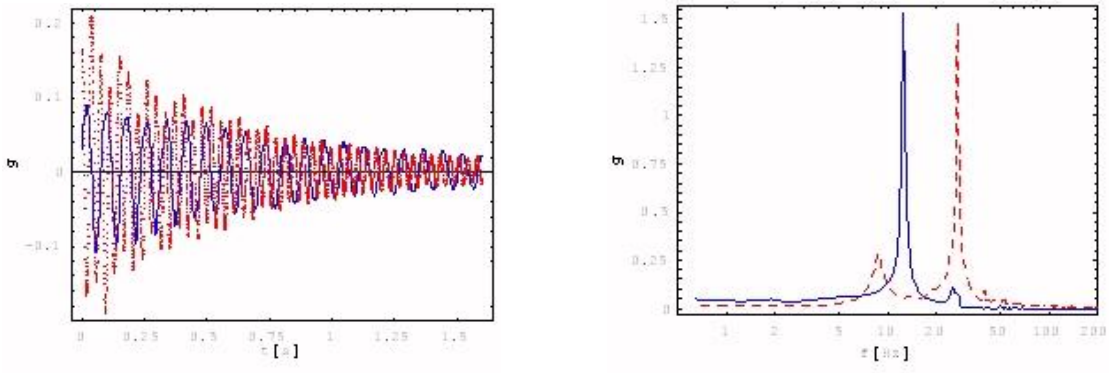
Die Ergebnisse der Probenbemessung von Beschleunigung der Greiferschwingungen für ausgewählte Konfiguration des Manipulators, wurden im weiteren Teil der Bearbeitung unterbracht. Für die registrierten Bemessungen wurden die Amplituden-Frequenzspektrums bestimmt, auf Basis welcher die Abschätzung der Resonanzzonen möglich ist.. Mit Vollinie wurden auf den Diagrammen die Schwingungen in Richtung Achse z bezeichnet, dagegen mit Strichlinie die Greiferschwingungen in Richtung Achse y.

a) b)



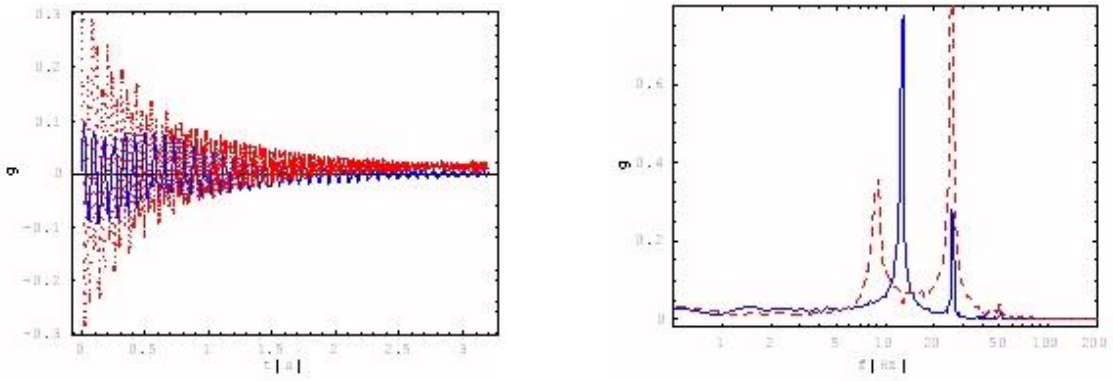
Zng .3. Konfiguration des Manipulators: $\varphi_1 = 80°$, $\varphi_2 = 0.6°$:
a) Beschleunigung des Greiferschwingung, b) Amplituden-Frequenzspektrum

a) b)



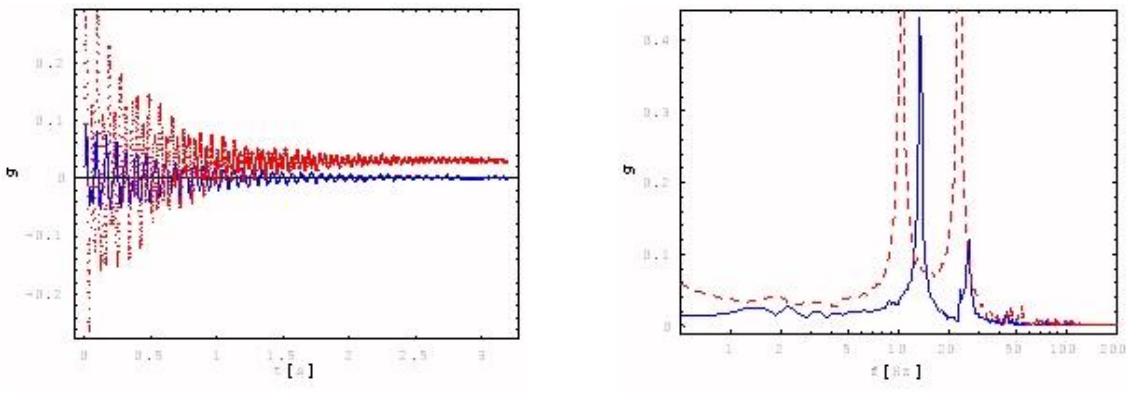
Zng. 3. Konfiguration des Manipulators: $\varphi_1 = 60°$, $\varphi_2 = 0.6°$:
a) Beschleunigung des Greiferschwingung, b) Amplituden-Frequenzspektrum

a) b)



Zng. 3. Konfiguration des Manipulators: $\varphi_1 = 40°$, $\varphi_2 = 0.6°$:
a) Beschleunigung des Greiferschwingung, b) Amplituden-Frequenzspektrum

a) b)



Zng. 3. Konfiguration des Manipulators: φ_1 = 0,3°, φ_2 = 0.6°:
a) Beschleunigung des Greiferschwingung, b) Amplituden-Frequenzspektrum

Auf Basis der Probeforschung kann man folgende Schlüsse ziehen:

- Die Resonanzzonen für die geforschten Konfigurationen ändern sich nicht. Hinsichtlich der Achse mit der vorherrschender Komponente beträgt sie ca. 13 [Hz], dagegen für die Konfiguration φ_1 =0.3°, φ_2 =0.6° beobachtet man die zweite Komponente von einer Frequenz ca. 25 [Hz]. Im Falle der Schwingungen hinsichtlich Achse y, beachtet man zwei Komponenten des Frequenzspektrums im Wert von ca. 10[Hz] und 22[Hz], wobei das Wert der ersten Komponente wächst zusammen mit der Änderung der Konfiguration des Manipulators,
- Auf Grundlage des Zeitablaufes wurde das Wert vom logarithmischen Dämpfungsdekrement abgeschätzt, wobei sich da Wert im Bereich 0.1÷0.15 befindet.

Weiterhin sollten Forschungsproben durchgeführt werden, um die Identifikation der physikalischen Parameter vom Manipulator Fanuc zu bezwecken.

Literatur: 1. Craig J. Wprowadzenie do robotyki. Mechanika i sterowanie. WNT. Warszawa 1995. 2. Grcechca W., Kałuski J. Wybrane zagadnienia badań i pomiarów robotów przemysłowych. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1815. Gliwice 1994. **3.** Morecki A., Knapczyk J. Podstawy robotyki, Teoria i elementy manipulatorów i robotów. WNT. Warszawa 1993. **4.** Wojnarowski J., Nowak A. Mechanika manipulatorów-robotów w opisie motorów. Skrypt Politechniki. Śląskiej nr 1686. Gliwice 1992.

BADANIA NUMERYCZNE MECHANIZMU PODNOSZENIA SUWNICY POMOSTOWEJ

Banaś W., Koprowski T., Margielewicz J.*(Politechnika Śląska, Gliwice, Polska)*

The power unit to transportation of cargo in workspace of crane was used. The bridge crane consist three driving systems, they let respective the working speed of mechanisms: driving gear, traversing gear and lifting gear. Particular power units have differential mechanical proprieties because the different kinematic systems and different characteristics of loads. Mathematical modelling of bridge crane and its power units makes possible to design optimal machine systems.The influence of dynamic load in this paper was investigated in lifting time.

Transportowanie ładunku w przestrzeni roboczej suwnicy realizowane jest przy użyciu mechanizmów wykonawczych. Suwnice pomostowe posiadają trzy układy napędowe,

mające za zadanie zapewnienie odpowiednich prędkości roboczych mechanizmów: jazdy mostu, wciągarki oraz podnoszenia. Właściwości mechaniczne poszczególnych mechanizmów wykonawczych są zróżnicowane, co jest spowodowane odmiennością rozwiązań kinematycznych jak również różnych przebiegów obciążeń.

Obciążenia działające na mechanizmy wykonawcze wywołane są przez:

- siły wzbudzane podczas podnoszenia lub opuszczania ładunku,
- siły powstające podczas nieustalonego ruchu układu,
- siły dynamiczne powstające na skutek ruchu drgającego.

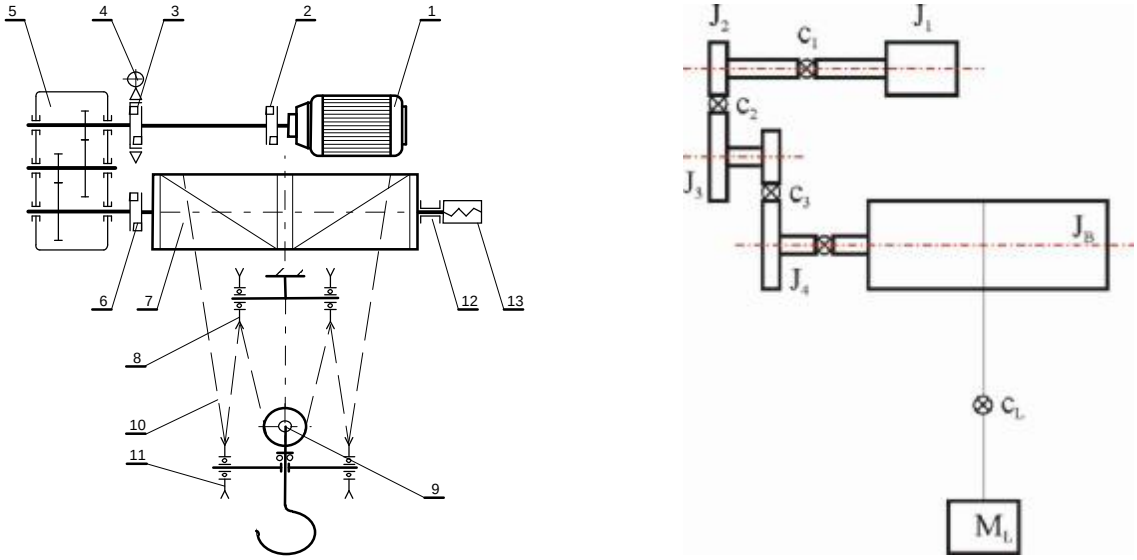
Siły wzbudzane podnoszeniem lub opuszczaniem ładunku bezpośrednio oddziaływają na mechanizm podnoszenia, pośrednio natomiast poprzez zwiększenie oporów toczenia wpływają na dynamikę mechanizmów jazdy mostu oraz wciągarki. W celu optymalnego zaprojektowania maszyny roboczej, należy dysponować wiedzą odnośnie maksymalnych jak również statystycznie najczęściej wzbudzanych obciążeń, wywołanych normalną pracą, zgodną z przeznaczeniem użytkowania suwnicy.

Teoretyczne określenie obciążeń dynamicznych wywołanych pracą mechanizmów wykonawczych, przeprowadza się przy użyciu równań ruchu, które wyprowadza się dla charakterystycznych okresów cyklu pracy suwnicy. Największe wartości obciążeń dynamicznych wzbudzane są podczas rozruchu oraz hamowania układu napędowego. Proces projektowy suwnicy pomostowej, której charakterystyczną cechą jest duża nośność, obejmuje również badania doświadczalne na obiekcie prototypowym.

Konstruktor, może również posłużyć się we wstępnych analizach modelami wirtualnymi, które nie są tak precyzyjne jak badania obiektu rzeczywistego, za to wielokrotnie tańsze do przeprowadzenia z ekonomicznego punktu widzenia. Modelowanie matematyczne suwnicy pomostowej oraz jej mechanizmów wykonawczych umożliwia optymalne zaprojektowanie zespołu maszynowego ze względu na geometrię, wytrzymałość czy trwałość.

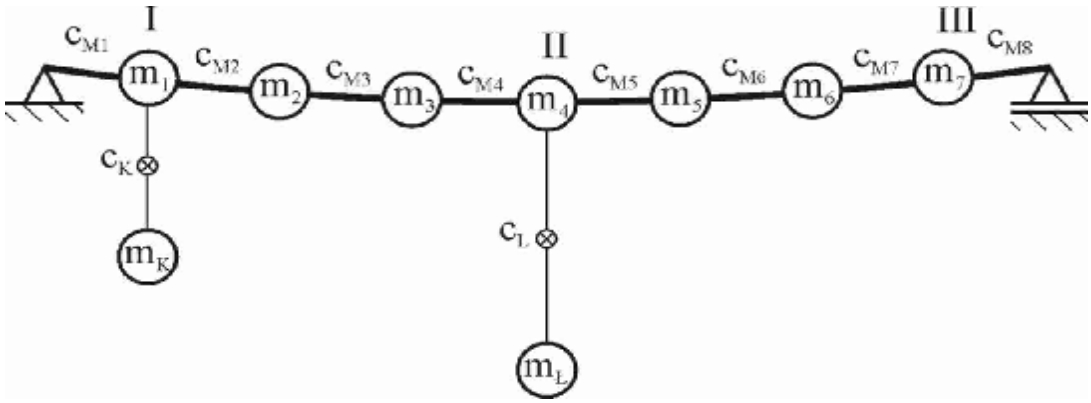
Celem niniejszej pracy jest zbadanie wpływu wzbudzanych obciążeń dynamicznych wywołanych pracą mechanizmu podnoszenia. Na podstawie dokumentacji technicznej sformułowano model fenomenologiczny mechanizmu podnoszenia, który zamieszczono na rys. 1.

a) b)



Rys. 1. Mechanizm podnoszenia: a) Schemat mechanizmu podnoszenia: 1. Silnik, 2. Sprzęgło zębate jednostronne, 3. Sprzęgło zębate hamulcowe, 4. Hamulec szczękowy, 5. Przekładnia zębata, 6. Sprzęgło zębate przybębnowe, 7. Zespół bębna linowego, 8. Zblocze górne dwukrążkowe, 9. Krążek wyrównawczy, 10. Lina, 11. Zblocze dolne trzykrążkowe, 12. Łożysko podporowe, 13. Wyłącznik krańcowy wrzecionowy. b) Zredukowany model fenomenologiczny

Analizowanie tylko i wyłącznie mechanizmu podnoszenia suwnicy pomostowej nie odzwierciedla dokładnie wpływu poderwania ładunku z podłoża. Z tego też względu każdorazowo podczas przeprowadzania tego typu badań numerycznych należy uwzględniać wpływ dynamiki mostu suwnicy. W niniejszej pracy most suwnicy zamodelowano dyskretnym układem mas skupionych, sprzężonych elementami sprężysto tłumiącymi. Model fenomenologiczny mostu suwnicy zamieszczono na rys. 2.



Rys. 2. Model fenomenologiczny mostu suwnicy

Ze względu na czytelność rysunków nie zaznaczono na nich elementów rozpraszających energię. Elementy rozpraszające energię tworzą równoległe połączenie z elementem sprężystym – model Kelvina Voigta.

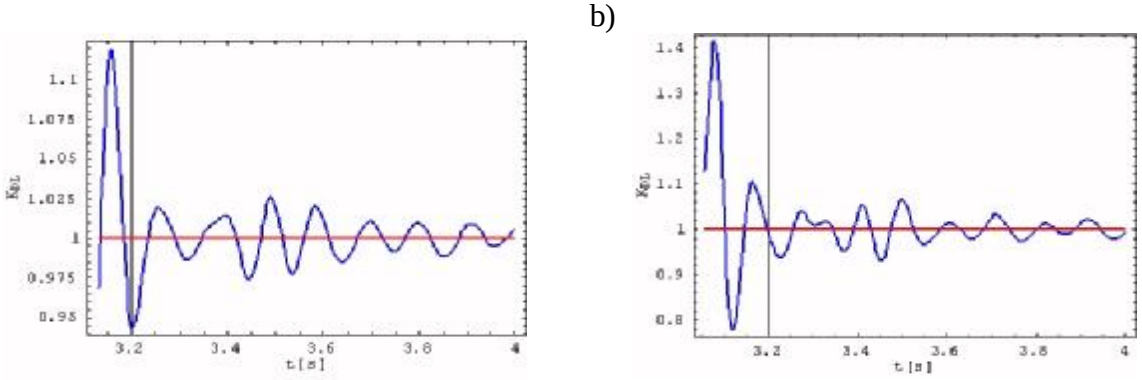
Sformułowany w pracy model fenomenologiczny badanego układu posiada czternaście

stopni swobody, z czego sześć przypada na mechanizm podnoszenia. Miarą charakteryzującą, każdy mechanizm podnoszenia jest współczynnik siły dynamicznej w linie. W niniejszej pracy współczynnik ten zdefiniowano zależnością (1).

$$K_{DL} = \frac{F_L}{M_Ł g}, \tag{1}$$

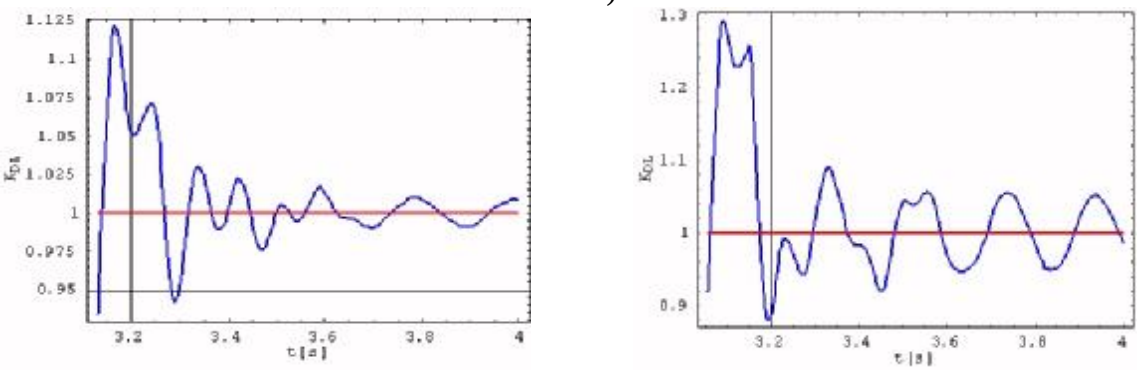
gdzie: F_L – siła w linie, $M_Ł$ – masa ładunku, g – przyspieszenie ziemskie.

a) b)



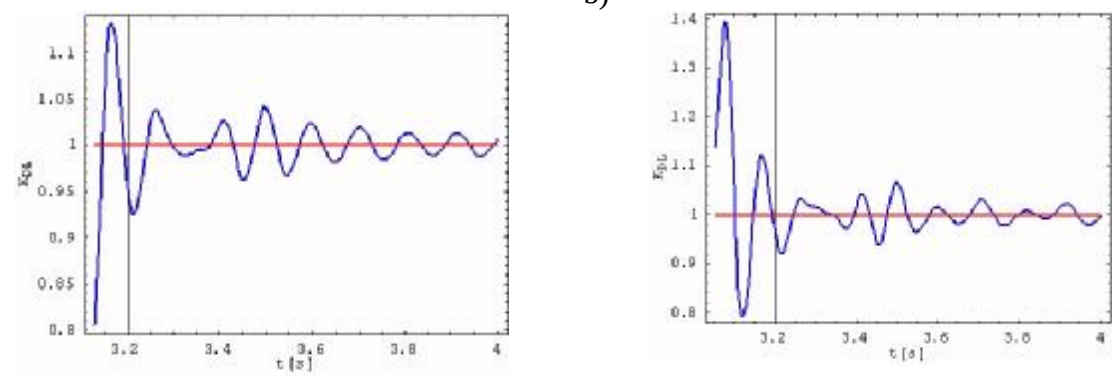
Rys. 3. Współczynnik siły dynamicznej w linie:
a) wciągarka w punkcie I, $v_P \approx 0.2$ *m/s*, b) wciągarka w punkcie I, $v_P \approx 0.4$ *m/s*

a) b)



Rys. 4. Współczynnik siły dynamicznej w linie:
a) wciągarka w punkcie II, $v_P \approx 0.2$ *m/s*, b) wciągarka w punkcie II, $v_P \approx 0.4$ *m/s*

a) b)



Rys. 5. Współczynnik siły dynamicznej w linie:
a) wciągarka w punkcie III, $v_P \approx 0.2$ *m/s*, b) wciągarka w punkcie III, $v_P \approx 0.4$ *m/s*

W przeprowadzonych symulacjach komputerowych (rys. 3÷5), obliczono przebiegi czasowe współczynnika siły dynamicznej w linie dla trzech różnych położeń wciągarki na moście suwnicy oraz dwóch prędkości podnoszenia. Współczynnik K_{DL} wyznaczono przy założeniu, że poderwanie ładunku ze sztywnego podłoża następuje, gdy silnik napędowy pracuje w stanie ustalonym.

Na podstawie uzyskanych przebiegów czasowych, można stwierdzić, że istotny wpływ na wartość współczynnika K_{DL} ma prędkość poderwania ładunku. Położenie wciągarki na moście suwnicy nie wpływa zdecydowanie na wartości współczynnika K_{DL}. Należy zdawać sobie sprawę, że na wartość współczynnika K_{DL} wpływa konstrukcja mostu suwnicy. Z tego też względu konieczne staje się obliczanie go dla każdej suwnicy oddzielnie. Ponadto znajomość współczynnika siły dynamicznej w linie umożliwia zaprojektowanie optymalnej konstrukcji mostu suwnicy.

Literatura: 1. Borkowski W., Konopka S., Prochowski L. Dynamika maszyn roboczych. WNT. Warszawa 1996. **2.** Kruszewski J., Sawiak S., Wittbrodt E.: Metoda sztywnych elementów skończonych w dynamice konstrukcji. WNT. Warszawa 1999. **3.** Piątkiewicz A., Sobolski R. Dźwignice. Tom I i II. WNT. Warszawa 1977 i 1978. **4.** Thomson W. T. Theory of vibration with applications, Chapman & Hall 1993. **5.** Wrotny L. T. Dynamika układów mechanicznych. Repetytorium teoretyczne i zadania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa 1995.

OBCIĄŻENIA DYNAMICZNE SUWNICY POMOSTOWEJ WYWOŁANE RUCHEM WCIĄGARKI

Banaś W., Koprowski T., Margielewicz J. ***(Politechnika Śląska, Gliwice, Polska)***

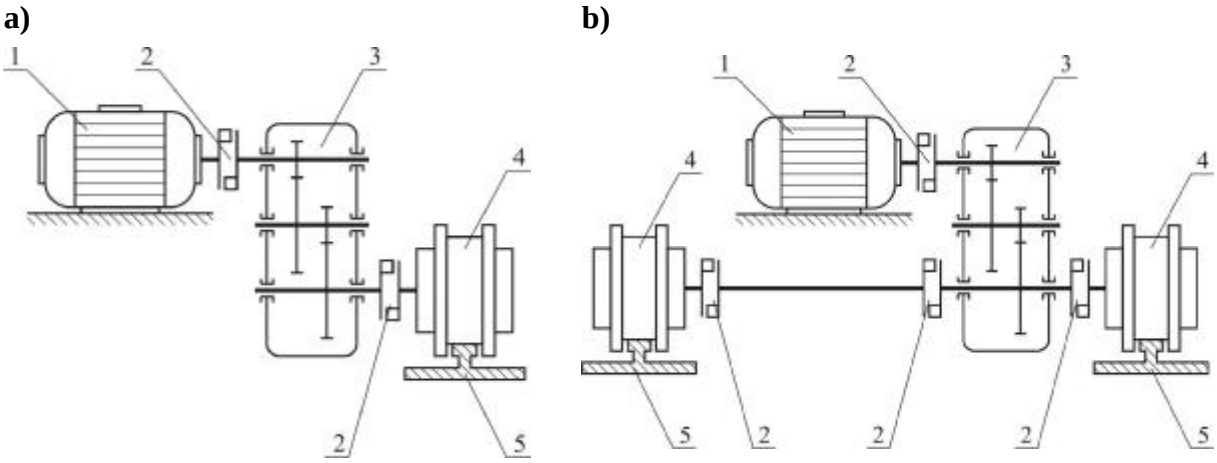
Analizy of temporary processes in driving systems in acceleration time and slow down time usually are used the dynamic models of torsional vibrations. Fundamental influence on precision like this analysis has procedure simulations of external load. There is necessary include model of engine to analysis of driving system. The influence of carriage in this article was introduced on displacements of crane.

Wymuszenia kinematyczne działające na poruszające się maszyny robocze są wielkościami zależnymi od nierówności podłoża, po jakim się przemieszczają oraz prędkości jazdy. Modelowanie wymuszenia kinematycznego przy użyciu zależności danej funkcją okresową jest poprawne tylko i wyłącznie w przypadku badania ruchu ustalonego. W przypadku maszyn roboczych wykonujących ruch przerywany należy uwzględniać dodatkowo fazę rozruchu oraz wybiegu. Z tego też względu konieczne jest przeprowadzanie symulacji komputerowych układów napędowych maszyn roboczych.

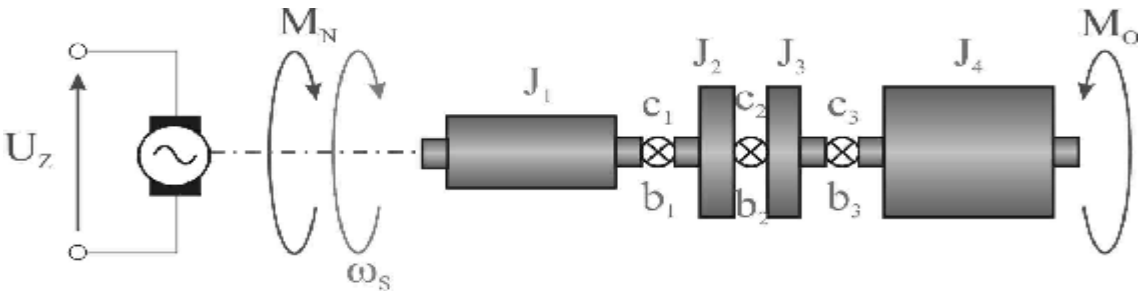
Typowe rozwiązanie konstrukcyjne mechanizmu jazdy mostu suwnicy pomostowej przedstawiono na rys. 1a, natomiast na rys. 1b zamieszczono schemat kinematyczny układu napędowego mechanizmu jazdy wózka wciągarki. Na podstawie schematów kinematycznych układów napędowych mechanizmów wykonawczych maszyn roboczych buduje się modele fenomenologiczne.

Stosując metody redukcji obydwa typy mechanizmów (rys. 1) można zamodelować przy użyciu modelu drgań skrętnych (rys. 2).

Analizę procesów przejściowych w układach napędowych wywołanych rozruchem i hamowaniem dokonuje się zwykle na podstawie modeli dynamicznych drgań skrętnych. Na dokładność takiej analizy istotny wpływ ma sposób symulowania obciążeń zewnętrznych. Z tego też względu konieczne staje się analizowanie układów napędowych z uwzględnieniem silnika napędowego.



Rys. 1. Schematy kinematyczne mechanizmów: a) jazdy mostu suwnicy pomostowej, b) jazdy wózka wciągarki: 1. Silnik elektryczny, 2. Sprzęgło, 3. Przekładnia redukcyjna, 4. Koło jezdne, 5. Szyna.



Rys. 2. Zredukowany model układu napędowego mechanizmu jazdy.

Uproszczony model matematyczny silnika asynchronicznego dany jest zależnością (1). Mając na uwadze uproszczony model, przy jednocześnie w miarę wiernym odtworzeniu zjawisk zachodzących w silniku, uzasadnione jest przyjęcie następujących założeń:

- symetrię uzwojeń trójfazowych stojana i wirnika,
- pominięcie wpływu histerezy, nasycenia, anizotropii o straty na prądy wirowe obwodu magnetycznego,
- pominięcie zjawiska wypierania prądu w przewodach uzwojeń wirnika.

$$\begin{cases} \dfrac{2M_K - 1}{T_e} = \dfrac{df_1(t)}{dt} + (w_S - pw) f_2(t) \\ 0 = \dfrac{df_2(t)}{dt} + \dfrac{1}{T_e} f_2(t) + (pw - w_S) f_1(t). \\ f_2(t) = J \dfrac{d\Omega(t)}{dt} + M_O \end{cases} \quad \textbf{(1)}$$

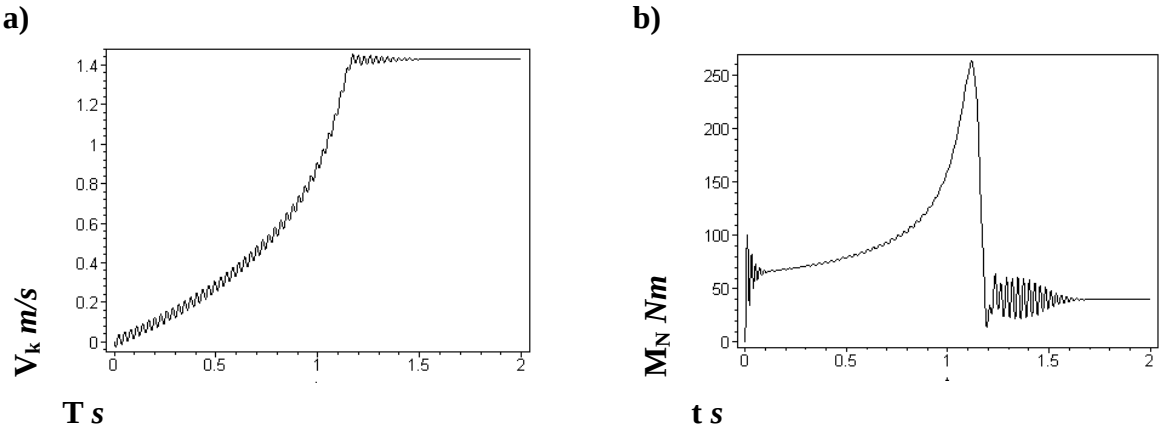
gdzie: $T_e = \dfrac{1}{w_s s_K}$, $s_K = s_n \left[\dfrac{M_K}{M_N} + \sqrt{\left(\dfrac{M_K}{M_N} \right)^2 - 1} \right]$, w - pulsacja sieci zasilającej, s_K – poślizg krytyczny, s_n – poślizg nominalny, M_K – moment krytyczny, M_N – moment nominalny, p – liczba par biegunów.

Na rys. 3. przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe prędkości jazdy wciągarki oraz momentu napędowego wyznaczone dla modelu (rys. 2), przy uwzględnieniu silnika napędowego.

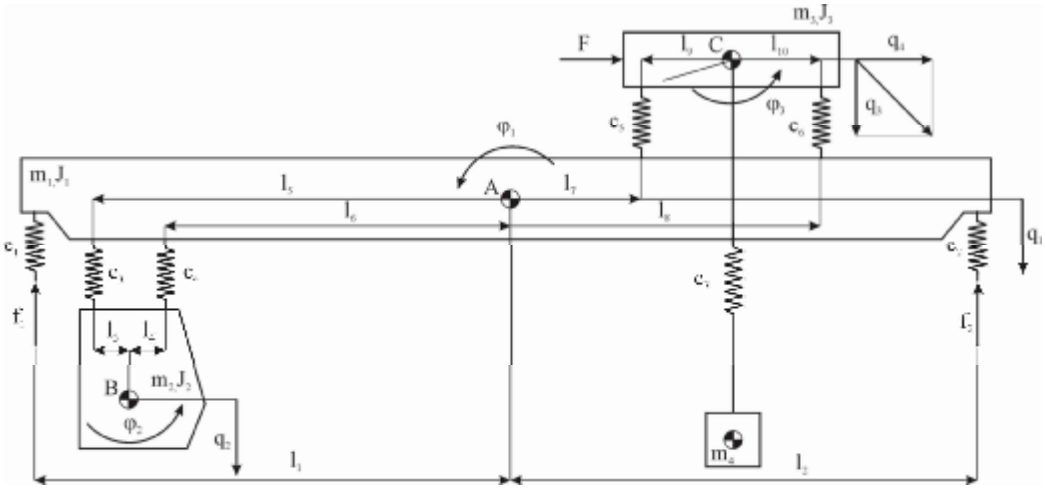
Należy zdawać sobie sprawę z faktu, że zamieszczony model jest modelem uproszczonym, lecz zastosowanie bardziej rozbudowanego modelu pociąga za sobą konieczność badania samego silnika. Zamieszczony w pracy model silnika asynchronicznego umożliwia oszacowanie parametrów fizykalnych na podstawie danych zamieszczonych bądź na tabliczce znamionowej konkretnego silnika bądź na podstawie danych katalogowych.

W dalszym ciągu pracy rozpatrzono wpływ ruchu wózka wciągarki suwnicy pomostowej na przemieszczenie pionowe kabiny. Model mechatroniczny suwnicy pomostowej przedstawiono na rys. 4.

Na rys. 5÷6 przedstawiono wpływ położenia wózka na strefy rezonansowe charakterystyk odmierzanych na elemencie reprezentującym kabinę.

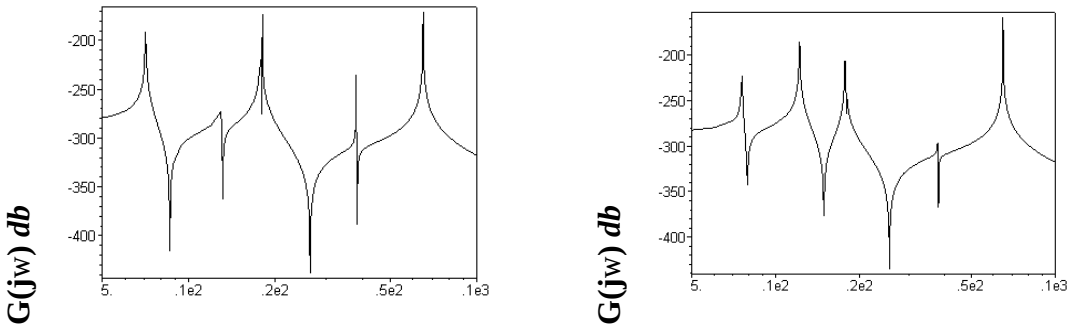


Rys. 3. Przebiegi czasowe: a) prędkości jazdy, b) momentu napędowego silnika.

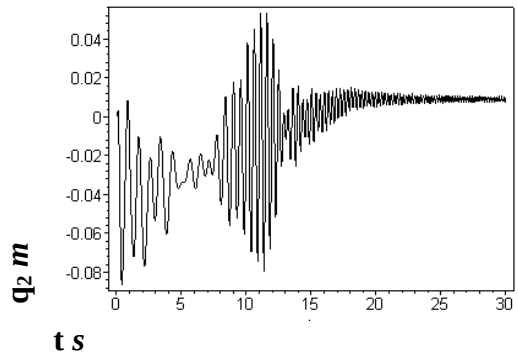


Rys. 4. Mechatroniczny model suwnicy pomostowej.

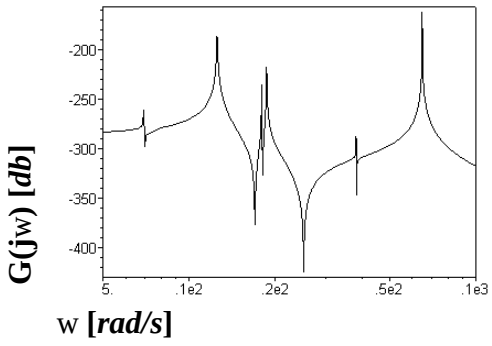
a) **b)**



Rys. 5. Charakterystyki dynamiczne: a) wózek wciągarki znajduje się w pobliżu kabiny, b) wózek wciągarki w środku rozpiętości mostu



Rys. 6. Charakterystyka dynamiczna, wózek wciągarki po przeciwległej stronie kabiny.



Rys. 7. Pionowe przemieszczenia kabiny

Z przedstawionych widm amplitudowo częstotliwościowych jednoznacznie wynika, że położenie wózka wciągarki ma decydujący wpływ na częstotliwości rezonansowe maszyny roboczej. Przemieszczenie pionowe kabiny operatora suwnicy pomostowej wyznaczono przy uwzględnieniu zmiennego położenia wciągarki na moście (rys. 7)

Uzyskane wyniki badań numerycznych wykazały, że przejazd wózka wciągarki z nominalnym ładunkiem generuje oddziaływania dynamiczne. Największe amplitudy drgań mechanicznych wzbudzonych przejazdem wciągarki i rejestrowanych na kabinie operatora, obserwuje się wówczas, gdy wciągarka znajduje się w środku rozpiętości mostu suwnicy.

Literatura: 1. Grabowski E. Współczesne suwnice pomostowe. Kwartalnik – Transport Przemysłowy 1/2000. s. 25÷28. **2.** Kruszewski J., Sawiak S., Wittbrodt E. Metoda Sztywnych Elementów Skończonych w Dynamice Konstrukcji. WNT. Warszawa 1999. **3.** Margielewicz J. Modelowanie układów napędowych maszyn roboczych metodą grafów wiązań. Rozprawa Doktorska. Gliwice 2001. s. 37÷44. **4.** Nowak A. Modelowanie dynamiki jazdy suwnicy pomostowej przy uwzględnieniu zjawiska odbicia. ZN Pol. Śl. Z. 125. Gliwice 1995. **5.** Szpytko J., Schab J., Smoczek J.: Badania modeli suwnic pomostowych dla potrzeb eksploatacyjnych. Kwartalnik – Transport Przemysłowy 4/2002. ss.40÷44. **6.** Tomczyk J., Bednarski S. Własności energetyczne żurawia portowego o napędzie elektromechanicznym i hydrostatycznym. Kwartalnik – Transport Przemysłowy 2/2000. s. 30÷34. **7.** Wojnarowski J. (red.): Modele układów maszyna – operator w ograniczaniu oddziaływania drgań wzbudzanych ruchem przerywanym. Z. nr 6 Katedry Mechaniki Robotów i Maszyn Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999 ss.206.

THEORETICAL MODELLING OF METALLURGICAL DEFECT CLOSING-UP PROCESSES DURING FORGING

Banaszek G., Stefanik A., Berski S., Dyja H. *(Częstochowa University of Technology, Częstochowa, Poland)*

Computer modelling using an FEM-based program, Forge 2005Ò, was carried out in the study. Theoretical modelling of the process of free hot forging in shaped anvils was conducted to close up metallurgical defects. The influence of the anvil shape and main parameters of the forging process on closing up of metallurgical defects were determined. On the basis of the investigation carried out, the optimal values of main forging technological parameters of and suitable groups of anvils to be used in particular forging stages are proposed for the elimination of metallurgical defects.

Introduction. Investigations into the methods of inducing the closing up of metallurgical defects (voids in cast material) in the cross-section of forgings are reported in several studies [1-7]. They show that closing up of metallurgical defects in deformed forgings is significantly influenced by main forging process parameters, such as draft, relative advance, stock temperature, and the shape and dimensions of anvils. Those studies aimed at the optimisation of forging process parameters and anvil shape to obtain forgings free from internal defects.

This paper presents the results of studies on the determination of the shape and geometry of tools to obtain a homogeneous distribution of strain intensities and closing up of defects of metallurgical origin present in forgings during free hot forging.

The internal defects include the structural defects of an ingot, which do not show on its surface. Internal defects are only detectable on the cross-section and longitudinal section of an ingot by non-destructive examinations.

Owing to the complexity of the phenomenon internal defects and metallurgical discontinuities in ingots intended for forging, only defects such as central porosity were simulated in this study. The phenomenon of central porosity is understood as fine, deep-located gas bubbles occurring in the as-cast forging ingot [2, 8]. The causes of their formation include: too intensive purging of the mould with neutral gas, oxygen introduced during burning in the

metal bath area, an increased N_2 content, contact with insufficiently dried refractory material and corroded cooling-down scrap, particularly during pouring, and the ingress of false air through a leaky casting system [8].

Discontinuities in the central region of an ingot are in the form of single axial voids or grouped fine pores. If the both forms of discontinuities occur simultaneously, then the assessment of their size should be performed separately [8].

Characteristic of material used for examination and the shape of tools used in the simulation and experimental testing of the stretch forging operation

In theoretical examination, highly-alloyed corrosion-resistant steel, 1H18N9T, was used. Chemical composition of steel 1H18N9T used for examination, according to the PN-86/H-85021 standard.

Table 1. Chemical composition of steel 1H18N9T used for examination, according to the PN-86/H-85021 standard.

Steel Grade	Content, %							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Ti
1H18N9T	0.1	2.0	0.8	0.05	0.03	18.5	10.0	0.8

The rheological properties of the steel are quoted after reference [9]. The computer program, with which the simulations of particular stretch forging operations were performed, includes a module that allows.

In the study pair of anvils were used for theoretical examination in the second stage of the forging operation. First stage operation was used pair flat anvils. The tests second stage operation were conducted for anvil assembly order as shown in Figure 1.

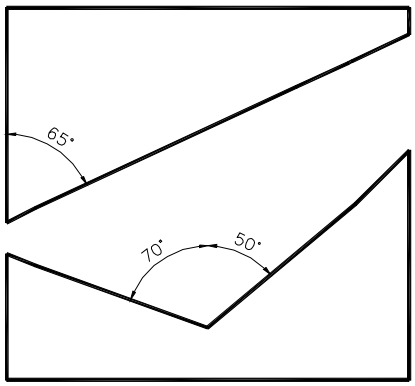


Fig.1. Assembly of asymmetrical non-axial anvils

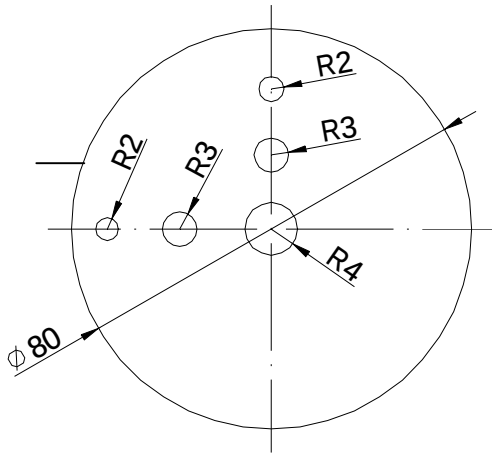


Fig.2. View of the surface of a simulated specimen, with the arrangement and diameters of holes indicated

Methodology of investigation

For the analysis of the forging process, the FORGE 2005® commercial software developed at the CEMEF, Ecole des Mines de Paris, was used. The detailed description of the thermo-mechanical model underlying the software is given elsewhere in the literature [10]. The FORGE 2005® program relies on the finite-elements method. It enables the thermo-mechanical simulation the plastic working processes of metals to be performed in an axial and

axially symmetrical states of deformation. Computation this simulation was made in two dimensional state.

For carrying out computer simulations of the ingot stretch forging operation in shaped anvils in the flat deformation state, a stock of a round cross-section of ∅=80 mm was taken. During the generation of a finite-elements grid, five holes were arranged axially on the specimen in the program, which were to simulate defects of metallurgical origin, such as central porosity (Fig. 2). Forging operation was conducted separately for the following anvil assemblies, which were not interrelated. The first forging case was considered for flat anvils the second for asymmetrical non-axial anvils (Fig. 1).

For anvils a calculations of the following parameters were made: the relative draft ranging from 15 to 25%, the velocity of the upper movable anvil varying in the range from 10 to 20 mm/s, and the forging starting temperature ranging from 1100 to 1250°C. When performing the calculations for particular forging cases, the constant operation parameter was the forging rotation angle, ϕ=90°, both for the first and the second forging stages. Each of the stages was considered for one forging pass only, therefore the analysis was limited to the stretch forging operation in a flat deformation state. The anvil temperature was 350°C, and the ambient temperature was 20°C, whereas the friction factor in the process was assumed to be μ=0.3. In the first stage, the simulated stock was deformed in respective flat anvils. In the second stage, asymmetrical non-axial anvils were used for the finishing deformation.

Results of theoretical examination

Below, selected results of the computer simulations of metallurgical defect closing-up are presented, for which the best results have been obtained. Figure 3 show the distributions of strain intensity values over the cross-section of forgings, along with the traces of simulated metallurgical defects. For forging cases presented below, the following parameters were applied. In the first stage of the stretch forging operation, a relative draft of 25%, an upper anvil speed of 20 mm/s, and a forging starting temperature of 1250°C were used. In the second forging stage, a relative draft of 20% and an upper anvil speed of 20 mm/s were used.

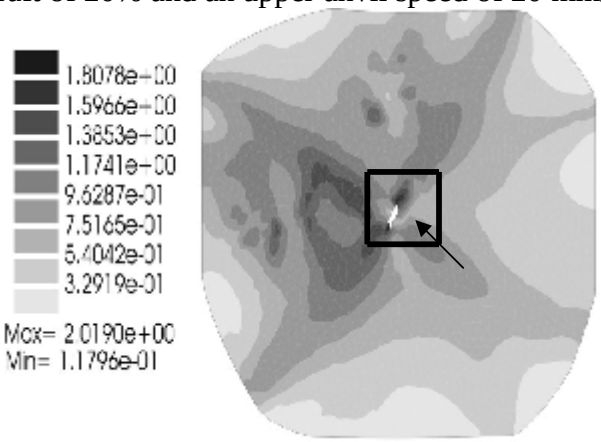


Fig.3. View of a forging worked in non-axial shaped anvils in the second forging stage and in flat anvils in the first stage. (defect in frame)

The data shown in Fig. 3 indicate that the method of forging in no-axial shaped anvils in the second stage and then in flat anvils has caused a closure of central porosity-type metallurgical defects in the outer forging zone, where two 4 mm-diameter and two 6 mm-diameter holes were arranged. However, the 8mm defect situated in the axial forging zone has failed to close up (defect shown in frame).

When analyzing the view of the deformed forging in Fig. 3 it can be noted that the character of deformation introduced into the forging by the action of shaped anvils in the final forging phase restricts the metal flow in the directions opposite to the forging axis, owing to which the defects are not lost to the forging borders during metal flow. In the final stage of forming a forging, these defects close up under the action of asymmetrical non-axial anvils.

This forging case is effective in terms of removing metallurgical defects, despite the fact that it has not closed up a defect in the forging axis. However, it should be noted that the defect in question was a large diameter, i.e. 8 mm. The total surface area of defects after forging deformation was 1.42 mm^2 for the forging case discussed above.

Conclusions

It can be found from the theoretical examinations that the use of shaped anvils in preforging operations brings about a desirable result in terms of improving the homogeneity of strain intensities on the cross-section of a forging, as well as in respect of elimination of metallurgically originated defects. This is important in view of the fact that free forging operations have so far been conducted in Polish forges by using flat, symmetric rhombic or combined anvils only.

The results presented in the study show that by means of tool shape and proper forging technological parameters we are able to control to a significant extent the kinematics of material flow during the process of forming a forging.

The uniform character of deformation, which is obtained in the initial stages of forging ingots in shaped anvils, favourably influences the closing up of defects and discontinuities of metallurgical origin. From the presented results of investigation, it can be concluded that in order to improve the elimination of defects of central porosity type, flat anvils should be used in the final forging stages.

Using asymmetry in the application of the external load in the initial forging stage favourably affects the process of closing up metallurgical defects.

A analysis performed by the experiment planning method has found the best results in terms of closing up defects for a relative draft of 25%, an upper anvil speed of approx. 20 mm/s, and for high forging starting temperatures, i.e. in the order of 1250°C.

It is also purposeful to heat ingots up to 1250°C prior to starting forging operations, instead of a maximum temperature of 1150°C that is currently used in industrial practice.

References: 1. S.Y. Lin: Upsetting of a cylindrical specimen between elastic tools, Journal of Materials Processing Technology 86 (1999), 73-80. 2. C. Y. Park, D. Y. Yang.: Modelling of void crushing for large-ingot hot forging, Journal of Materials Processing Technology 67 (1998), 195-200. 3. G. Shen, S.L. Semiatin.: Modelling Micro structural development during the Forging of Wax, Metallurgical And Materials Transactions 06 (1998), 46-52. 4. C.Y. Park, D.Y. Yang.: A study of void crushing in large forgings, estimation of bonding efficiency by finite-element analysis, Journal of Materials Processing Technology 72 (1997), 32-41. 5. G. Banaszek, A. Stefanik, S. Berski.: Computer and laboratory modeling of analysis of closing up metallurgical defects in ingot during free hot forging. [METALURGIJA vol. 44, br. 1, str. 1-80 (January/March 2005) Zagreb Metallurgy, s. 25-29. 6. Banaszek G., Stefanik A., Dyja H.: Analiza numeryczna zamykania się wad pochodzenia metalurgicznego podczas operacji kucia. Ministerstvo osviti i nauki Ukrainy, Nacionalna metalurgijna akademia Ukrainy, Naukovi visti suchasni problemi metalurgii, Plastichna deformacia metaliv, Tom 8, Dnipropetrovsk 2005, s. 57-61. 7. Banaszek G., Stefanik A., Kawałek A., Dyja H.: The numerical analysis of metallurgical defects closing up during forging operations. Sovremennye Dostiżennija v teorii i tehnologii plasticheskoj obrabotki metallov, Trudy meżdunarodnoj

nauchno-tehnicheskoj konferencii, Sankt-Petersburg Izdatelstvo Politehnicheskogo Universiteta 2005 g, s. 3-11. 8. Z. Falecki.: Analiza wad odlewów. Wydawnictwo AGH, Cracow, 1991. 9. A. Henzel, T. Spittel.: Raschet energosilovikh parametrov v processach OMD. Metallurgia. Moskva 1982, 51-100. 10. Users Guide, How to run Forge 2005, Transvalor S. A., Sophi Antipolis, France 2005

ASPECTS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TECHNICAL REQUIREMENTS AND THE QUALITY OF LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS IN ADVANCED DISTRIBUTED LEARNING

Barsan Gh., Babos A., Sfarlog B., *(Land Forces Academy Sibiu, Romania)*

The Learning Management System, a software product that includes education environment specific descriptive elements, plays an important part in the implementation of the advanced distributed learning capabilities platform. ***Keywords:*** *Learning Management System, e-learning, SCORM, modern education*

I. Introduction. The Land Forces Academy Romania, a highly standardized organization, is preoccupied with implementing the methods developed in the field of Advanced Distributed Learning. So far, the following measures have been undertaken:

1. Establishing a Learning Management System. This system, along with the Learning Content Management System (LCMS), represents the very core of the ADL capabilities. The institution is currently in the process of developing an e-learning programme implementation plan. The Partnership for Peace (PfP) Consortium LMS and SOFTWIN Bucharest LMS, a sponsorship product, have so far been tested. The network administrators are studying the configuration of the LMS named ILIAS, promoted by PfP Consortium.

2. Developing and adopting ADL standards. The reference model of the transmitted learning content (SCORM) must represent the LMS choice criterion. Within the university library, one can look up in, and borrow the following books: SCORM 2001 Overview, SCORM Run-Time Environment, SCORM Content Aggregation Model and SCORM Sequencing and Navigation. Land Forces Academy network administrators are familiarized with this standard.

3. Developing ADL courses and instruments. Within our institution there have been implemented courses that were received from PfP Consortium along with five own courses: Total Quality Management, Mechanics, The Law State – Military Institution in the Law State, The Relation Between Science And Military Art and Armed Conflict International Law and Military Sociology. The educational content development is a priority for the e-learning programme. Land Forces Academy is licensed to use the Toolbook Instructor Programme, which allows the implementation of the interactive multimedia instruction (IMI – Interactive Multimedia Instruction).

4. Developing the knowledge and experience in the ADL field. Creating a Pilot Centre in the Land Forces Academy. In order to create the knowledge base in the ADL field we aimed at attending the experience exchange programmes, collecting and distributing the materials and specialized publications on a large scale, attending conferences and workshops, training the personnel in the e-learning laboratory, visiting and establishing connections with other organizations and computerized assistance.

Participating in the working group on Curriculum Development and ADL within PfP Consortium represents the core for the e-learning programme development.

In the paper *About on Minimal Requirements of the Learning Management System Functions Specific to the Highly Standardized Educational Environment* we have seen that two questions risen: *Which are the technical critical requirements referring to Learning Management System quality?* and *Are the training sessions a requisite of LMS usage?*

Based on this scientific research and also on the practical experience developed in Land Force Academy Romania, the answers to the above questions can be found in the authoring tool of LMS and in the technical requirements of the quality of LMS.

II. Authoring tool of LMS.

The design and capabilities of the authoring tool from the Learning Management System are very important when we have to decide if the LMS is appropriate for an organization.

For instance, the authoring tool must support the following functions and capabilities:

- *Course visual editor with SCORM 2004 integral support with s*upport for the editing of metadata per course and sequencing editor with the following capabilities:
  - Support for the control elements of SCORM 2004 (choice, choiceExit, flow, forwardOnly, use Current Attempt Objective Info, use Current Attempt Progress Info);
  - Support for the elements of SCORM 2004 Randomization Controls (randomization Timing, select Count, reorder Children, selection Timing);
  - Support for the elements of Constrained Choice Considerations (prevent Activation, constrain Choice);
  - Support for Delivery Controls (tracked, completion Set By Content, objective Set By Content);
  - Support for Rollup Considerations (required For Satisfied, required For Not Satisfied, required For Completed, required For Incomplete, measure Satisfaction If Active);
  - Visual editor for sequential rules, expanding in the natural language of the rules so that they are legible to those little familiar to the SCORM 2004;
  - Visual editor for rollup rules with rules natural language expanding;
  - Visual editor for filing support objectives cu support;
  - Support for sequential collection;
  - Pre-visioning the used resources functionality, within course;
  - Pre-visioning functionalities and integral simulation of the sequential department of the published SCORM 2004;
- *SCORM 2004 test editor with the* following types of questions with automatic assessment required:
  - Fill in the blanks;
  - Matching (“match the terms with the corresponding definitions”, with automatic assessment);
  - Single choice (tick the right answer);
  - Multiple choice (tick the right answers with automatic assessment);
  - Ordinates (ordinate the following steps in the correct sequence);
  - Yes/No (true or false, with automatic assessment);
  - Pagination functionality. If the test has several questions, the author can choose the number of questions a page, and the publisher will create the pages automatically, with sailing facilities within the text;
  - Creating and editing the SCORM objectives;
  - Simple pages editor that contain formed text and images.

III. Technical requirements versus quality of LMS

A minimum technical capabilities must be included in the Learning Management System for assuring the quality of the processes. Let see the map of them:

- *2004 SCORM Compatible with the SCORM 1.2 import possibility*
- *Audio/video transmission tolerance to the network traffic*. The video data transmission should be able to be stopped or initiated by the trainer at any time of the training session, if network problems show up. The audio data transmission should be able to be stopped or initiated by the trainer, at any time of the training session.
- *Accepted course materials*: one should specify the accepted interactive material (such as text, images, animations, 3d animation, films, etc.)
- *The system's responsibility of the virtual class interior*: one should specify the responsibility of the student's content copy to the trainer's instructions (the medium difference between the trainer's actions and their reply to the student, in matters of seconds). It is required to clarify the system's necessary tape width in order to function to these parameters, not only for the server, but also for the client.
- *Control taking/ceasing in the virtual class*: the system must allow the trainer to take or cease control on the course material, during session.
- *Avoiding the clients' manual setting up*: taking into account the great number of users, it is not necessary to install an application dedicated to the clients' devices into the system.
- *The trainers' mobility*: the system should provide the trainer's mobility, thus allowing connecting and leading a session on any client stations.
- *The graphic interface*: the solution should have a friendly interface.
- *The interface language and multi-linguistic support*: the user's interface must be national language, with the possibility to switch to English language. The solution should have support for both languages.
- *Web technology*: the application should be a web-based one.
- *Multi-browser capability*: one should specify the browsers that can be used, in order to access the application.
- *Hardware requirements*: one should specify the recommended hardware configuration for the server and client stations and also the system's necessary tape width.
- *The accepted platforms*: one should specify the operation systems that are running, not only for the client, but also for the server.
- *Licenses*: one should specify and mark the application's necessary licences.
- *The competitor users*: one should specify the optimum number of simultaneous users connected in virtual classes, for the necessary configuration.
- *The existing communication infrastructure usage*: the system must function on the existing communication infrastructure.
- *Hardware scalability*: the system needs hardware scalability

IV. The measures for success implementation of e-learning programme. Case study: Land Forces Academy Romania

Taking into account the Land Forces Academy experience acquired through e-learning programme and also the positive aspects appreciated within Land Forces Academy, Romania we developed the following measures:

- *regarding the developing of ADL*:
  - supporting the up taken initiative, namely implementing the *eLearning Programme*. This programme can become the centre of ADL capabilities;
  - implementing the administrative measures in order to perfect the eLearning laboratory, meant to initiate an ADL Pilot Programme which can aim at distributing the resources towards the ADL Pilot Centre being under development. This programme can outrun the creation of the ADL Pilot Centre (ADLPC) thus offering some answers to the questions regarding

the educational resources becoming available anywhere, anytime and for whomever within your organization.

- *regarding the ADL-related study programmes*:
  - initiating the master degree programmes by taking into account the aspects regarding the Bologna Process;
  - training aimed at some students sub-units regarding a specified programme study;
  - individual access to continuous learning, anytime, anywhere.
- *regarding the education institutions that can develop this education system*:
  - within your hierarchy organization, you can polarize the ADL capabilities;
  - part of the education programme you develop ADL capabilities within the initial course for students;
- *regarding the existing infrastructure and the one under construction aimed at accomplishing this purpose*:
  - perfecting the e-learning laboratory represents an e-learning project priority.
  - using LMS platform from open sources you can achieve ADL capabilities;
- *regarding the necessary funds estimation, the actions that are to be undertaken and their spacing out in time*:
  - the LMS purchasing is definitely necessary;
  - integrating the acquired experience within future ADLPC centers;
  - supporting the e-learning programme in order to accomplish the ADL capabilities transfer in ADL canters and towards the structures involved in training and education;
  - initiating an educational content Pilot Programme, for the students after having perfecting the e-learning laboratory;
  - creating a working group in order to elaborate proposals regarding the implementation of ADL capabilities in education and training system.
  - including some specialists within the work group in order to choose the ADL technical support because the implementation costs are essential.

V. Conclusions and proposals

The project presented can support the organization re-dimensioning effort by means of providing access to the education and training, anytime, anywhere and to anyone, thus leading to military capabilities improvement meant to update the educational processes.

The projected scientific approach aims at implementing and developing the ADL e-learning capabilities specific to the highly standardized educational environments and also at integrating the organization in the knowledge based organization spectrum.

The training program, based on adult training principles, aims at involving the organizations in the proposed system meant to train them according to the building up identifying elements for the long life learning processes, a Bologna Process desideratum.

References: 1. Barsan Gh. Adrianescu A., Adrianescu G., *How to Acces to a High Quality Modern Educational System within Land Forces Academy through the Advanced Distributed Learning Capabilities Platform*, Proceedings of the 10th Conference Leadership and Management, Land Forces Academy, 24-26 November, Sibiu, 2005, p. 132-139. **2.** Masie E., *701-Elearning Tips*, Free Digital Book, 2004, www.masie.com. **3.** Moore M. G., Anderson W.G., *Handbook of Distance Education*, Laurence Elbaum Associates Publishers, New Jersey, 2003.

A PRACTICAL GUIDE ON MINIMAL REQUIREMENTS OF THE LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS FUNCTIONS SPECIFIC TO THE HIGHLY STANDARDIZED EDUCATIONAL ENVIRONMENT

Barsan Gh., Miclaus S., Bechet P., Oancea R.*(Land Forces Academy Sibiu, Romania)*

The SCORM standard represents without the shadow of a doubt the minimal criterion of the LMS choice. The world market is nowadays replete with open-source LMS systems which under certain circumstances may meet the education environment requirements. Most of the time, however, the highly standardized environments require customer-solutions which include the descriptive elements tailored according to each organization. ***Keywords**: Learning Management System, e-learning, SCORM, modern education*

I. Introduction. The paper answers at the following questions:

- Which are the functions required by the LMS highly standardized educational environment?
- Which are the elements that need to be included within LMS?
- Which is the access protocol to LMS capabilities?

The authors consider that the answers to the above questions can be found in a practical guide of choosing a LMS appropriate to highly standardized education environments.

II. The LMS system functions

The Learning Management System must support the following functions:

- *Support for distance learning*: the system must provide distance learning as part of instructor assisted/non assisted training sessions.
- *Distance learning activity organization:*
  - *Import*: the system must allow the import of educational materials of the html, doc, pdf, ppt, type from the instructor's computer into the system data base. The system must allow the import of SCORM 1.2 and SCORM 2004 compatible courses.
  - *Lesson plan management*: The system must allow the creation and editing of the lesson plans from the educational materials existing in the data base. A lesson plan is understood as a succession of educational materials conceived by the instructor as a course support.
  - *Search*: the system must provide search functions, browsing the objects in the data base according to key words.
  - *Distance learning activity creation: t*he system must offer the instructors the possibility to create distance learning activities by stating the course plan and the access restrictions as follows.
  - *Stating the activity expiration date*: the instructor will have the possibility to specify the activity expiration date.
  - *Restricting the access of learners to activities:*
    - The trainer will have the possibility to decide upon the free access of each user to any session
    - The trainer will have the possibility to limit the access of users by naming a person responsible for the endorsement of the registration forms
    - The trainer will have the possibility to restrict the access of users by imposing the user group affiliation condition.
    - The trainer will have the possibility to specify the activity registration expiration date.

- *Conditioning the access to a certain activity depending on the participation in other activities:*
  - The trainer will have the possibility to condition the participation in certain activities by the completion of others (for instance an advanced management course can not be attended unless a beginner management course has been completed);
  - The trainer will have the possibility to recommend the sequence of activity attendance (for instance he could recommend the participation in a communication course before taking up a management course).
- The automatic registration of users to training activities.: the trainer will have the possibility to automatically register users or groups of users to training activities

- *The carrying out of distance learning activities:*
  - *Educational material dissemination*: the system has to provide downloading and scrolling functions, active during the training sessions, on customer devices, so that the educational materials drawn up by the trainer as part of the lesson plan could be viewed.
  - *Support for the directed, asynchronic, unassisted training*: these activities will allow the learners to do individual distance learning without a time schedule.
  - *System directed navigation functions (according to the course/didactic method)*:
    - Free navigation: the learner can navigate the course in any order that he wishes, there will be no restrictions limiting the navigation within lessons, the learner can navigate to a lesson as many times as he likes, as well as a to test that can be taken with or without a time limit.
    - Sequential navigation: the course is presented in a linear order (forward, back). At the end of the course, the learner can take a test.
    - Optional sequential navigation: the learner can choose a module course and go through it linearly. At the end of the course, the learner can take a test.
  - *Functions of learner knowledge evaluation/automatic diagnosis with the conclusion of feedback (by indicating the weak points and strong points and suggesting possible corrections)*
    - Progressive self-evaluation: for the courses formed of pre-test, lesson and post-test sections the system gives the learner the possibility to choose between the pre-test and the lessons.
    - Rectifying examination: the learner is linearly directed through the course and afterwards which he is given a test. If there are modules of the test unsatisfactorily solved, the learner will be presented with the lessons one more time and then he will take the final exam. The exam does not include the questions that have already been answered satisfactorily at the initial exam.
  - *Personal annotations on course materials:* the system allows the users to make personal annotations as well as to make them available for the other users if he wishes to.
  - *Support for the directed, synchronic, trainer coordinated training:* these activities will offer the learners the possibility to attend the courses from distance virtual classrooms according to a time schedule, established by the trainer. The trainer will control the learner navigation through the course material.
  - *Support for concurrent virtual classes*: the system must allow the development of more simultaneous sessions, independently of one another, with separate trainers, learners and course materials.

- *Training strategies and training micro-planning (lesson plan) changing strategies taking place during the virtual class*: depending on the events taking place during the training session, the instructor must have the possibility to add/delete educational materials in/from the current training plan, the training session continuing thus, with the revised training plan.
- *Trainer-learner real time communication facilitating functions*:
  - Learner – trainer online textual communication (chat)
  - Video/audio: the system must be equipped with a video/audio data transmission facility sending the data from the trainer to the learners (in case the trainer has a web cam).
  - Distance control over displayed course functions: the trainer will have control over the course material being able to direct the learner through the course.
  - Synchronization between the content of a master copy (held by the trainer) and one or more slave copies (the slave copies replicate the changes occurring in the master copy). This working method ensures the development of the teaching-learning process under optimal conditions and overcomes the disadvantages entailed by the physical distance between the participants.
  - Interactive blackboard: the system will offer a drawing tool of the whiteboard type so that the trainer could create and display flaw charts and drawings for the learners to watch during the class.
  - Light Spot: the system gives the instructor the possibility to display his own cursor on the other participants' screens so that he could highlight certain sections of the material during the virtual class.
- *Functions assessing/reporting*: the students' response during the synchronic session, in relation to the didactic objectives, which offer the trainer the possibility to provide the feedback loop during the teaching sessions.
- *Recording*: the trainer can choose to record the virtual lesson, which will be afterwards stored on the server. The recording will include the content, the audio/video transmission as well as the chat history.

- *Support for the carrying out of the exam sessions*;
  - *Creating and editing sets of questions: t*he trainer can create sets of questions to be used for the production of tests. The questions will be automatically evaluated by the system.
  - *Creating and editing the classification criteria governing the question sets (for instance Level of difficulty, Type of course, etc)*
  - *Classifying the question set, generating random tests, creating testing sessions*
  - *Giving tests to distance learners: i*n this case the learner will log on to the system and take the test.
  - *Giving test to users in the training classroom under the supervision of the trainer*.
  - *Countdown and automatic ending of the test when time runs out*
  - *Statistics of testing sessions, consisting of the numbers of registered users, completed tests, tests under development, unused tests, tests passed, tests failed, result assignment, tests taken, number of questions and result assignment, details resulted*
  - *Statistics of criteria and classification categories*
- *Support for the combined training (synchronic, asynchronic, testing session):* the system will offer the trainers the possibility to create learning activities formed of synchronic, asynchronic activities and testing sessions.

- *Asynchronic communication functions*
- *Warning functions*. The system will include warning functions that signal the following events: taking up a certain learning activity, beginning of virtual class, learning activity registration expiring time, learning activity completion expiring time
- *Chatting functions and forum*: the system will allow the exchange of private messages between users.
- *Shared resources*: the application offers the users the possibility to exchange resources as well as to associate them to the course (course notes, bibliography under the form of files, useful links). The resources are loaded on the server through the interface with the user and may later on be downloaded by other users.
  - *Group training functions*
  - *Group affiliation organization and identification*: the system can support the organization of users into groups, whereas the trainer is able to assign roles for the collaborative education.
  - *Resource sharing functions*: the users of a certain group will have the possibility to own shared resources accessible only to that specific group.
  - *Support for the synchronic group collaborative training*: the aim of this requirement is for an entire group to accomplish a task (for instance project implementation-oriented training, multiple perspective case studies, complex simulations – war games, etc) with the support of group roles
  - *Student progress tracking functions*: the issues tracked are the content history, the performances, etc.

IV. Conclusions and proposals

According to the practical guided previously described, it is recommended to implement the following means of project valorizing:

- The task notebook on LMS specifications that are featured to the highly standardized environment;
- The creating of a data base on the specific open source LMS elements, and on those from the market;
- The delivering of the educational content, according to the advanced distributed learning system;
- The creating of the ADL virtual library;
- The implementing of the system.

Also two questions appear: *Which are the technical critical requirements referring to LMS quality?* and *Are the training sessions a requisite of LMS usage?*

References: 1. Barsan Gh. Adrianescu A., Adrianescu G., *How to Access to a High Quality Modern Educational System within Land Forces Academy through the Advanced Distributed Learning Capabilities Platform*, Proceedings of the 10th Conference Leadership and Management, Land Forces Academy, 24-26 November, Sibiu, 2005, p. 132-139. **2.** Masie E., *701-Elearning Tips*, Free Digital Book, 2004, www.masie.com **3.** Moore M. G., Anderson W.G., *Handbook of Distance Education*, Laurence Elbaum Associates Publishers, New Jersey, 2003.

METHOD OF REDUCTION OF VIBRATIONS OF MECHANICAL SYSTEMS

Białas K. (*Silesian University of Technology, Gliwice, Poland*)

Abstract: In the thesis there are presented basic methods of reverse task of active and passive mechanical systems realization. The principal aim of the research taken is to work out a method of structure and parameters searching i.e. structural and parametric synthesis of discrete model of mechanical system on the base of desired requirements. The requirements refer to dynamic features of the system, particularly their frequency spectrum.

1. Introduction. The introduction of active elements into the elimination of vibration offers the possibility to overcome the limitations of the methods of passive elimination of vibration, such as, in particular, low efficiency in case of low-frequency vibration and the impossibility to reduce the vibration of specific parts of machinery. There are many methods of preventing excessive vibration of machinery elements. The major division is that into passive and active measures of reducing vibration and active and passive forms of their execution. The term of passive measures of reducing vibration of machinery refers to such additional constructional elements of vibroisolation systems which do not constitute integral elements of a machine structure but are implemented additionally by way of propagation of mechanical vibration signals such as mechanical filters of these signals. The term of active measures of reducing vibration usually pertains to all these subsystems, whose purpose is to reduce or eliminate reasons for formation of machinery vibration i.e. the subsystems interfering in the sources of generation of such vibration. Both passive and active measures of vibration reduction may take passive and active forms [2÷10,12÷15].

The implementation of active measures of elimination of vibration enables the overcoming of limitations characteristic of passive methods such as low efficiency in the range of low frequency of input function and free vibration. The use of passive systems proves not satisfactory also in case of broad-band frequency. The low-frequency character of vibration may result in the failure of passive vibroisolation to ensure efficient reduction of vibration or may even lead to the increase of vibration and that is why in such cases, the active reduction of vibration often replaces the passive one. A characteristic feature of the active vibration reduction is the fact, that vibration is compensated by interaction from additional sources. Active vibroisolation systems are controlled by input function.

The methods of active reduction of vibration are divided into controlling or adjusting processes of mechanical vibration. The controlling of the motion of an object refers to a situation when a command signal is supplied to the system from the outside and this signal does not depend on the current condition of the object but is influenced by a previously developed programme. The other method consists in the adjustment of an object motion and in such a case a command signal depends on the current condition of the object and it is necessary to implement additional elements such as output sensors, a control unit and executive devices [13].

2. The model of the research

In order to solve the problem of reducing the vibration of mechanical system, it is necessary to perform the synthesis or identification of a system. Depending, on a structure and parameters as well as input functions affecting the system, to determine the structure of a system containing active or passive elements (fig. 1 and fig.2).

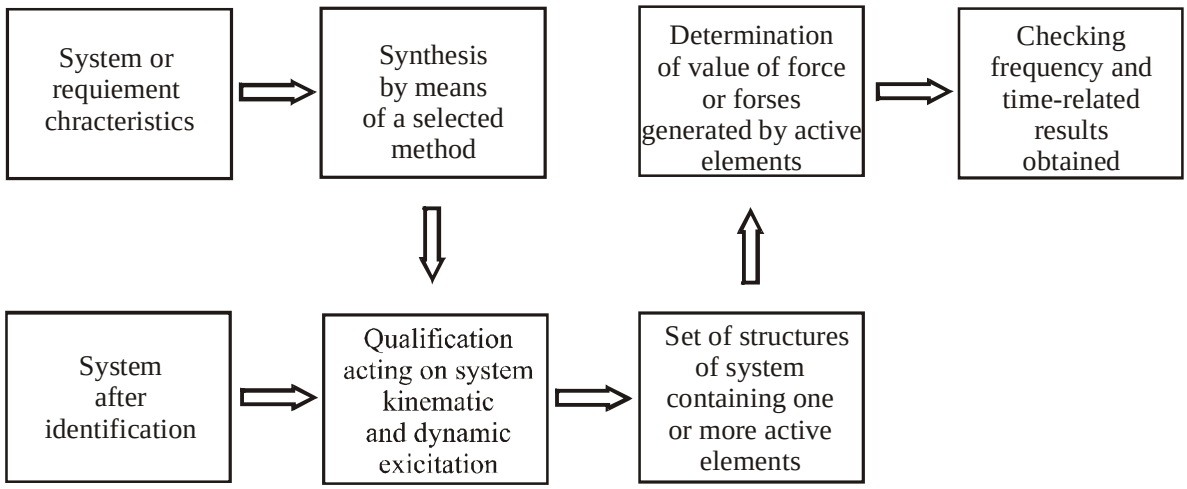


Fig. 1. Idea of synthesis of active mechanical systems

Applying the theory of polar graphs and their relation to structural numbers [1], it is possible to determine the values of amplitudes of forces generated by active elements.

A general formula for amplitude value is as follows:

$$A_n = \frac{\left(\underset{z}{Sim}\left(\frac{\partial D(w)}{\partial[1]};\frac{\partial D(w)}{\partial[n]}\right)(F_1+F_{k1}+G_1)\right)+\left(\underset{z}{Sim}\left(\frac{\partial D(w)}{\partial[2]};\frac{\partial D(w)}{\partial[n]}\right)(F_2+F_{k2}+G_2)\right)+}{D(w)}$$
$$\underline{+\mathbf{K}+\left(\left(\frac{\partial D(w)}{\partial[n]}\right)(F_w+F_{kl}+G_g)\right)} \qquad (1)$$

where: $D(w)$ - characteristic equation,

$\frac{\partial D(w)}{\partial[1]}$ - derivative of structural number the in relation to of edge [1],

$\underset{z}{Sim}\left(\frac{\partial D(w)}{\partial[1]};\frac{\partial D(w)}{\partial[2]}\right)$ **- function of simultaneousness of structural number,**

$F_{k1}, F_{k2}, \mathbf{K}, F_{kl}$ - kinematic excitation,

$F_1, F_2, \mathbf{K}, F_w$ - dynamic excitation,

$G_1, G_2, \mathbf{K}, G_g$ - forces generated through active elements.

In order to solve the problem of reducing the vibration of system it is possible to implement passive elements. In order to specify such elements, it is necessary to perform the synthesis or identification of system and then, depending on a structure and parameters as well as input functions affecting the system, to determine the structure of a system containing passive elements.

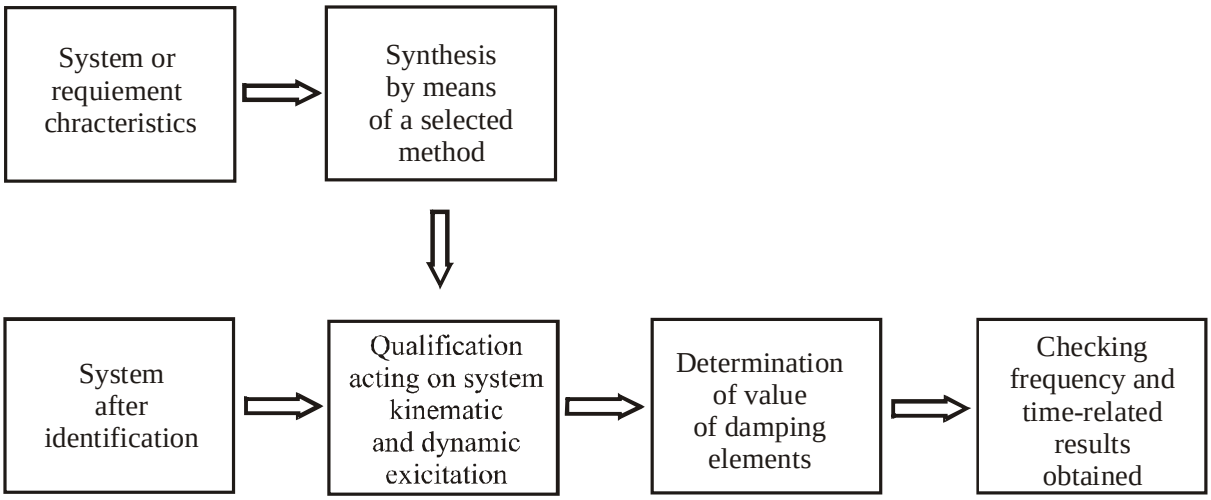


Fig. 2. Idea of synthesis of mechanical systems with damping elements

A general formula for value of damping [11], when damping is proportional to elastic element, is as follows:

$$b_i = l\,c_i \tag{2}$$

where: b_i - damping elements

l - modulus of proportionality

c_i - elastic elements

3. Conclusions.

In the thesis there are presented the basic methods of active mechanical systems synthesis. The synthesis realization aims to achieving the optimum mechanical system meeting the basic and additional assumptions.

After results achieving in the process of reverse task one receives, after considering the adequate assumptions, the polar graph on base of which the mechanical system model is received.

The received mathematic model as a result of synthesis allows to select mechanical system parameters for it to possess required dynamic features. The problem showed in such a way requires usage of synthesis methods, defined in categories adequate to the active systems class being considered.

References: **1.** Bellert S., Woźniacki H.: Analysis and synthesis of electric systems by means of structural numbers method. WNT, Warsaw 1968 (in Polish); **2.** Białko M., red.: Active Filters RC. WNT, Warszawa 1979 (in Polish); **3.** Buchacz A.: The expansion of the synthesized structures of mechanical discrete systems represented by polar graphs. Journal of Materials Processing Technology, Volumes 164-165, Achievements in Mechanical and Materials Engineering Conference 2005, Gliwice (2005) p.1277-1280; **4.** Buchacz A.: Modifications of cascade structures in computer aided design of mechanical continuous vibration bar systems represented by graphs and structural numbers. Journal of Materials Processing Technology, Volumes 157-158, Achievements in Mechanical and Materials Engineering Conference 2004, Gliwice (2005) p.45-54; **5.** Buchacz A., Świder J.(red.) in.: Computer support CAD CAM. Support for construction of systems reducing vibration and machine noise. WNT Warsaw 2001 (in Polish); **6.** Buchacz A., Żurek K.: Graphs as models of material active systems. Donetsk State Technical University, International Journal of Proceedings - Machine-Buildings and Systems,

Vol.19, Donetsk (2002), p.278-284; **7.** Buchacz A., Żurek K.: Design of Active Mechanical Systems. 12th International Scientific Conference Achievements in Mechanical & Materials Engineering, Gliwice (2003) p.131-134.; **8.** Buchacz A., Żurek K.: Modelling, analysis and synthesis of active mechanical systems. Materials, Mechanical and Manufacturing Engineering, Proceedings of the third Scientific Conference M3E'2005 Gliwice (2005) p. 695-704; **9.** Buchacz A., Żurek K.: Reverse task of active mechanical systems depicted in form of graphs and structural numbers. Monograph 81, Publication by The Silesian University of Technology, Gliwice 2005 (In Polish); **10.** Buchacz A., Żurek K.: Selection of active elements reducing vibrations. 8th Conference on Dynamical Systems Theory and Applications, Łódź (2005) p.863-868; **11.** Dymarek A.: Reverse task of damping mechanical systems depicted in form of graphs and structural numbers. Doctoral thesis, The Silesian University of Technology, Gliwice 2000 (in Polish); **12**. Kendall L. Su: Theory of active systems. WNT, Warsaw 1969 (in Polish); **13.** Michałowski S.: Active systems in machines construction. Publication by Cracow University of Technology, Monograph 171, Cracow 1994 (in Polish); **14.** Żurek K.: Active mechanical systems in reduction of vibration. Buletinul Institutului Politehnic Diu Iasi, Romania (2005) p.480-484; **15.** Żurek K.: Design of reducing vibration machatronical systems. Comment Worldwide Congress on Materials and Manufacturing Engineering and Technology, Computer Integrated Manufacturing Gliwice (2005) p. 292-297.

ANALYSIS OF SURFACE LAYERS MECHANICAL STRENGHTENING BY DYNAMICAL SHOT PEENING

BÍLIK, J. , BAČA, J. *(Fakulty of Materials Science and Technology, Trnava, Slovakia, kt@mtf.stuba.sk, Department of Forming, MtF , Bottova 23, 917 24 Trnava)*

Introduction. The lifetime, especially of dynamically stressed parts and tools, is influenced by surface layer. The surface layer is the most stresed by internal stress and there are various stress concentrators. Thus it is important, especially at dynamically stressed parts and tools to take increased attention on surface layer. From the surface can start the propagation of fatigue fracture or othe failure which disables the part or tool. It was proved and verificatedthat mechanical strenghtening of surface layers has positive influence on parts and tools lifetime.

Efects of Surface Layers Mechanical Strenghtening

Every cold plastic deformation is connected with deformation strenghtening. Dynamical methods based on strenghtening bodies throwing (mostly balls) on processed strenghtening of surface layers with various shade and dimensions. In this cabe it is the cumulation of small plastic deformation in surface layer during the impact of strenghtening bodies (balls) on strenghtened surface. At strenghtening the change of surface layers properties takes place, but the most important from lifetime is point of view is the change of mechanical properties such as increasing of tensile strenght, hardness and fatigue resistance. Mechanical strenghtening of surface layers is connected with creation of pressure residual stress in surface layers, which eliminates the unfavourable tensile stress created during machining. Also the influence of stress concentrators as technological or construction notches is eliminated. At thermally treated parts and tools the unfavourable effects and decarburization of surface layer.

The surface layers mechanical strenghtening causes:

a) the change of the static and fatigue resistance, because of the pressure residual stress in the surface layer,

b) the change of the abrasion resistance, because of the increased strenght and hardness of tre surface layer
c) the creation of the shell structure in the surface layer,
d) the change of the surface roughness,
e) the change of the electrical and physical properties of surface layer.

The Effect of the Strenghtening Bodies Impact on the Strenghtened Surface.

Matematical model of the effect of the impact procees from the bodies impact theory. At first when the omision of the elastic deformation of the surface and the body (ball) is supposed, the law of momentum can be used

$$m.v = F.t$$

where m – the mass of the strenghtening body (ball),
F – the force at the ball penetration into the surface,
t – the time of the ball penetration into the surface.
With further adjustment the following formula can be obtained

$$m.a = F \tag{1}$$

If in the formula (1) the deceleration „a“ is substituted by $a = -\frac{d^2x}{dt^2}$ and the force „F“ by $F = 2.p.R.x.s_{km}$ the following formula can be obtained

$$m.-\frac{d^2x}{dt^2} = 2.p.R.x.s_{km} \tag{2}$$

where R – the radius of the ball,
σ_{km} – the deformatin resistance of the strenghtened material,
x – the instantaneous depth of the ball penetration into the surface.
The conditions at the ball penetration into surface are showed on fig.1.
By solving the formula (2) the formula for the maximal depth of the ball penetration can be obtained, of course without consideration of elastic deformation

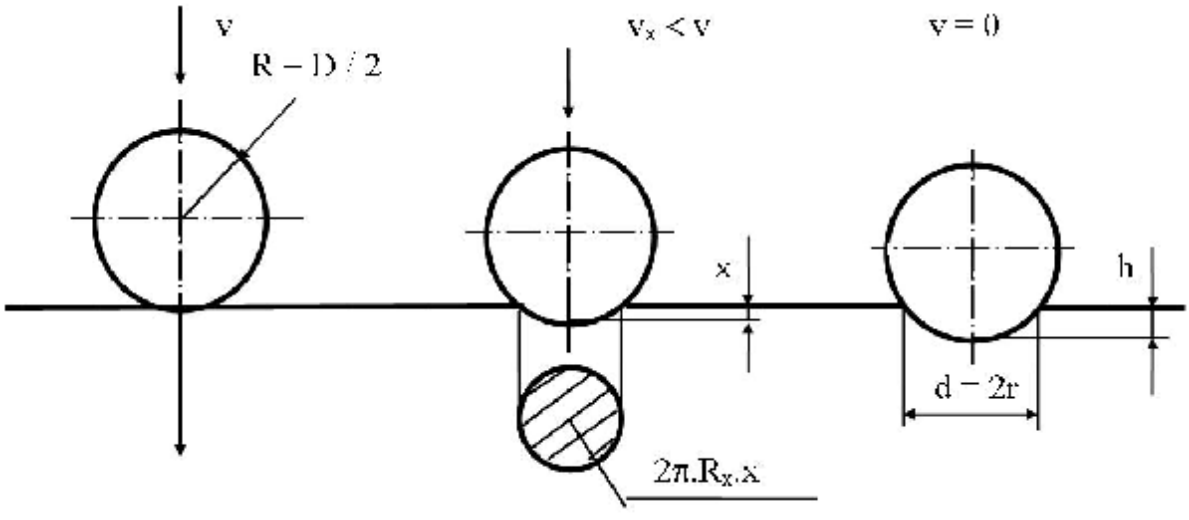


Fig.1 The ball pentration into the surface

$$x_{\max} = v.R.\sqrt{\frac{2.r}{3.s_{km}}}$$

where ρ – the density of the ball,

v – the velocity of the ball impact on the strenghtened surface.

At more accurete determination of the real depth of the ball penetration into the surface also the bounce velocity after the impact must be tahen in account.

In that case the depth of penetration can be established by formula

$$x_s = x_{\max}.\left[1-\left(\frac{v'}{v}\right)^2\right]$$

where v′ is the bounce velocity of the ball after the impact.

The velocity racio $\frac{v'}{v}$ presents the so called coeficient of restitution „k".

So the formula (4) can be presented as

$$x_s = x_{\max}.\left(1-k^2\right)$$

The coeficient of restitution „k" is not constant and its size decreases with the increasing impact velocity „v".

The experimental Determination of the Penetration Depth of plastic Deformation

For this the most used are :

- the measurent of hardness on surfaces after thin layers gradual grinding (fig.2),
- the measurement of hardness an tapered surface, created by the grinding of the strenghtened surface at $1\div2^o$ angle (fig.3),
- the measurement of the microhardness from surface to axis on the axial section,
- the observation of the surface layer strukture on the axial section.

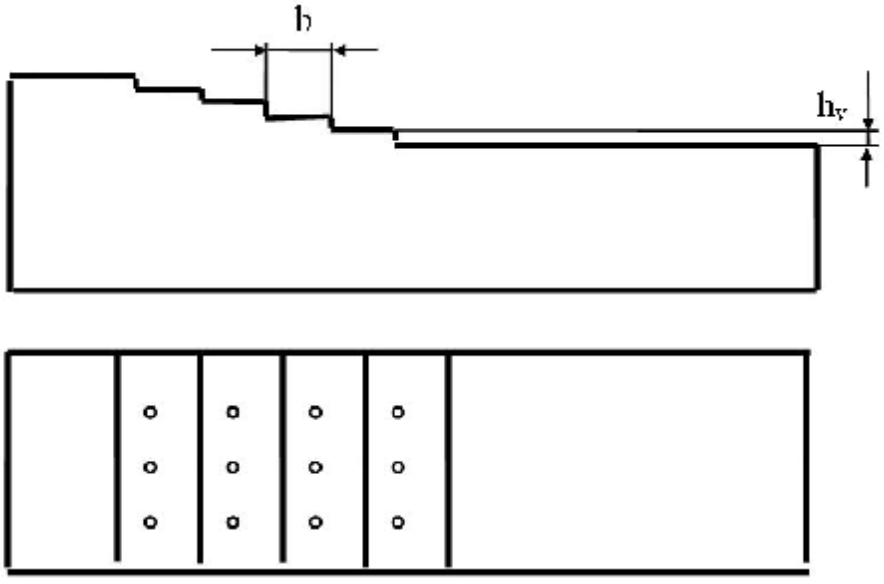


Fig.2 The adjustment of the specimen for the measurement of the hardness after thin layers gradual grinding

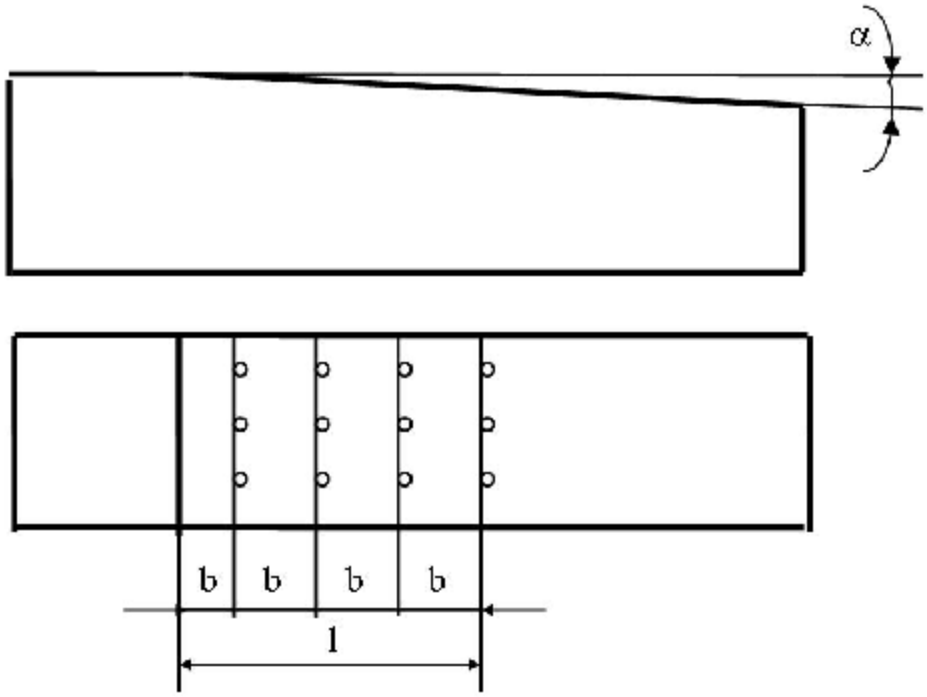


Fig.3 The adjustment of the specimen for the measurement of the hardness on the tapered surface.

In this case two methods the measurement of the hardness HRA after thin layers gradual grinding with thickness of 0,05 mm and the measurent of the microhardness HV from surface on the cross section are used for the determination of the plastic deformation penetration depth for STN 419552 tool steel.

The measured values are showed in table 1, 2 and graphs an fig.4 for the shot peening time 6 and 8 minutes, the ball impact velocity on strenghtened surface from 30 to 32 ms^{-1}. The measured values of microhardness are showed in table 3 and graphs on fig.5.

Table 1. The values of hardness from surface to axis for 19552 steel, the shot peening time 6 minutes, the hardness before shot peening 75 HRA, the surface hardness after shot peening 78 HRA.

The measurement place	1	2	3	4	5	6	7
The distance from surface [mm]	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
The average hardness from three measurements HRA	77,6	77,3	77,0	76,5	76,5	76,0	75,5

Table 2 The values of hardness from surface to axes for 19552 steel, the shot peening time 8 minutes, the hardness before shot peening 75 HRA, the surface hardness after shot peening 80 HRA

The measurement place	1	2	3	4	5	6	7
The distance from surface [mm]	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
The average hardness from three meas-	78,8	78,3	77,8	77,8	77,0	76,7	76,5

urements HRA							

Table 3. The measured values of microhardness HV0,05 for 19552 steel for the shot peening time 8 minutes.

Hardness of specimen before shot peening	Distance of imprint from surface [mm]	Measurement No.1	Measurement No.2	Average value of microhardness HV
		Hardness HV	Hardness HV	
40 HRC	0,04	478	478	478
	0,06	478	464	471
	0,15	444	396	420
	0,24	409	422	415
	0,36	411	394	402
	0,45	398	398	398
	0,55	404	394	399
48 HRC	0,04	530	540	535
	0,08	527	511	519
	0,14	499	527	513
	0,23	508	496	502
	0,32	502	493	498
	0,44	476	511	494

Conclusion

The determined values of hardness HRA at 588 N total load also values of microhardness HV at 0,4 N total load eudience that the mode of shot peening is suitable because of the maximum hardness on the surface and its gradual decreasing on the value before shot peening.

It was established by measuremt of hardness HRA and also microhardness, that the depth of plastic deformafion penetration at 19552 tool steel heat treated to hardness 40÷48 HRC was from 0,3 to 0,5 mm, which is suitable from the application point of view.

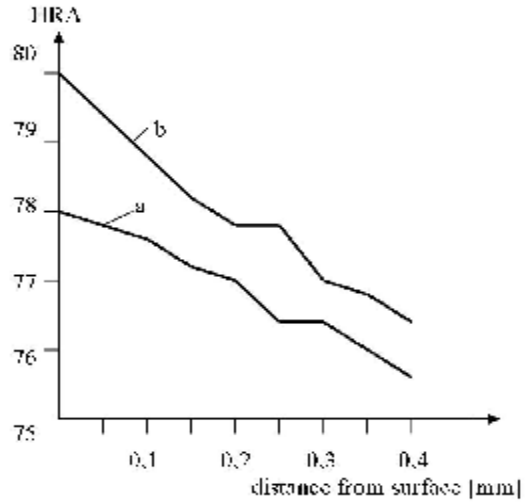


Fig.4 Influence of the distance from surface upon hardness for 19552 steel
a) for table 1, b) for table 2

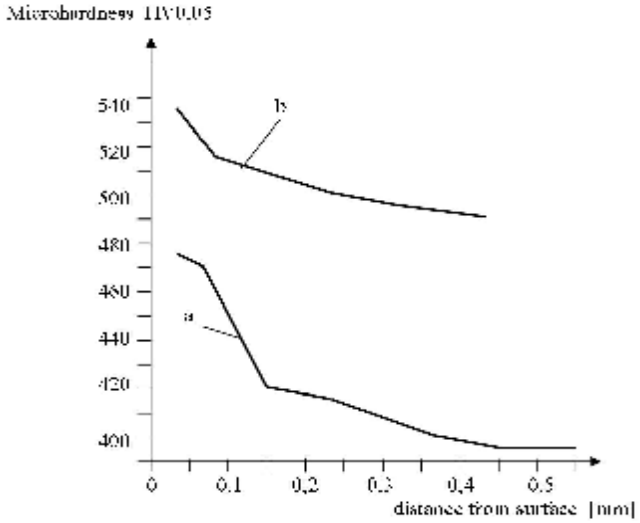


Fig.5. Influence of the distance from surface upon average value of microhardness for table 3 a – hardness of specimen before shot peening 40 HRC, b – hardness of specimen before shot peening 48 HRC

References: 1. Bílik, J.: Forging dies lifetime increasing by surface layers strenghtening. Dissertation, MtF STU, Trnava 2003. **2.** Bača, J.: Contribution on problem of cavity tools production by forming. Habilitation, MtF STU, Trnava, 1995. **3**. Bača, J., Bílik, J., Žatkovič, J.: Experimental Methods of Forming. Bratislava: ES STU, 2000. ISBN 80-227-1303-1. **4.** Bača, J., Bílik, J.: Technology of Forming. Bratislava: ES STU, 2000. ISBN 80-227-1339-2. **5**. Kapustová, M., Košťálová, M.: Research of influence semiheating temperature for formability of steel 14 220. In Akademická Dubnica 2002. Bratislava: STU, 2002, s.187-190. ISBN 80-227-1807-6. **6.** Kotras, P., Lazar, R.: New tendencies in strenghtening increasing of low alloy deepdrawing sheet metals. In Akademická Dubnica 2003. Bratislava: STU, 2003. s.177-180. ISBN 80-227-1915-3. **7.** Tittel, V.: Strengthening of eutectoid steels upon cold drawing. In Metal 2005. Ostrava: Tanger, 2005. ISBN 80-86840-13-1. **8.** Polák, K., Heriban, F.: Integrity of surface forgeds. In Kovanie. Bratislava: STU, 2005, s.53-58. ISBN 80-227-2282-0. **9.** Ulík, A.: Research resistance to deformation at various state of stress. In Forming 2002. Ostrava VŠB-TU, 2002, s.315-320. ISBN 83-910722-6-6

PHOTOELECTRIC MOTOR WITH STATIONARY AXIAL DIAPHRAGM

Jarosław BOBITSKI, Damian IWIŃSKI *(Institute of Technology, University of Rzeszów 16c, Rejtana Str., PL 35–310 Rzeszów, Poland daivi@univ.rzeszow.pl)*

The present paper deals with the photo-commutation effect that can be described most easily by means of elementary photoelectric motor construction. The elementary photo-commutation cycle has been analysed as well as theoretical quantitative relations. Analysis of properties of solar energy powered motor has been performed based on relations between light intensity and functional parameters of the motor. The aim of the research was to examine effect of illumination intensity on photoelectric commutator parameters, motor start-up conditions, and rotor rotational speed. In the paper is proposed the mathematical model of proposed and

*made by as elementary DC photomotor. As the power source of this motor are photodiodes in armature coil which are supplied by light. The commutation of photodiodes realizes by light and shade. The mathematical model consists from ordinary differential equations in normal Cauchy form of electromechanical state. The results of computation are given.****Keywords:*** *photoelectric motor, photoelectric commutator, photovoltaic cells, contactless commutator.*

INTRODUCTION. As demand for energy coming from ecological sources increases, researchers pay more attention to possibility of construction of small electric machines powered with solar energy. One of possibilities consists in application of semiconductor photovoltaic cells to drive direct current electric motors. In such motors, the photocells represent integral part of construction. The elementary photoelectric motor, which will serve here for demonstration of the photo-commutation effect, is an electromechanical device that transforms electric pulses coming from photovoltaic cells into mechanical motion. It is realised as a direct current machine containing a photocommutator. Figure 1 represents schematic diagram of the photoelectric motor.

Rotor of the photoelectric motor (4) rotates in magnetic field of a permanent magnet (3) in small angular steps induced by electric signals, supplied in proper sequence from the photocells (2). Photovoltaic cells rotate together with the rotor and are connected to its windings. Sequence of signals is forced by photoelectric commutator, of which a fixed diaphragm (1) is an integral part (in case discussed here). Sense of rotor rotation is related directly to the supply voltage depending on polarity of cells. First designs of photoelectric motors with one pair of photovoltaic cells determine a new trend in direct current motor design development, closely related to continuous progress in construction of new and still more efficient photovoltaic cells. In order to optimize parameters of photoelectric motors, it is necessary to test them by means of specially designed measurement setups.

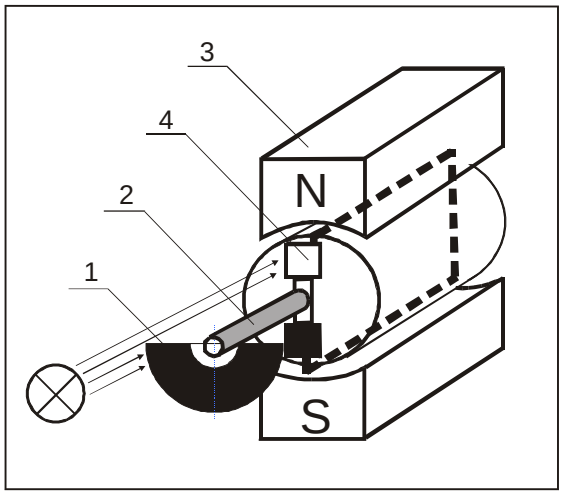


Fig. 1. Diagram of the photoelectric motor with stationary axial diaphragm (see text for description)

The measurements cover basic parameters of photo-commutator and dependence of rotor's rotational speed on illumination conditions.

THE PHOTO-COMMUTATION EFFECT

The principle of operation of photoelectric commutators is as follows. The light beam illuminating currently exposed cell(s) connected to motor windings results in voltage pulse, duration of which depends on diaphragm's window width, photovoltaic cell surface area, and rotational speed of the rotor. Occurrence of the pulse results in feeding of the mo-

tor's windings with proper voltage or configuration of voltages. The voltages are there until occurrence of the next driving pulse coming from next photocell(s) exposed by the diaphragm. This results in change of current distribution in the winding, causing change in magnetic field direction, which consequently results in rotor turn by certain angle. Number of configurations of driving voltages, after which they start to repeat, can be called (just like in the case of a stepping motor) the commutation cycle. There are two fundamental types of photoelectric commutators:

- axial, with rotating or fixed diaphragm,
- radial, with rotating or fixed diaphragm.

Bearing in mind that the principle of operation for both types of photoelectric commutators is the same, in the following we discuss only the case of axial photoelectric commutator with fixed diaphragm.

ELEMENTARY PHOTO-COMMUTATOR

Elementary photoelectric commutator with fixed axial diaphragm has two single photovoltaic cells installed axially directly on the rotor. The fixed diaphragm is installed on the stator. The cells are interconnected so that exposure of both of them at the same time would result in a short-circuiting (Fig. 2).

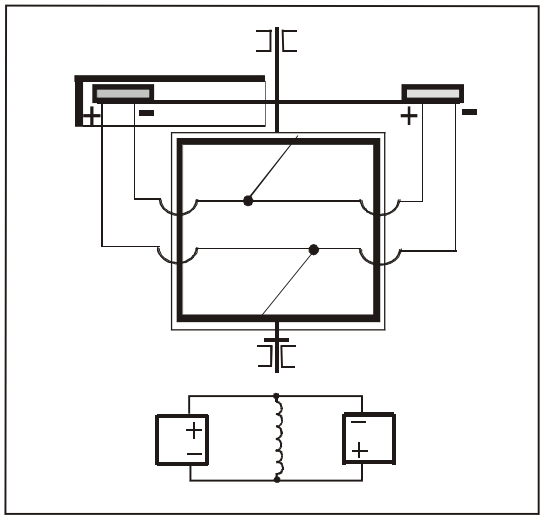


Fig. 2. Diagram of commutator photocells' connections with rotor windings

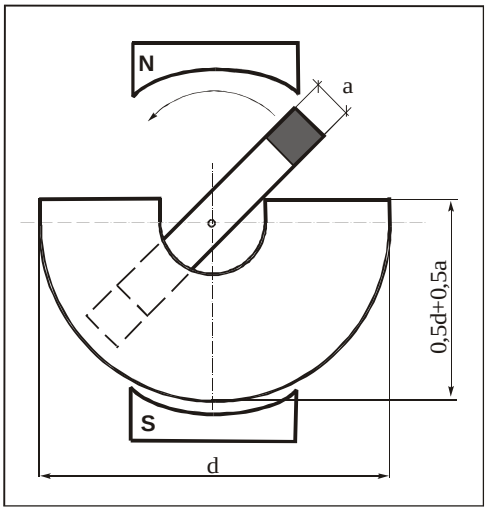


Fig. 3. Diagram of the photoelectric commutator

Rotor of construction described above constitutes one segment of the photo-commutator. To obtain the photo-commutation effect, the fixed diaphragm must fulfil the fundamental conditions: firstly, one of the photocells must be completely shaded; secondly, the diaphragm must be properly situated with respect to the stator. It has to make possible for rotor to rotate by angle of 180 degrees. Diagram of the elementary photo-commutator and its theoretical dimensions are shown in Figure 3.

Dimensions of the diaphragm are selected depending on size of photocells so that they are prevented from short-circuiting. The diaphragm causes momentary complete shading of both cells. Thanks to inertia of the rotor, the second cell is being exposed. Theoretically, in case of shading of both cells, autonomous start-up of the motor is impossible. In practice this is not the case, because perfect shading of both cells is impossible, and usually more than two segments of the photo-commutator are used. The voltage pattern in single cell (before short-

circuiting and connection with the rotor) in the course of photo-commutator operation is shown in Fig. 4.

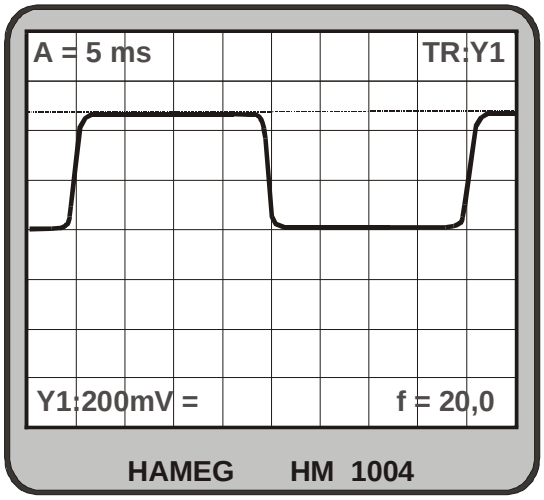


Fig. 4. Characteristics of a single photocell obtained by means of HAMEG HM 1004

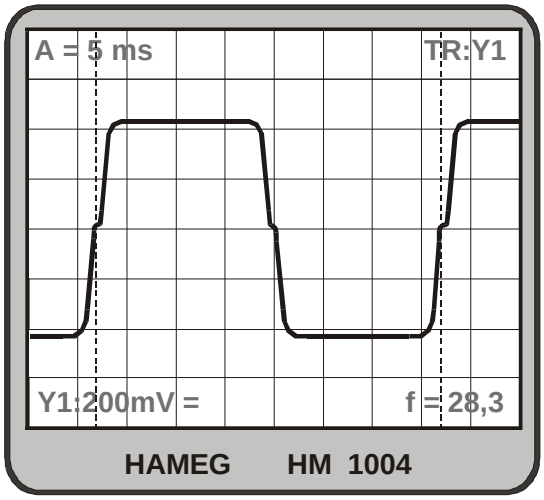


Fig. 5. Characteristics of pair of photocells obtained by means of HAMEG HM 1004 oscilloscope

The presented characteristics was taken at rotational speed of 1200 rpm and illumination intensity of 10 000 Lx. Determination of cells voltage is possible from this figure, equalling about 0.44 V. Figure 5 shows the resultant characteristics of the short-circuited pair of cells before connection to the rotor taken at the same illumination as above and at 1700 rpm.

One full period of photo-commutation is visible. After exposure of the first cell, voltage increases until a maximum value depending on actual conditions and remains the same until the moment of shading. Temporary drop of the voltage occurs (both cells are shades). After exposure of the second cell, the voltage reaches the same value, but of the opposite sign. Then the voltage decays. The maximum voltage value depends on intensity of light illuminating the surface of the cell. Comparing the two plots, one can note that voltage produced by pair of cells is slightly lower than the value for single cell which is a result of imperfection of the diaphragm. The period of total shading of the pair of photocells decreases with increasing rotational speed.

Mathematical model of photoelectric motor with two segments of the photo-commutator

As an object of research, a silicon photovoltaic cell has been used of the following parameters: I_{max}=1,1mA, U_{max}=0,5V, dedicated for military applications. The active area of the cell equaled 10 mm ^{2} The motor under investigation has been equipped with two-segment commutator. Fig. 6 represents rotational speed of the rotor versus illumination intensity in artificial light conditions. It can be seen from the plot that motor start-up occurs only after the intensity exceeds the value of E = 1,500 Lx. Together with increasing light intensity, rotor speed increases and stabilizes at intensity of E = 20,000 Lx. Further increase of light intensity does not cause increase of rotational speed (the solid line). With light intensity decreasing, rotor speed decreases down to its minimum value of n = 150 min^{-1} at E = 1,000 Lx (dashed

lined, point *A* representing a limit of characteristics consistency).

The minimum period required for stabilization of rotational speed was established as equal to Fig. 7 represents rotational speed of the rotor versus illumination intensity in artificial light conditions. That motor start-up occurs only after the intensity exceeds the value of E = 1,500 Lx. The next step consist in finding the period of time after which the rotor will reach its maximum rotational speed at given value of illumination intensity. Fig. 4 represents the start-up characteristics at E = 5,000, 12,000, and 22,000 Lx

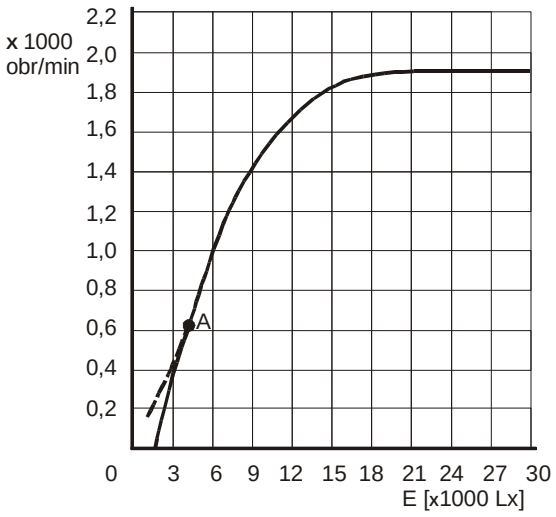


Fig. 6. Rotor rotational speed versus

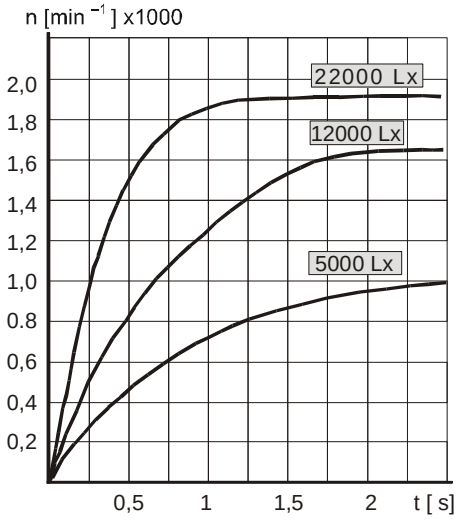


Fig. 7. Motor start-up characteristics at different light intensity values

Mathematical model of photoelectric motor

The equation of armature winding has ordinary form

$$u(\lambda,t) = L\frac{di}{dt} + (r + r(\lambda))i + e,. \tag{1}$$

where:

$u(\lambda,t)$ is photocell voltage as function of illumination λ and time t;

i is current;

e is EMF of rotation;

r is winding resistance;

$r(\lambda)$ is photocell resistance.

EMF we look for according to Faraday's law

$$e = -w\frac{d\Phi}{dt}, \tag{2}$$

where:

Φ is magnetic flux;

w is number of armature winding coils.

Magnetic flux we look for determination:

$$\Phi = \int_S \mathbf{B}d\mathbf{S} = BS\cos\gamma, \tag{3}$$

where:
B is module of magnet induction vector **B**;
S is averaged area of armature winding window;
γ is angle of rotor turn.
Having placed (3) into (2), we receive:

$$e = w\omega BS\sin\gamma, \tag{4}$$

where ω is angular velocity of rotor.
Having placed (4) into (1), we receive:

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L}\left(u(\lambda,t) - (r + r(\lambda))i - w\omega BS\sin\gamma\right). \tag{5}$$

The differential equation (5) we must add by movement equation

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J}\left(T - T_m(\omega,t)\right); \qquad \frac{d\gamma}{dt} = \omega, \tag{6}$$

where:
M is internal torque;
$M_m(\omega,t)$ is impressed mechanical moment (given).
The expression of internal torque we obtain from magnetic energy of coil w_m

$$T = -\frac{\partial w_m}{\partial g} \tag{7}$$

why

$$w_m = w\Phi i = wBSi\cos\gamma. \tag{8}$$

Having placed (9) into (6), we have

$$T = wBSi\sin\gamma \tag{9}$$

Having placed (9) into (6), we have

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J}\left(wBSi\sin\gamma - T_m(\omega,t)\right); \qquad \frac{dg}{dt} = w \tag{10}$$

Imposing the condition of photocell commutation by light and shade the (5), (10) quire definitive form:

$$\begin{cases} \dfrac{di}{dt} = \dfrac{1}{L}\left(u(l,t) - (r + r(l))i - wwBS\bmod(\sin g)\right) \\ \dfrac{dw}{dt} = \dfrac{1}{J}\left(wBSi\bmod(\sin g) - T_m(w,t)\right) \\ \dfrac{dg}{dt} = w \end{cases} \tag{11}$$

The proposed method of elementary photomotor my by generalized on real photomotor with arbitrary number of armature winding.

THE RESULT OF COMPUTATION

Fig. 8 represents the result of computation of some transient process particularly – the starting of unloaded photomotor by constant candlelight 22000 Lx.

In this case was integrated the ordinary differential equations (11) by concrete parameters:

$$\frac{di}{dt} = 385\left(0,212 - 338i - 0,1293nB\,\mathrm{mod}(\sin\gamma)\right);$$
$$\frac{dn}{dt} = 2019200Bi\,\mathrm{mod}(\sin\gamma); \qquad \frac{d\gamma}{dt} = 6,28n, \tag{12}$$

where: n is promptness of motor in turn/sec

$$n = \omega/(2\pi). \tag{13}$$

Calculated (A) and experimental (B) motor start-up transient characteristics

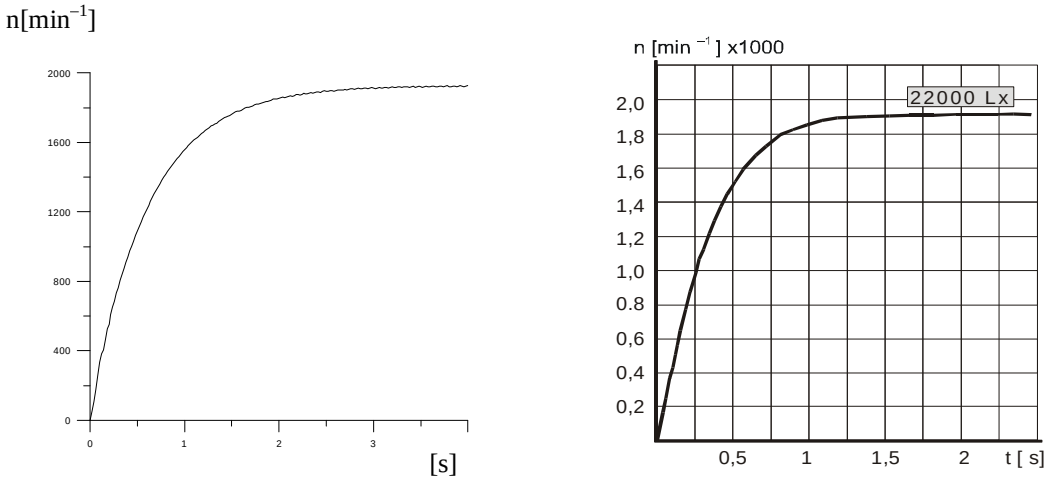


Fig .8. **A** - Calculated motor start-up transient characteristic by given light intensity values 22000 Lx: n = n(t) turn/min; **B** - Experimental characteristic.

Comparing the calculation transient curve from fig. 8A with corresponding experimental curve (22000 Lx) from fig. 8B we see that they are equal with precision in all process diapason. The considered and described photomotor not exclude all possible construction of photomotors.

SUMMARY

In the photoelectric motor, photo-commutator serves for keeping the sense of force acting on rotor winding sides constant. Considering the principle of operation of the photoelectric commutator one has to bear in mind that it plays role of both the emitter of steering pulses and the power source. As a consequence, one has to keep the area of active surface as large as possible in each of its segments. One should also to minimise the period of total shading of the pair of cells. Important is also the fact that commutation is realised without contact.

Light intensity influences in a decisive way both start-up conditions and maximum rotational speed of the motor.

References: 1. Y. Bobytsky., D.Iwiński., 2003, *„The photo-commutation effect demon-*

strated by means of elementary photoelectric motor", XVII School of optoelectronics - Kazimierz Dolny. **2.** Y. Bobytsky., D.Iwiński., 2004, *„Investigation of photoelectric motor with stationary axial diaphragm static and dynamic characteristics"* OPTO-ELECTRONICS REVIEW, vol.12, no. 1. **3.** V. Tchaban , Y. Bobytsky, D. Iwinski, *„Mathematical model of elementary DC photo-motor"*2nd International Conference on Intelligent Knowledge Systems (IKS-2005) Istanbul **4.** V. Tchaban. Mathematical modeling of electromechanical processes (in Ukrainian). Lviv, 1997

SOME PROPERTIES OF THE TIC-(VC, NbC, WC) BASED HARD ALLOYS

Bodrova L.G., Kramar G.M., Lazaryuk V.V., Buhra M.M., Marynenko S.Yu.
(Ternopil State Technical University, Ternopil, Ukraine)

The mechanical and service characteristics of the TiC-(VC, NbC, TaC, WC) based hard alloys with the nickel-chromium binder were investigated. The hard alloys were manufactured by the traditional technology (wet grinding of the initial powders, cold pressing and vacuum sintering) and by the new developed technology, which includes the additional operation - the preliminary synthesis of the complex carbide. Microstructure and interaction of the components were investigated by metallography, X-ray diffraction analysis and scanning electron microscopy. The specific core-rim structure of carbide grains was found. Transverse rupture and compression strength, hardness, fracture toughness were investigated. Some practical recommendations for the alloys application were given.

INTRODUCTION.

The TiC-based polycarbide hard alloys are characterized by a complex of the mechanical properties: high hardness, wear resistance and satisfactory strength. These alloys are successfully used as a substitute for some grades of WC-Co hard alloys for cutting both structural, alloyed steels and non-ferrous metals [1, 2]. This paper presents investigation of mechanical properties of the hard alloys based on TiC with additions of VC, NbC, WC and Ni-Cr binder.

MATERIALS AND METHODS.

The hard alloys were manufactured by the traditional technology **A** (wet grinding, cold pressing and vacuum sintering) and by the developed technology **B** which includes, as additional operation, the preliminary synthesis of the complex carbide.

The grinding of powder mixture was carried out in the ethyl medium in a ball mill during 72 hours. A 5% solution of synthetic rubber was used as plasticizer. The sintering was carried out in the vacuum furnace in double-stage regime of slow heating in temperature interval of the plasticizer decomposition. Then, specimens were sintered at temperatures 1350-1450^{o}C depending on composition of carbide phase. The composition of the alloys, density and average grain size are shown in Table 1.

Analysis of microstructure and fracture surfaces of the hard alloys were carried out at the optical microscope "Neophot" and the scanning electron microscope "Camscan 4DV". X-ray diffraction analysis was carried out using a "DRON 3M" diffractometer with CuKα radiation.

Table 1. Chemical composition, density and average grain size.

	Carbide phase composition, (wt. %)*	$\gamma_{add.}$, g/cm^3	γ_b, g/cm^3	Average grain size, μm
	TiC-5VC	5.35	5.19	1.3
	TiC-5NbC	5.73	5.46	1.1
	TiC-5VC-5NbC	5.68	5.33	1.5
	TiC-5VC-5NbC-5WC	5.67	5.61	1.8

* In all the alloys the Ni-Cr binder content is 18% (wt.) (Ni:Cr=3:1)

The mechanical properties of the alloys: compression strength σ_{cs}, transverse rupture strength σ_{trs} were tested at the room temperature. σ_{cs} was determined according to standard GOST 27034-86 at 30-ton universal machine CDN-1OPU on cylindrical specimens with diameter d=8mm and height h=16mm. σ_{trs} was determined according to standard GOST 20019-74 by the method of the three-point bend on specimens with dimensions: a=5±0,25mm, b=5±0,25mm, c=35±1mm. Hardness by Rockwell and Vickers was determined according to the standard methods. Fracture toughness K_{1c} was determined by the methods of three-point bend and indentation [3].

DISCUSSION AND RESULTS

Microstructure investigation of hard alloys with different carbide composition (Fig.1) was carried out. It shows that coaxial character of carbide phase keeps with adding VC, NbC, but area of complex solid solution increases significantly where as the size of carbide grains decreases. Comparison of microstructure of hard alloys with addition of 5% wt. VC, NbC shows that NbC promotes formation of fine-grained structure: the size of carbide grains decreases from 2-3 μm to 0.5-1μm.

It is determined that binder is a homogeneous solid solution of Ti, Nb, W and Cr in Ni with a structure of face-centered cubic lattice. It proves to be true by increase of parameter of a Ni lattice as contrasted to the tabulated value (0.3524 nm): up to 0,3573 nm for alloy N2; up to 0.3571 nm for alloy N3; and up to 0.3593 nm for alloy N4. The character of its distribution changes with increasing of Ni-Cr binder content from 10% up to 24 %(wt.) – from some isolated cells to formation of uniform grid which surrounds carbide grains.

a) b)

3 μm 3 μm

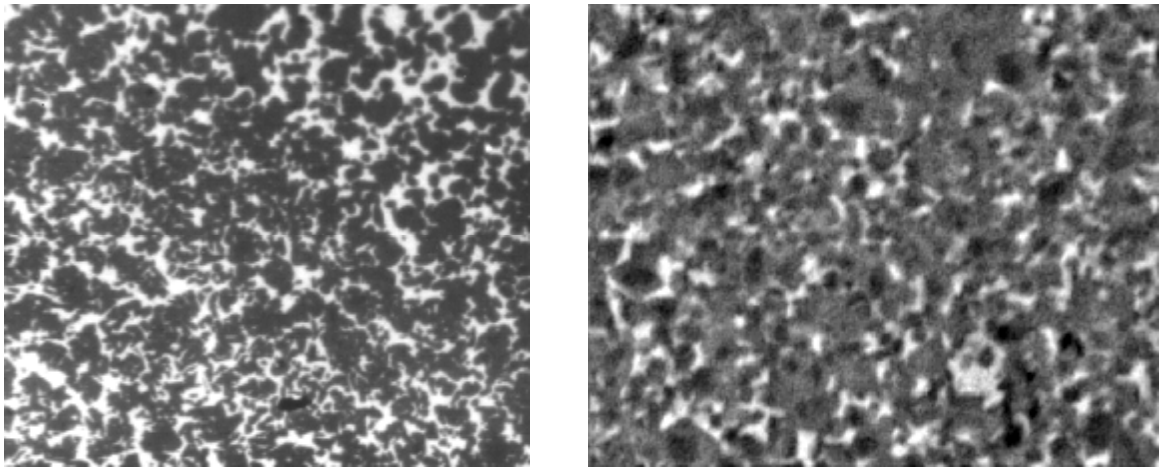


Fig.1. Microstructure of the hard alloys based on TiC-VC (a), TiC-NbC (b).

The X-ray phase analysis of the structure alloys 1 and 2 showed the presence of the complex solid solution (Ti,V,)C, (Ti,Nb)C with the lattice parameters, which changed according to the sintering temperature. The phase content of the alloys, sintered at different temperatures, is shown in Table 2.

Table 2. The TiC-VC/NbC alloys phase content after sintering.

ST,°C	Phase composition		Lattice parameter TiC, nm	
	TiC-5VC-NiCr*	TiC-10NbC-NiCr**	TiC-5VC-NiCr	TiC-10NbC-NiCr
1200	(Ti,V)C, Ni, traces Fe_3C, $Cr_{23}C_6$	(Ti,Nb)C, Cr_7C_2, Ni, traces NbC, Cr, $Cr_{23}C_6$	0.4297	0.43314
1300	(Ti,V)C, Ni, traces Fe_3C, $Cr_{23}C_6$	(Ti,Nb)C, Cr_7C_2, Ni, traces NbC	0.4255	0.43352
1350	(Ti,V)C, Ni, traces Fe_3C, $Cr_{23}C_6$, Ni_3C	(Ti,Nb)C, Cr_7C_2, Ni	0.4263	0.43321
1400	(Ti,V)C, Ni, traces Fe_3C, $Cr_{23}C_6$, Ni_3C	(Ti,Nb)C, Cr_7C_2, Ni	0.4300	0.43316
1450	(Ti,V)C, Ni, traces Fe_3C, $Cr_{23}C_6$	(Ti,Nb)C, Cr_7C_2, Ni	0.4393	0.43326

* Technology **B** with the preliminary synthesis of the complex carbide.

Technology **A.

The X-ray phase analysis has not showed the alloying carbides presence. This fact and also the results of the SEM-analysis allow to conclude that the complex solid solutions (Ti,V, Nb)C and (Ti,V, Nb, W) C are formed (table 3).

Table 3. Data for X-ray and SEM analyses of the alloys 3 and 4 after sintering.

	Phase composition	Lattice parameter TiC, nm

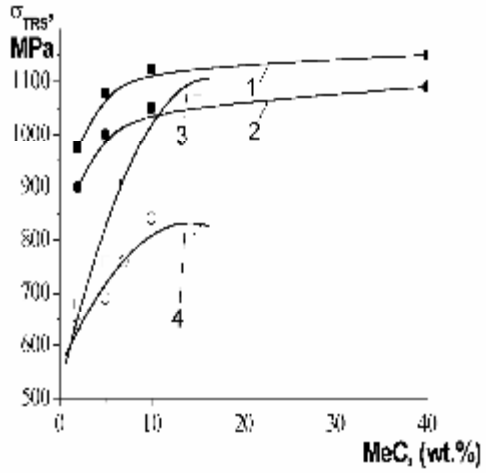


Fig.2. The influence of VC (1, 2) or NbC (3, 4) content on transverse rupture strength. 1, 3 - technology B; 2, 4 - technology A.

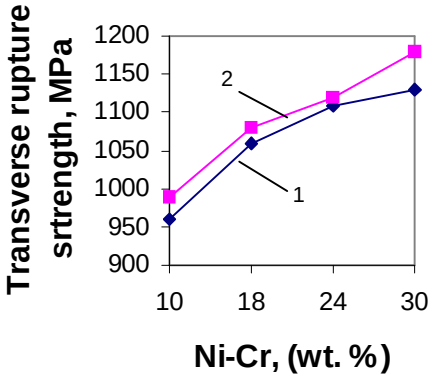


Fig.3. The influence of Ni-Cr content on transverse rupture strength for the alloy based on TiC-5VC-5NbC; 2 - technology B; 1 – technology A.

	TiC-5VC-5NbC-5WC-13,4Ni-4,5Cr	TiC-5VC-5NbC-13,4Ni-4,5Cr	TiC-5VC-5NbC-5WC-13,4Ni-4,5Cr	TiC-5VC-5NbC-13,4Ni-4,5Cr
350	(Ti,V,Nb,W)C, Ni	-	0.43123	-
450	(Ti,V,Nb,W)C, Ni, traces $Cr_{23}C_6$	(Ti,V,Nb,)C, Ni, traces $Cr_{23}C_6$	0.43147	0.43140
450*	-	(Ti,V,Nb,Cr)C, Ni	-	0.43122

*Technology **B** with the preliminary synthesis of the complex carbide.

The dependencies of transverse rupture strength on VC, NbC, Ni-Cr content and sintering temperature are shown in Fig.2, 3. Hard alloys, which were obtained by the technology **B**, have improved characteristics. The increase of VC or NbC content is accompanied by increasing of strength that indicates structural transformations in carbide phase and binder. The formation of complex carbide of (Ti, V/Nb, Cr)C with higher strength characteristics is the reason of increasing of transverse rupture strength for grains size less than 3 μm. The presence of the phase (Ti,V/Nb, Cr)C is confirmed by SEM investigations [4]. Due to alloying of the carbide phase, the hard alloys strength characteristics increased by 25 – 30 %.

Investigation of hard alloys, which were prepared with different Ni-Cr binder content (10, 18, 24 wt. %), shows that transverse rupture strength increases with binder content raise, and the hardness has a maximum at 18 wt.% Ni-Cr for all the alloys (fig.4). The TiC-5VC-5NbC-5WC-18NiCr alloy has a maximum of hardness at the sintering temperature of 1450 ^{0}C (fig.5).

Dependencies of microhardness $HV_{0,2}$, σ_{trs}, σ_{cs} on sintering temperature and technology are shown in Fig.6, 7. It was determined that the sintering conditions (T=1450 ^{0}C, τ=40 min) by the technology **B** are optimal for obtaining of high level of mechanical characteristics. For the hard alloys of all compositions there were observed sometimes significantly higher values of mechanical characteristics (σ_{cs}=3120 MPa, σ_{trs}=1230 MPa, HRA 93) that indicates their improved properties.

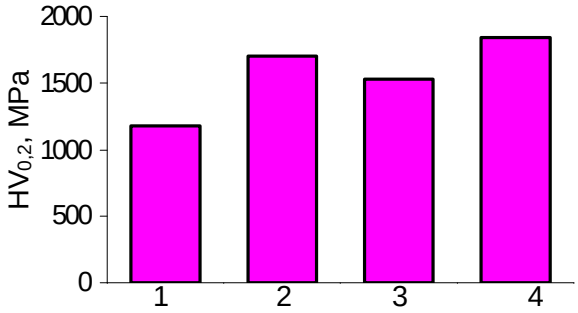


Fig.6. The influence of technology and sintering temperature on microhardness of the carbide phase of the alloys N4 (1, 2) and N3 (3,4). Sintering temperature, ^{0}C: 1 – 1350; 2-1400; 3, 4 – 1450. Technology: 1, 2, 3 - **A**; 4 - **B**.

Repeating mechanical properties and keeping its high level are very important features in hard alloys manufacturing. Such characteristics as transverse rupture strength and compression strength have considerable variability of results. It is possible to raise significantly mechanical properties of the developed materials by correction of the hard alloys manufacturing technology.

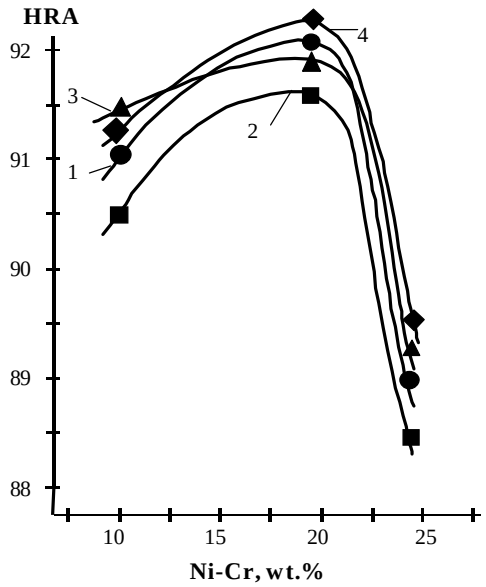


Fig.4. The influence of Ni-Cr binder content on hardness of the alloys based on: 1 – TiC-5NbC; 2 – TiC-5VC; 3 – TiC-5NbC-5VC; 4 - the alloy TiC-5VC-5NbC-5WC (technology **B)**

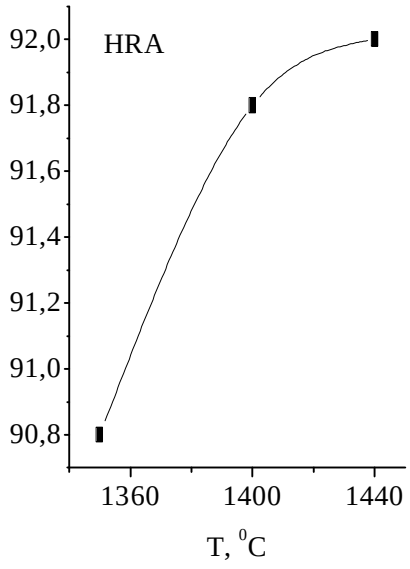
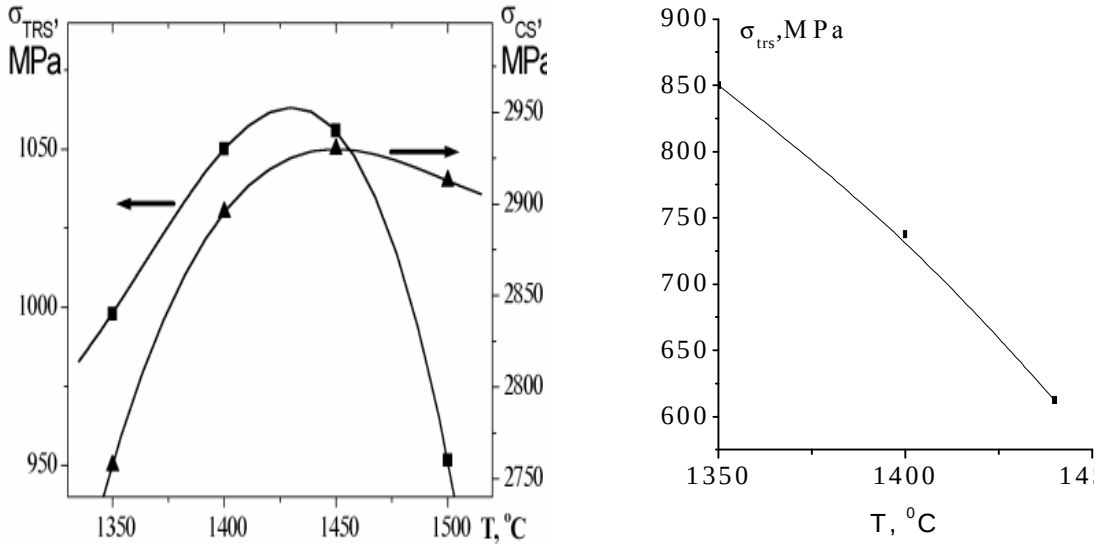


Fig.5. Dependence of hardness on sintering temperature for the alloy TiC-5VC-5NbC-5WC-18NiCr (technology **A**)

It is known [5], that fracture toughness is constant for a material of the same composition and structure therefore it is used together with σ_{trs} for comparison of failure resistance of materials with different compositions and structures.



a) b)

Fig.7. Dependencies of transverse rupture strength and compression strength on sintering temperature for (Ti, V)C based hard alloys (technology **B**) (a), and for the alloy TiC-5VC-5NbC-5WC-18NiCr (technology **A**) (b). Sintering time – 40 min.

Impact strength of the hard alloys based on (Ti,V)C does not exceed 1.3-1.8 kJ/m^2, which is close to the values of impact strength of the fine-grained WC hard alloys [5].

The investigations showed that fracture toughness of hard alloys obtained by technologies **A** and **B** is significantly different: in the first case it was 6.8-8.1MPa·m ^{½}, in the second case it was 10.4-12.8 MPa·m ^{½}. Fracture toughness of the developed hard alloys is higher than the known free-tungsten hard alloys. Through fractographical analysis it was established, that hard alloy with 10 % of Ni-Cr binder damages by brittle mechanism but fracture of the hard alloy with 24 % of Ni-Cr binder is accompanied by appearance of elements of microviscous fracture.

CONCLUSION

For all the investigated alloys a fine-grained structure with carbide grains size of 0.5-3μm was observed. It was found out that the complex solid solutions (Ti,V)C, (Ti,Nb)C, (Ti,V,Nb)C, (Ti,V,Nb,W)C are formed. The sintering conditions (T=1450 ^{0}C, τ=40 min) by the technology B are optimal for obtaining of high level of mechanical characteristics: σ_{cs}=2930 MPa, σ_{trs}=1180 MPa, HRA 93, K_{1c}=12.8 MPa·m ^{½}. Results of mechanical properties of the TiC-(VC, NbC, WC) based hard alloys with the Ni-Cr binder show that it may be used as structural and tool materials for inserts, dies, press molds, wire dies. The location of alloys in the ISO system corresponds to the interval P10...P25.

Reference: 1. Kisly P.S., Letun D.M., Bodrova L.G., Kaspruk N.V., ShevchenkoV.A. Sverkhtverdye Mater., N1.-1981.- P. 66-68. **2.** L. Bodrova, V. Lazaryuk, G. Kramar. Properties and Composition of the TiC-NbC Based Cemented Carbides // Proc. of the 1998

Powder Metallurgy World Congress, Granada, Spain (1998).- Vol.4.- P.105-109.**3.** Bodrova L., Kramar G., Lazaryuk V. Physical and Mechanical Properties of Free-tungsten Alloys on the Double Based. Proc. of Ternopil State Tech. Univ., 2002. - Vol.7, N3.- P.9-16. **4.** Bodrova L., Kramar G. The microstructure of Titanium and Vanadium carbides based Hard Alloys//Proc.of the EURO PM'99 Conference on Advances in Hard Materials Production, Turin, Italy, (1999), p. 269-276. **5.** Loshak M.G. Strength and durability of hard alloys.-K.: Naukova Dumka, 1984.- 328 p.

SETTLEMENT OF CAR'S MAINTENANCE WORKS PERIODICITY IN ORDER TO PROVIDE A MINIMUM RELIABILITY LEVEL

Boroiu A.[1)], Nicolae V.[1)], Dobrescu I.[1)], Popa L.[2)] *([1)]UPIT, Romania, [2)]RAR, Romania)*

Providing a minimum reliability level during car exploitation requires a proper organization of the preventive maintenance, the main factor being the periodicity of the preventive maintenance works. Determination of this periodicity requires reliability modeling, preferably by Weibull law, using a special calculation program; after that it could be determined the corresponding periodicity, graphically or analytically, for any level imposed by the reliability.

Introduction. The maintenance of technical systems has two components, in diverse proportions: preventive maintenance and corrective maintenance.

The planned maintenance works are the object of preventive maintenance and they are performed using a scientific founded program.

For cars, some components are treated with special attention because their failure could have a catastrophic effect, producing accidents with important consequences: dead men, serious injured or great material damages.

In this category it is included the car's security systems (steering system, braking system, rolling system) and the components that could determine car's damage when fail.

As a consequence, for all these components, the main criterion in organizing the maintenance activity is to provide a high reliability level, in order to diminish the apparition risk of a road accident or damage.

Nowadays, car reliability is a performance criterion, being assimilated with car safety; this is one of the 3 or 4 criteria (marked by stars, maximum 5) for evaluation of car models. In order to provide an imposed reliability level we must rely on scientific studies, with a high credibility level.

Car designers have permanently in attention to provide good car maintenance, and the designers of the maintenance system have in view the "safety" criterion for the so called security parts, in comparison with the other parts where most important is the "technical-economical efficiency" criterion.

Modeling the reliability using the Weibull law.

The Weibull law is one of the most used distribution laws for reliability studies, because it has a large applicability and a high generality level, in some cases being identified with statistical models very used in reliability.

The Weibull law is defined by the three-parametrical relation:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-g}{h}\right)^b} \qquad (1)$$

with:
γ = localization (position) parameter, a constant that defines the moment of variation start of the reliability function R(t);
η = scale parameter, expressing the extension of distribution on the time axle. So, if $(t - \gamma)$ equals η, R(t) calculated with relation (1) becomes:

$$R(t) = e^{-1^b} = e^{-1} = 0{,}368 \quad (2)$$

The scale parameter represents the time, measured from the moment γ, when 63,2% of the elements could fail. Because of that, this parameter expresses a characteristic running time.

The parameters γ and η are presented in time units.
β = shape parameter, a non-dimensional parameter determining the shape of the variation curve of R(t).

Because the Weibull law is very general, it is to be considered that it could define with precision any distribution of the failure moments; so, modeling a distribution using the Weibull law doesn't need an initial check of the Weibull law suitability. This doesn't mean that the Weibull model will be considered to be the most credible one, because it is possible that some experimental distributions will be better estimated by other theoretical laws.

Identification of the Weibull model that best approximate an experimental distribution could be realized by analytical methods based on special modeling methods (moment's method, maximum credibility method, the smallest square method). These are complex methods, but if it used calculation programs dedicated to this aim, the problem could be reduced only to input the numerical data (running time values) to determine the three parameters that define the Weibull model (γ – localization parameter, η - scale parameter and β – shape parameter).

For this aim it was realized a calculation program using Turbo Pascal software, based on the smallest squares method, that allow us to obtain the values of the three parameters by successive division of the interval [1].

In the presented application, for a group of 100 motor-cars there were extracted from the guarantee service reports the data concerning the hauling time at which appears the gearbox default with the symptom "noise at gear shifting".

The experimental data were gathered during 18 months of guarantee period. There were 7 defaults at gearboxes, at the following hauling times: 1700 km, 4000 km, 5900 km, 10000 km, 10500 km, 11200 km and 15000 km.

The values of the default times were used as input data in the calculation program realized in Turbo Pascal software and there were obtained the values of the parameters: $\gamma = 0$; η = 247797 km; $\beta = 0{,}95$.

To validate the Weibull model obtained we applied one of the concordance tests; in this case could be used the Kolmogorov-Smirnov test, that could be applied also for small size batches. The stages are:

1. Using Excel software we calculated the values of the empiric distributions $R_{ex}(t)$ and of the theoretic distribution $R_w(t)$ for the experiment period of 15000 km, using the analytic calculation relations:

$$R_{ex}(t) = \frac{N_0 - i}{N_0 + 1}; \quad \textbf{(3)}$$

$$R_w(t) = e^{-\left(\frac{t-g}{h}\right)^b} = e^{-\left(\frac{t}{247797}\right)^{0,95}} \quad \textbf{(4)}$$

The results are presented in Table 1. Using these data, we draw the graphs of the two distributions (Figure 1).

2. We determine the maximum difference between the two repartitions:

$$\boldsymbol{D = max\ [R_{ex}(t)-R_w(t)] = 0,009.} \quad \textbf{(5)}$$

Table 1. The values of the empiric distributions.

Amount of defaults	*Time, t [km]*	R_{ex}	R_w
		1	1
1	1700	0.99	0.991
2	4000	0.98	0.980
3	5900	0.97	0.972
4	10000	0.96	0.954
5	10500	0.95	0.952
6	11200	0.94	0.949
7	15000	0.93	0.933

3. We made the statistic calculation:

$$l_a = D\sqrt{N_0} = 0,009 \cdot \sqrt{100} = 0,09 \quad \textbf{(6)}$$

4. Corresponding to value λ_α, from the Kolomogorov-Smirnov test, we determined the estimation risk $\alpha = 0,01$ or the significance level of estimation ($1- \alpha = 0,99$); this means that the theoretic repartition estimates the empiric repartition with a probability of 99%, an acceptable value.

Determination of the preventive maintenance works periodicity for a limited level of reliability

The mathematic model obtained permits to describe the reliability in any moment of the analyzed period; it is considered to be acceptable its extrapolation with other 30% of the period when the reliability studies were done.

So, imposing a minimum level of reliability, we have the possibility to determine the maximum periodicity for doing the preventive maintenance work (listen to gearbox noise in this case).

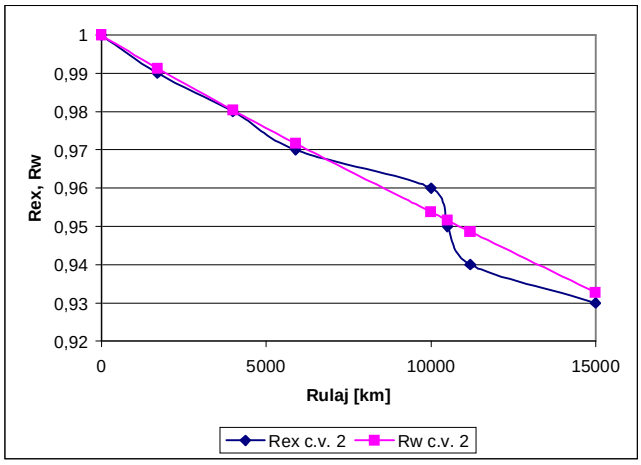


Fig.1. The representation of the distributions.

In the graph presented above, if the minimum reliability level imposed is 95%, on the R_w graph it is determined the maximum period after that it must be realized the preventive maintenance work (t = 10500 km), so could be adopted a periodicity T = 10000 km (graphical-analytic method).

The problem could be also solved on the analytic way, using a dedicated calculation program designed for this purpose [1], which realizes the following:

- identify the Weibull model (values of the three parameters) ;
- for an imposed reliability value $R_{w,min}$, it determines the maximum corresponding periodicity.

Conclusions.

The method of determining the periodicity of the preventive maintenance works on the basis of an imposed reliability level requires mathematical modeling of reliability in order to determine the works periodicity for any limit level of reliability.

For this aim, it is necessary to do the entire stages specific to reliability studies:

- organization of the tests: normal or accelerated, on test benches or on the road, complete, partial or censured etc.;
- identification of the Weibull model, on the graphical-analytic way (simple but not so exact) or on the analytic way (using special designed calculation programs);
- determination of the optimum periodicity, on graphical or analytic way, eventually using a dedicated calculation program;
- including the preventive maintenance works proposed in the maintenance general program, with respect to the demand of optimal grouping of works by adopting time periods with common multiples.

I t is obvious that the reliability study finalizes with optimization of the preventive maintenance works periodicity or with the adoption of a supplementary maintenance work with a certain periodicity.

References: 1. Boroiu, A. – Fiabilitatea autovehiculelor, Ed. Univ. din Pitesti, 2003. **2.** Popa, L. – Fiabilitatea automobilelor – expresie în timp a calității acestora, Referat I pentru teza de doctorat, Universitatea din Pitesti, 2003.

KNOWLEDGE MANAGEMENT, INNOVATION AND EFFECTS ON ECONOMIC PERFORMANCE IN MACHINE-BUILDING INDUSTRY

Mircea BOSCOIANU, Gabriela PRELIPCEAN *(Military Technical Academy Bucharest, Romania"Stefan cel Mare" University of Suceava, Romania)*

In modern knowledge driven economies, the firms are increasingly aware that individual and collective knowledge is a major factor of economic performances. The size of the firms and the stronger their connection with the new and innovating technology industries, the more are they likely to set up knowledge management (KM) policies, such as promoting a culture of information and knowledge sharing, motivating employees and executives to remain with the firm, forging alliances and partnerships for knowledge acquisition, implementing written KM rules.

Some micro econometric analysis of the survey tends to confirm that knowledge management indeed contributes significantly to firm innovative performance and to its productivity. The impacts of adoption of the four surveyed KM practices on firm innovative and productivity performance are not completely accounted by firm size, industry, research & development (R&D) efforts or other factors, but persist to a sizeable extent after controlling for all these factors.

Keywords:
knowledge management policies, innovative performance, research & development (R&D), machine-building industry

COMPETITION IN INNOVATION – AN ANALYSIS OF ECONOMIC IMPACT IN MACHINE-BUILDING INDUSTRY

Mircea BOSCOIANU, Gabriela PRELIPCEAN *(Military Technical Academy Bucharest, Romania"Stefan cel Mare" University of Suceava, Romania)*

The basic competitive model with freely available technology is suited for static industries but misleading as applied to major innovative economies. We distinguish free generic technology from proprietary technologies resulting from risky investment with uncertain outcome. The totality of possible outcomes drives the national innovation system and the returns to a particular successful technology cannot be compared to its own direct investment costs.

So long as the entry and exit of firms using the generic technology sets the price in an industry, one or more price-taking firms can coexist with proprietary technologies yielding more or less substantial quasi-rents to the sunken development costs. Consumer welfare is increased if an innovator creates a proprietary technology such that the market equilibrium price is reduced and output increased. If the technological breakthrough is sufficiently large for the innovator to drive all generic producers out of the industry and increase output as a wealth-maximizing monopolist, consumer welfare is surely increased. After some time, the innovative technology will diffuse into an imitative generic technology. The best innovators develop a stream of innovations so that technological leaders can maintain their status as dominant firm or monopolist for extended periods of time despite lagged diffusion, and consumers benefit from this stream as well. The economics of an innovative nation are different from those of the no-growth stationary state which we teach and fall back on. We propose an

open framework to integrate major research streams treating innovation as an object of economic analysis with standard models.

Keywords:
innovation, generic/ proprietary technology, metamorphic innovation, machine-building industry.

INFLUENCE OF DIELECTRIC CONSTANT OF PIEZOELECTRIC TRANSDUCER ON DYNAMICAL CHARACTERISTICS OF VIBRATING OF MECHATRONICAL SYSTEM

Buchacz A. (*Silesian University of Technology, Gliwice, Poland*)

In presented paper the test of deriving the dynamical characteristics of mechanical system connected to piezoelectric processor in mechatronical system has been presented to examine the influence of this element and its parameters on the behavior of the whole system. The analysis of the systems in which the vibrating motion is extorted by harmonic voltage excitation supplying the piezoelement, which is the integral part of system. The dynamical characteristic of simple mechatronical systems in different configurations, where the harmonic character of excitation and the stationary character of vibration motion were assumed. In order to calculate what kind of influence has the method of using the approximate calculation method, the dynamical characteristic of mechatronical system has been presented and calculated by the Galerkin's method. In solved system the approximation connedcted with using the nominated method, gives the result in which the accuracy can be accepted as sufficient. The poles of dynamical characteristic calculated by mathematical exact method and the Galerkin's approximation method have the same values. The conclusion above saying of proper usage of considered method, assume that the same method can be also used for further calculations of mechatronical systems. According to the results of examining mechatronical system it has been assumed that during analysis the system excited extortion of electrical nature can not be omitted. This problem can be also used to examine the mechatronical elements, that have on purpose generating the vibrations with assumed parameters, for example - frequency spectrum. The results of the calculations were not only presented in mathematical form but also as a transients of examined dynamical characteristic which are function of frequency of assumed excitation.

Introduction

During designing the machines the object of special interest of researchers is lifting the machine's efficiency and reliability. Many industry branches concentrate on a problem of miniaturizing the existing systems and also on minimizing their energy-consumption. During last years a lot of attention is paid to the researches connected with new construction solutions, especially as far as the technology of drives which lean on the phenomenon of piezoelectricity and electrostriction is concerned [9,10-13,15-17]. The piezoelectric elements are also used to eliminate the oscillation [14].

The first attempt at the solution to this problem, that means to determining of dynamical characteristic of continuous bar system and various class of discrete mechanical systems concerning the frequency spectrum, using graphs and structural numbers methods, has been made in the Gliwice research centre in [1-8].

The mechatronical system with harmonical excitation

The homogeneous elastical shaft with full section, permanent on the whole length *l* in Fig. 1 has been considered. The shaft is made by material with transverse modulus that means Kirchoff's *G* and the mass density ρ.

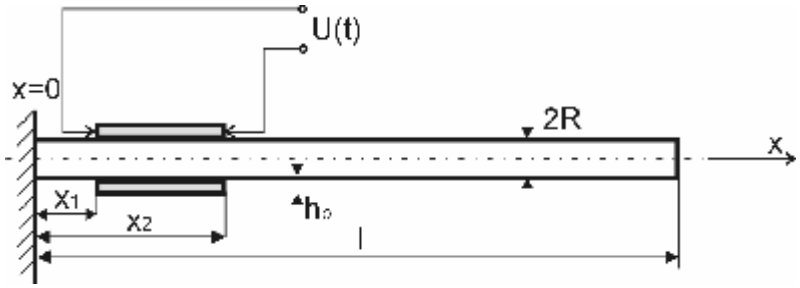


Fig. 1. The mechatronical system with electrical excitation

In this system the shaft is clamped on one of its end, the second one is free. The system is not excitated by any mechanic moments or forces. To the surface of the shaft the ideal ring piezotransducer is attached. The harmonic electrical voltage which excites the system from electric side is applied to the converter clips. This voltage makes the deformation of the piezoelement, which interacts directly with the shaft.

The dynamical equation of motion of the shaft as far as the given system takes the following form [13]

$$\rho I_o \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - G I_o \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \frac{-\lambda^*}{l} U\left[\delta(x-x_1) - \delta(x-x_2)\right], \tag{1}$$

or in a different way

$$\ddot{\varphi} - a^2 \varphi_{xx} = bU\left[\delta(x-x_1) - \delta(x-x_2)\right], \tag{2}$$

where: $\lambda^* = \frac{2}{3}\pi G_p \left[\left(R+h_p\right)^3 - R^3\right]\frac{d_{15}}{l_p}$, $a = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$, $b = \frac{-\lambda^*}{I_o l \rho}$.

Similarly dynamic equation of the transducer is given in the form:

$$\dot{U} + \alpha_1 U(t) = -\alpha_2 \dot{\varphi}(l_p, t), \tag{3}$$

where: α_1 - constant measured in $\left[\frac{1}{s}\right]$, $\alpha_2 = \frac{2\pi R^2 h_p d_{15} G_p}{l_p C_p}$, $C_p = 2\pi R h_p \frac{e_1}{l_p}\left(1 - \frac{2 d_{15} G_p}{e_1}\right)$.

Taking into consideration the equations (1) and (3), the set of equations that will start further considerations can be written. The considered mechatronical system is described next set of equations

$$\begin{cases} \ddot{\varphi} - a^2 \varphi_{xx} = U\left[\delta(x-x_1) - \delta(x-x_2)\right], \\ \dot{U} + \alpha_1 U(t) = -\alpha_2 \dot{\varphi}(l_p, t). \end{cases} \tag{4}$$

According to the Galerkin's discretisation of searching the solutions of difference equation system with partial derivative, the solution will be searched in order to the own sum function, that means function of the time and displacement variables, which are strictly established and which realize the boundary conditions [7].

It is accepted that the dislocation, that means angle of torsion of cross-section takes form:

$$\varphi(x,t) = A\sum_{n=1}^{\infty} \sin\frac{(2n-1)\pi x}{2l}\cos\omega t\,. \tag{5}$$

Moreover it is assumed that the system is excited with harmonic voltage as follow:

$$U(t) = U_0 \sin\omega t \tag{6}$$

The dynamical characteristic for first mode vibration

For the first mode vibration, that means when n=1 angle of torsion (5) takes form:

$$\varphi(x,t) = A\sin\frac{\pi x}{2l}\cos\omega t\ . \tag{7}$$

The solution of the examined set of differential equations (4), resolves to putting the adequate derivatives. Putting the received derivatives (1), (2), (3) to the equation (4), it has been received :

$$\begin{cases} A\sin\dfrac{\pi x}{2l}\cos\omega t\left[a^2\left(\dfrac{\pi}{2l}\right)^2-\omega^2\right]-Bb\left[\delta(x-x_1)-\delta(x-x_2)\right]\sin\omega t=0, \\ B\omega\cos\omega t-\alpha_2 A\omega\sin\dfrac{\pi l_p}{2l}\sin\omega t=\alpha_1 U_0\sin\omega t. \end{cases} \tag{8}$$

To nominate the dynamical characteristic from these equations the time function must be eliminated using the Euler's theorem, and in this way is obtained

$$\begin{cases} A\sin\dfrac{\pi x}{2l}e^{i\omega t}\left[a^2\left(\dfrac{\pi}{2l}\right)^2-\omega^2\right]-Bb\left[\delta(x-x_1)-\delta(x-x_2)\right]e^{i\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)}=0, \\ B\omega e^{i\omega t}-\alpha_2 A\omega\sin\left(\dfrac{\pi}{2l}l_p\right)e^{i\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)}=\alpha_1 U_0 e^{i\omega t}. \end{cases} \tag{9}$$

The equations (9) as far as the matrix shape is considered is:

$$\begin{bmatrix} \sin\dfrac{\pi x}{2l}\left[a^2\left(\dfrac{\pi}{2l}\right)^2-\omega^2\right] & -\dfrac{1}{e^{i\frac{\pi}{2}}}b\left[\delta(x-x_1)-\delta(x-x_2)\right] \\ -\alpha_2\dfrac{1}{e^{i\frac{\pi}{2}}}\omega\sin\dfrac{\pi l_p}{2l} & \omega \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0 \\ \alpha_1 U_0 \end{bmatrix}. \tag{10}$$

From (10) the amplitude A of dynamical characteristic is calculated as:

$$A=\frac{\frac{1}{e^{i\frac{\pi}{2}}}b\left[\delta(x-x_1)-\delta(x-x_2)\right]\alpha_1}{\sin\frac{\pi x}{2l}\left[a^2\left(\frac{\pi}{2l}\right)^2-\omega^2\right]\omega-\frac{b}{\left(e^{i\frac{\pi}{2}}\right)^2}\left[\delta(x-x_1)-\delta(x-x_2)\right]\alpha_2\omega\sin\frac{\pi l_p}{2l}}U_0. \tag{11}$$

Putting the received amplitude A (11) to (7) the angle of torsion of cross-section for first mode vibration, that means $n=1$ and $x=l$, has been established.

$$\varphi(x,t)=\frac{\frac{1}{e^{i\frac{\pi}{2}}}b'\alpha_1\sin\left(\frac{\pi}{2l}x\right)}{\left[a^2\left(\frac{\pi}{2l}\right)^2-\omega^2\right]-\frac{b'}{\left(e^{i\frac{\pi}{2}}\right)^2}\alpha_2\omega\sin\left(\frac{\pi}{2l}l_p\right)}U_0\cos\omega t. \tag{12}$$

where: $b'=b\left[\delta(x-x_1)-\delta(x-x_2)\right]$.

Out of (12) the dynamical characteristic for the first mode vibration in the end of shaft, that means when $x=l$ takes form

$$\left|Y_{li}\right|=\left|-\frac{b'\alpha_1\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\left[a^2\left(\frac{\pi}{2l}\right)^2-\omega^2\right]\omega+b'\alpha_2\omega\sin\left(\frac{\pi}{2l}l_p\right)}\right|. \tag{13}$$

In Fig. 2 the transient of dynamical characteristic has been shown.

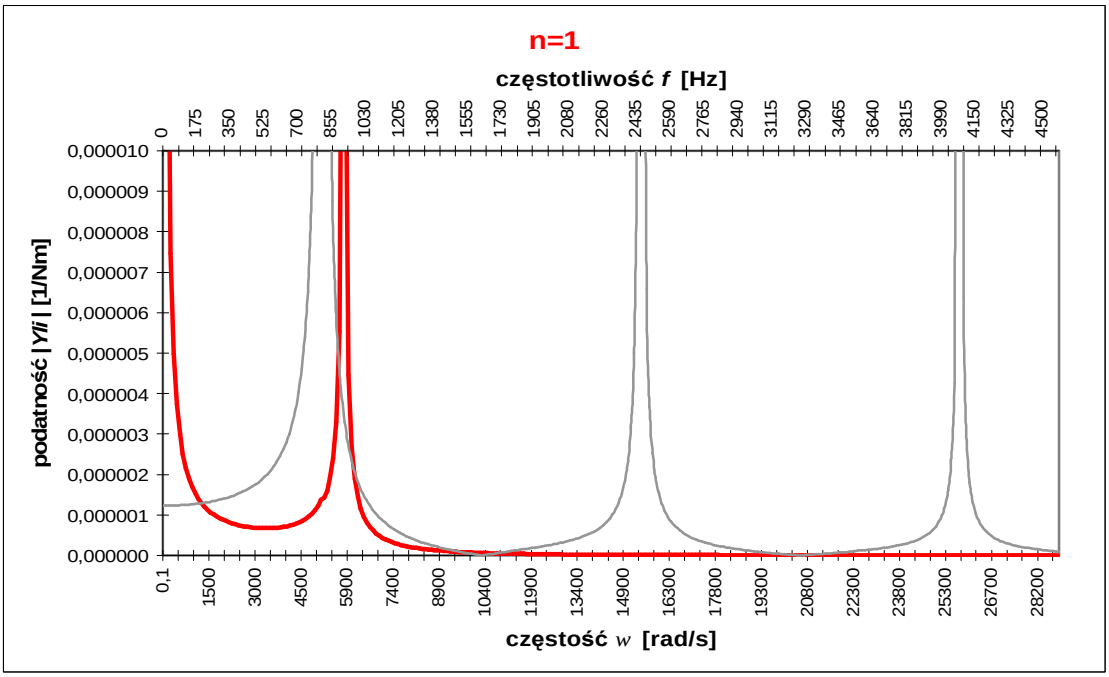


Fig. 2. Transient of dynamical characteristic for the first mode vibration

Conclusions.

Presented approach allows to look in a global way on the behavior of the mechatronical system. The influence change of the values b and α, which directly depend on piezoelement's sort and its geometrical sizes according to the characteristics, the sort of vibrations of the mechatronical system, mainly as far as the piezoelectric converter "activation" is concerned the contribution to the next researches can be considered.

Acknowledgements.

This work has been conducted as a part of research project No. 4 T07C 018 27 supported by the Committee of Scientific Research in 2004-2007.

References: 1. Buchacz A.: The Synthesis of Vibrating Bar-Systems Represented by Graph and Structural Numbers. ZN Politechniki Śląskiej, MECHANIKA, z. 104, (1991). (in Polish). **2.** Buchacz A.: Modelling, Synthesis and Analysis of Bar Systems Characterized by a Cascade Structure Represented by Graphs. Mech. Mach. Theory, Vol.30, No 7, p. 969÷986, (1995). **3.** Buchacz A.: Computer Aided Synthesis and Analysis of Bar Systems Characterized by a Branched Structure Represented by Graphs. Journal Technical of Physics, 40, 3, (1999), p. 315÷328. **4.** Buchacz A.: Modifications of Cascade Structures in Computer Aided Design of Mechanical Continuous Vibration Bar Systems Represented by Graphs and Structural Numbers. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 157-158, Elsevier, (2004), pp.45-54. **5.** Buchacz A.: Hypergrphs and Their Subgraphs in Modelling and Investigation of Robots. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 157-158, Complete, Elsevier, (2004), p. 37÷44. **6.** Buchacz A.: The Expansion of the Synthesized Structures of Mechanical Discrete Systems Represented by Polar Graphs. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 164-165, Complete Elsevier, (2005), p.1277-1280. **7.** Buchacz A., Dynamical Flexibility of Longitudinally Vibration Bar with Taking into Consideration Torsionally Transportation. ZN Katedry Mechaniki Technicznej, Z.23, Gliwice (2004), p.51-56 (in Polish). **8.** Buchacz A., Wojnarowski J.: Modelling Vibrating Links Systems of Nonlinear Changeable Section of Robots by the Use of Hypergraphs and Structural Numbers. Journal of the Franklin Institute, Vol. 332B, No.4, Pergamon, (1995), pp. 443÷476. **9.** Callahan J., Baruh H.: Vibration monitoring of cylindrical shells using piezoelectric sensors". Finite Elements in Analysis and Design 23 (1996), 303-318. **10.** Friend J. S., Stutts D. S.: The Dynamics of an Annular Piezoelectric Motor Stator". Journal of Sound and Vibration (1997) 204(3), 421-437. **11.** Heimann B., Gerth W., Popp K.: Mechatronics - components, methods, examples. PWN. Warszawa 2001 (in Polish). **12.** Heyliger P.R., Ramirez G.: Free Vibration of Laminated Circular Piezoelectric Plates and Discs. Journal of Sound and Vibration (2000) 229(4), 935-956. **13.** Ji-Huan He: Coupled Variational Principles of Piezoelectricity. International Journal of Engineering Science, 39 (2001), 323-341. **14.** Kurnik W.: Damping of Mechanical Vibrations Utilizing Shunted Piezoelements. Machine Dynamics Problems 2004, Vol. 28, No 4, 15-26. **15.** Lu P., Lee K. H., Lim S. P.: Dynamical Analysis of a Cylindrical Piezoelectric Transducer". Journal of Sound and Vibration (2003) 259(2), 427-443. **16.** Soluch W., Introduction to piezoelectronics, WkiŁ, Warszawa 1980 (in Polish). **17.** Song O., Librescu L., Jeong N-H., Vibration and Stability Control of Smart Composite Rotating Shaft Via Structural Tailoring and Piezoelectric Strain Actuation. Journal of Sound and Vibration (2002) 257(3), 503-525.

EQUATIONS OF MOTION OF THE TWO-LINK SYSTEM VIBRATING TRANSVERSALLY AND LONGITUDINALLY IN TRANSPORTATION

Buchacz A., Żółkiewski S. (*Silesian University of Technology, Gliwice, Poland*)

Equations of motion of the two-linked system vibrating in transportation were derived. The system is a manipulator compounded of two beams. The manipulator is vibrating both transversally and longitudinally in terms of two-dimensional transportation. Beams have the symmetrical sections in this case the full ones. The system was described in two local reference systems and one global independent reference system.

Introduction. The manipulator compounded of two beams was modeled. The system moves in terms of plane motion of optional surface of global reference system. Links of manipulator are elastic beams and they are in transportation. Beams are vibrating transversally and longitudinally and they are loaded by transverse and longitudinal forces. Equations of motion were derived using the Lagrange equations and d`Alembert`s principle and some example equations of motion for plane motion are presented in [1-5]. Generalized coordinates and velocities assumed as orthogonal projection on the coordinate axes of the global reference system.

The model of vibrating transversally and longitudinally manipulator

The considered system is two-link system vibrating in transportation. Beams have cross sections suitably A_1 as the section of first link and A_2 as the section of second link which are constant on the whole length of beams appropriately for first link l_{01} and in second link l_{12} (fig. 1). Beams were made from materials that are from materials with Young's modulus E_1 and E_2 and mass densities ρ_1 and ρ_2. Beams were loaded by harmonic transverse and longitudinal forces. The mathematical model was determined in global independent reference system in terms of plane motion (XY).

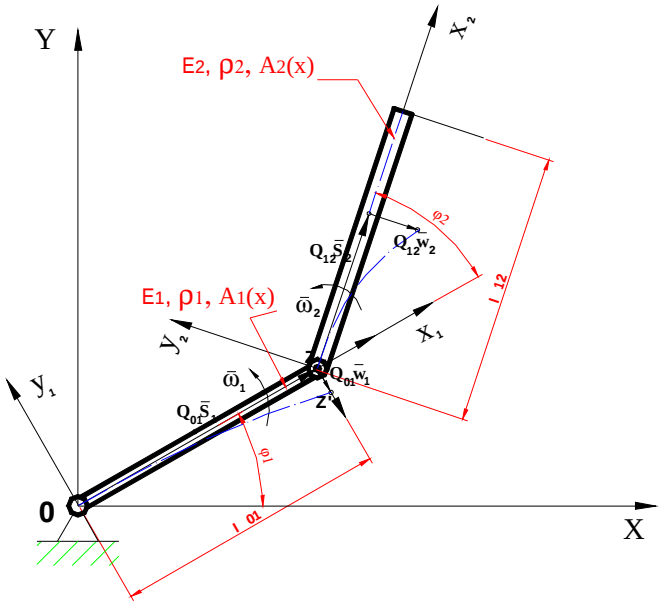


Fig. 1. The model of two-link system in plane motion

Components of inner forces in globar reference system with respect to Hooke's law are as follows:

$$
\begin{aligned}
W_{1X} &= E_1 \cdot I_{Z1} \cdot \frac{\partial^3 w_1 \cdot \sin j_1 \cdot l_{01}}{\partial x_1^3} + E_1 \cdot A_1 \cdot \frac{\partial u_1 \cdot \sin j_1 \cdot l_{01}}{\partial x_1}, \\
W_{2X} &= E_2 \cdot I_{Z2} \cdot \frac{\partial^3 w_2 \cdot (\cos j_1 \cdot \sin j_2 + \sin j_1 \cdot \cos j_2) \cdot s_2}{\partial x_2^3} + \\
&+ E_2 \cdot A_2 \cdot \frac{\partial u_2 \cdot (\cos j_1 \cdot \cos j_2 - \sin j_1 \cdot \sin j_2) \cdot s_2}{\partial x_2}, \\
W_{1Y} &= -E_1 \cdot I_{Z1} \cdot \frac{\partial^3 w_1 \cdot \cos j_1 \cdot l_{01}}{\partial x_1^3} + E_1 \cdot A_1 \cdot \frac{\partial u_1 \cdot \cos j_1 \cdot l_{01}}{\partial x_1}, \\
W_{2Y} &= -E_2 \cdot I_{Z2} \cdot \frac{\partial^3 w_2 \cdot (\cos j_1 \cdot \cos j_2 - \sin j_1 \cdot \sin j_2) \cdot s_2}{\partial x_2^3} + \\
&+ E_2 \cdot A_2 \cdot \frac{\partial u_2 \cdot (\cos j_1 \cdot \sin j_2 + \sin j_1 \cdot \cos j_2) \cdot s_2}{\partial x_2}.
\end{aligned}
\tag{1}
$$

Body mass of the rod with the mass density r and the specific volume V and the cross-section A:

$$
M_1 = \int_{V_1} r_1 dV_1 = \int_0^{l_{01}} r_1 \cdot A_1 ds_1, \qquad M_2 = \int_{V_2} r_2 dV_2 = \int_0^{s_2} r_2 \cdot A_2 ds_2. \tag{2}
$$

A position vector in the global reference system:

$$
\begin{aligned}
\bar{\mathbf{r}} &= \bar{\mathbf{r}}_{1\mathbf{X}} + \bar{\mathbf{r}}_{1\mathbf{Y}} + \bar{\mathbf{r}}_{2\mathbf{X}} + \bar{\mathbf{r}}_{2\mathbf{Y}} = \bar{\mathbf{i}} \cdot r_{1X} + \bar{\mathbf{j}} \cdot r_{1Y} + \bar{\mathbf{i}} \cdot r_{2X} + \bar{\mathbf{j}} \cdot r_{2Y} = \\
&= \mathbf{Q}_{01} \cdot (\bar{\mathbf{S}}_1 + \bar{\mathbf{w}}_1 + \bar{\mathbf{u}}_1) + \mathbf{Q}_{02} \cdot (\bar{\mathbf{S}}_2 + \bar{\mathbf{w}}_2 + \bar{\mathbf{u}}_2).
\end{aligned}
\tag{3}
$$

The velocity in global reference system:

$$
\begin{aligned}
\dot{\bar{\mathbf{r}}} &= \bar{\mathbf{v}}_1 + \bar{\mathbf{v}}_2 = \bar{\mathbf{v}}_{1\mathbf{X}} + \bar{\mathbf{v}}_{1\mathbf{Y}} + \bar{\mathbf{v}}_{2\mathbf{X}} + \bar{\mathbf{v}}_{2\mathbf{Y}} = \bar{\mathbf{i}} \cdot v_{1X} + \bar{\mathbf{j}} \cdot v_{1Y} + \bar{\mathbf{i}} \cdot v_{2X} + \bar{\mathbf{j}} \cdot v_{2Y} = \\
&= \mathbf{Q}_{01} \cdot \bar{\boldsymbol{\omega}}_1 \times (\bar{\mathbf{S}}_1 + \bar{\mathbf{w}}_1 + \bar{\mathbf{u}}_1) + \mathbf{Q}_{02} \cdot (\bar{\boldsymbol{\omega}}_1 + \bar{\boldsymbol{\omega}}_2) \times (\bar{\mathbf{S}}_2 + \bar{\mathbf{w}}_2 + \bar{\mathbf{u}}_2) + \\
&+ \mathbf{Q}_{01} \cdot (\dot{\bar{\mathbf{w}}}_1 + \dot{\bar{\mathbf{u}}}_1) + \mathbf{Q}_{02} \cdot (\dot{\bar{\mathbf{w}}}_2 + \dot{\bar{\mathbf{u}}}_2).
\end{aligned}
\tag{4}
$$

The acceleration in global reference system is equal:

$$
\begin{aligned}
\ddot{\bar{\mathbf{r}}} &= \dot{\bar{\mathbf{v}}}_1 + \dot{\bar{\mathbf{v}}}_2 = \dot{\bar{\mathbf{v}}}_{1\mathbf{X}} + \dot{\bar{\mathbf{v}}}_{1\mathbf{Y}} + \dot{\bar{\mathbf{v}}}_{2\mathbf{X}} + \dot{\bar{\mathbf{v}}}_{2\mathbf{Y}} = \bar{\mathbf{i}} \cdot \dot{v}_{1X} + \bar{\mathbf{j}} \cdot \dot{v}_{1Y} + \bar{\mathbf{i}} \cdot \dot{v}_{2X} + \bar{\mathbf{j}} \cdot \dot{v}_{2Y} = \\
&= \mathbf{Q}_{01} \cdot \dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}}_1 \times (\bar{\mathbf{S}}_1 + \bar{\mathbf{w}}_1 + \bar{\mathbf{u}}_1) + \mathbf{Q}_{01} \cdot \bar{\boldsymbol{\omega}}_1 \times \bar{\boldsymbol{\omega}}_1 \times (\bar{\mathbf{S}}_1 + \bar{\mathbf{w}}_1 + \bar{\mathbf{u}}_1) + \mathbf{Q}_{01} \cdot \bar{\boldsymbol{\omega}}_1 \times (\dot{\bar{\mathbf{w}}}_1 + \dot{\bar{\mathbf{u}}}_1) + \\
&+ \mathbf{Q}_{01} \cdot \bar{\boldsymbol{\omega}}_1 \times (\dot{\bar{\mathbf{w}}}_1 + \dot{\bar{\mathbf{u}}}_1) + \mathbf{Q}_{01} \cdot (\ddot{\bar{\mathbf{w}}}_1 + \ddot{\bar{\mathbf{u}}}_1) + \mathbf{Q}_{02} \cdot (\dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}}_1 + \dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}}_2) \times (\bar{\mathbf{S}}_2 + \bar{\mathbf{w}}_2 + \bar{\mathbf{u}}_2) + \\
&+ \mathbf{Q}_{02} \cdot (\bar{\boldsymbol{\omega}}_1 + \bar{\boldsymbol{\omega}}_2) \times (\bar{\boldsymbol{\omega}}_1 + \bar{\boldsymbol{\omega}}_2) \times (\bar{\mathbf{S}}_2 + \bar{\mathbf{w}}_2 + \bar{\mathbf{u}}_2) + \mathbf{Q}_{02} \cdot (\bar{\boldsymbol{\omega}}_1 + \bar{\boldsymbol{\omega}}_2) \times (\dot{\bar{\mathbf{w}}}_2 + \dot{\bar{\mathbf{u}}}_2) + \\
&+ (\bar{\boldsymbol{\omega}}_1 + \bar{\boldsymbol{\omega}}_2) \times \mathbf{Q}_{02} \cdot (\dot{\bar{\mathbf{w}}}_2 + \dot{\bar{\mathbf{u}}}_2) + \mathbf{Q}_{02} \cdot (\ddot{\bar{\mathbf{w}}}_2 + \ddot{\bar{\mathbf{u}}}_2) = \mathbf{Q}_{01} \cdot \dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}}_1 \times (\bar{\mathbf{S}}_1 + \bar{\mathbf{w}}_1 + \bar{\mathbf{u}}_1) + \\
&+ \mathbf{Q}_{01} \cdot \bar{\boldsymbol{\omega}}_1 \times \bar{\boldsymbol{\omega}}_1 \times (\bar{\mathbf{S}}_1 + \bar{\mathbf{w}}_1 + \bar{\mathbf{u}}_1) + 2 \cdot \mathbf{Q}_{01} \cdot \bar{\boldsymbol{\omega}}_1 \times (\dot{\bar{\mathbf{w}}}_1 + \dot{\bar{\mathbf{u}}}_1) + \mathbf{Q}_{01} \cdot (\ddot{\bar{\mathbf{w}}}_1 + \ddot{\bar{\mathbf{u}}}_1) + \\
&+ \mathbf{Q}_{02} \cdot (\dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}}_1 + \dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}}_2) \times (\bar{\mathbf{S}}_2 + \bar{\mathbf{w}}_2 + \bar{\mathbf{u}}_2) + \mathbf{Q}_{02} \cdot (\bar{\boldsymbol{\omega}}_1 + \bar{\boldsymbol{\omega}}_2) \times (\bar{\boldsymbol{\omega}}_1 + \bar{\boldsymbol{\omega}}_2) \times (\bar{\mathbf{S}}_2 + \bar{\mathbf{w}}_2 + \bar{\mathbf{u}}_2) + \\
&+ 2 \cdot \mathbf{Q}_{02} \cdot (\bar{\boldsymbol{\omega}}_1 + \bar{\boldsymbol{\omega}}_2) \times (\dot{\bar{\mathbf{w}}}_2 + \dot{\bar{\mathbf{u}}}_2) + \mathbf{Q}_{02} \cdot (\ddot{\bar{\mathbf{w}}}_2 + \ddot{\bar{\mathbf{u}}}_2).
\end{aligned}
\tag{5}
$$

The rotation matrix is used to described the orientation of the rod with respect to the global reference frame and first of two matrices with respect to first and second elements of system are as follow:

$$\mathbf{Q}_{01}=\begin{bmatrix}\cos j_1 & -\sin j_1 & 0\\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix},\ \mathbf{Q}_{12}=\begin{bmatrix}\cos j_2 & -\sin j_2 & 0\\ \sin j_2 & \cos j_2 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}, \tag{6}$$

and the rotation matrix of second link with respect to global reference system:

$$\begin{aligned}&\mathbf{Q}_{02}=\mathbf{Q}_{01}\cdot\mathbf{Q}_{12},\\ &\mathbf{Q}_{02}=\begin{bmatrix}\cos j_1\cdot\cos j_2-\sin j_1\cdot\sin j_2 & -\cos j_1\cdot\sin j_2-\sin j_1\cdot\cos j_2 & 0\\ \sin j_1\cdot\cos j_2+\cos j_1\cdot\sin j_2 & \cos j_1\cdot\cos j_2-\sin j_1\cdot\sin j_2 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}.\end{aligned} \tag{7}$$

the individual vector of mass position:

$$\overline{\mathbf{S}}_1=\begin{bmatrix}l_{01} & 0 & 0\end{bmatrix}^T.\quad \overline{\mathbf{S}}_2=\begin{bmatrix}s_2 & 0 & 0\end{bmatrix}^T, \tag{8}$$

the local deformation vector of first and second

$$\overline{\mathbf{w}}_1=\begin{bmatrix}0 & w_1 & 0\end{bmatrix}^T,\quad \overline{\mathbf{w}}_2=\begin{bmatrix}0 & w_2 & 0\end{bmatrix}^T, \tag{9}$$

the angular velocities of two masses M in inertial frame are:

$$\overline{\boldsymbol{\omega}}_1=\begin{bmatrix}0 & 0 & w_1\end{bmatrix}^T,\ \overline{\boldsymbol{\omega}}_2=\begin{bmatrix}0 & 0 & w_2\end{bmatrix}^T. \tag{10}$$

After simple calculations the eqations of morion are as follow:

$$\begin{aligned}&M_1\cdot\begin{bmatrix}\cos j_1 & -\sin j_1 & 0\\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2}\\ \frac{\partial^2 w_1}{\partial t^2}\\ 0\end{bmatrix}-M_1\cdot\begin{bmatrix}\cos j_1 & -\sin j_1 & 0\\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}w_1^2\cdot(s_1+u_1)\\ w_1^2\cdot w_1\\ 0\end{bmatrix}+\\ &+2\cdot M_1\cdot\begin{bmatrix}\cos j_1 & -\sin j_1 & 0\\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}-w_1\cdot\frac{\partial w_1}{\partial t}\\ w_1\cdot\frac{\partial u_1}{\partial t}\\ 0\end{bmatrix}+\\ &+M_1\cdot\begin{bmatrix}\cos j_1 & -\sin j_1 & 0\\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}-w_1\cdot w_1\\ w_1\cdot(l_{01}+u_1)\\ 0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos j_1 & -\sin j_1 & 0\\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\frac{\partial N_1\cdot l_{01}}{\partial x_1}\\ -\frac{\partial P_1\cdot l_{01}}{\partial x_1}\\ 0\end{bmatrix}.\end{aligned} \tag{1}$$

After substitute of suitable accelerations and also after substitute of values of generalized forces the matrix form of equations of motion will as follow:

$$M_1 \cdot \begin{bmatrix} \cos j_1 & -\sin j_1 & 0 \\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} \\ \frac{\partial^2 w_1}{\partial t^2} \\ 0 \end{bmatrix} - M_1 \cdot \begin{bmatrix} \cos j_1 & -\sin j_1 & 0 \\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1^2 \cdot (s_1 + u_1) \\ w_1^2 \cdot w_1 \\ 0 \end{bmatrix} +$$

$$+ 2 \cdot M_1 \cdot \begin{bmatrix} \cos j_1 & -\sin j_1 & 0 \\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -w_1 \cdot \frac{\partial w_1}{\partial t} \\ w_1 \cdot \frac{\partial u_1}{\partial t} \\ 0 \end{bmatrix} + \tag{12}$$

$$+ M_1 \cdot \begin{bmatrix} \cos j_1 & -\sin j_1 & 0 \\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -w_1 \cdot w_1 \\ w_1 \cdot (l_{01} + u_1) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos j_1 & -\sin j_1 & 0 \\ \sin j_1 & \cos j_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1 \cdot l_{01}}{\partial x_1} \\ -\frac{\partial P_1 \cdot l_{01}}{\partial x_1} \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Conclusions

In this paper the equations of motion in matrix form were presented. The manipulator was vibrating both transversally and longitudinally in transportation. The manipulator moves in terms of two-dimensional motion. The mathematical model is the beginning of further dynamical analysis of those type systems and it can be used for example for the derivation of dynamical flexibility of manipulator. The next thesis's objectives will be the derivation of attenuation-frequency characteristics.

Acknowledgements: This work was supported by Polish State Committee for Scientific Research Grant No. 4 T07A 009 28.

References: **1.** Buchacz A., Żółkiewski S.: Transverse vibrations of the elastic multielement manipulator in terms of plane motion and taking into consideration the transportation effect. 8th Conference on Dynamical Systems – Theory and Applications, Łódź 2005, Proceedings vol. 2, p.641-648; **2.** Buchacz A., Żółkiewski S.: Dynamic analysis of the manipulator's mechanism with longitudinal vibrations of flexible links in transportation. XLIII Symposium PTMTS „Modelling in Mechanics", Publishing house of Department of Applied Mechanics z.34/04, Wisła 2004, p. 23-24; **3.** Buchacz A., Żółkiewski S.: Dynamic analysis of the manipulator's mechanism with longitudinal vibrations of flexible links in transportation. XLIII Symposium PTMTS „Modelling in Mechanics", Publishing house of Department of Applied Mechanics, Wisła 2004, p. 57-62 (in Polish) **4.** Buchacz A., Żółkiewski S.: Dynamical flexibility of the free rod with longitudinal vibrations in transportation. XLV Symposium PTMTS „Modelling in Mechanics", Publishing house of Department of Applied Mechanics, Wisła 2006, p. 27-28, **5.** Buchacz A., Żółkiewski S.: Longitudinal three-dimensional vibrations of the round rod with taking into consideration the transportation effect. International Conference of Machine-Building and Technosphere of the XXI Century. Sevastopol 2005 vol. 5, p. 17-20, **6.** Solecki R., Szymkiewicz J.: Rod and superficial systems. Dynamical calculations. Arkady Budownictwo, Sztuka, Architektura, Warszawa 1964 (in Polish); **7.** Szefer G.: Dynamics of elastic bodies undergoing large motions and unilateral contact. Journal of Technical Physics. Quarterly Vol. XLI No. 4, Warszawa 2000.

THE DAMPING AND THE DYNAMIC STABILLITY OF THIN PLATES PARAMETRICALLY EXCITED

BUGARU M.,[*] CHERECHEŞ T., ROTARIU A., CĂRTUȚĂ S.,[**] *([*]UPB, [**] MTA, Bucharest, ROMANIA)*

In the paper are presented the experimental data for the structural damping of thin rectangular plates parametrically exited. The tests were carried into a hydro-pulse system MTS onto different specimens of plates. For the same plates were experimental obtained the frontiers of the instability areas in the region of principal parametric resonance. The data were compared with theoretical results. In addition, the paper deals with the correction for the theoretical model; correction established starting from the values of the structural damping.

INTRODUCTION. The simply supported thin rectangular plates parametrically excited represent a field of research for which an extensive effort and considerable amount of investigations have been concentrated.

Excellent reviews on the subject can be found in articles written by Hui [2-6] , as well as Ilanko and Dickinson [7] and Bugaru [1].

The survey of the literature reveals that the work on the subject has been devoted to the investigation of various types of shapes, loadings and boundary conditions [9-11].

The present paper covers the area of experimental data concerning the structural damping of such plates and the data for the frontiers of the instability areas in the region of parametric resonance.

EXPERIMENTAL APARATUS AND TEST PROCEDURES

The entire experimental system can be divided into 3 sub-systems:

A. Sub-system for the excitation of the plates ;

B. Sub-system for digital and analogical measurements ;

C. Sub-system for the recording of experimental data.

The sub-system for the parametrical excitation of this rectangular plates consists of: a hydro-pulse MTS Model 891, the special frame design to fix the plates so that the boundary conditions are simply supported. In figure 1 is shown the hydro-pulse scheme

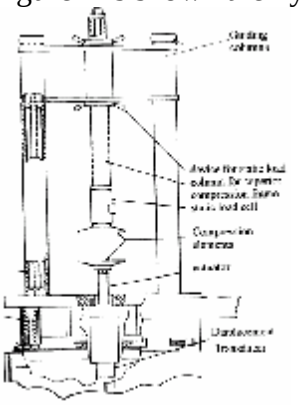
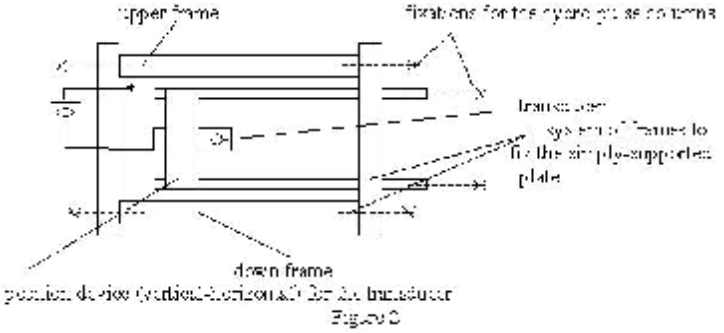


Figure 1

and in figures 2 and 3 are illustrated the special frame and a detail of it, frame in which is "fixed" the test specimen (the plate) having the boundaries simply supported.



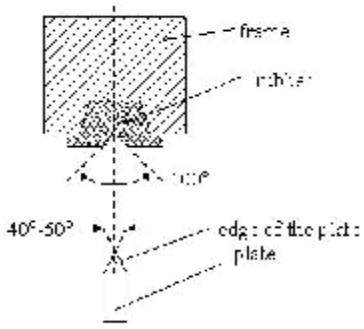


Figure 3

To obtain the above-mentioned boundary conditions for the plate the special frame (see fig.2 and fig.3) consists of two parts a metallic one and a rubber part. The rubber part has an opening with an angle of 100^o while the edge angle of the plate is of $40^o \div 50^o$. This geometrical aspect of the rubber part permits the free rotation of the mid-plane of the plate with $\pm 25° \div 30°$ and represents the simply supported practical boundary condition.

The elements of compression of the hydro-pulse permit the static and dynamic load, through the actuator, of the plate in its mid-plane realizing the parametric excitation of the plate.

By this way it is transmitted to the plate the parametric excitation, uniform distributed over two opposite edges, having the mathematical expression:

$$N_y(t) = N_{yo} + N_{yt}\cos(q(t)) \tag{1}$$

where N_{yo} is the static load, N_{yt} is the amplitude of the dynamic load and $h = \frac{dq}{dt}$ is the frequency excitation.

The sub-system for digital and analogical measurements consists of:
- a central unit Model 436 that controls the function generator for the excitation ;
- a transducer Model 440.21&22 which measures the static and dynamic loads ;
- a controller Model 442 which measures the elastic equivalent constant and the loss factor β of the structural damping ;
- a controller-computer Model 429 which controls the input data (amplitude of dynamic load and frequency excitation) ;
- amplifier, filter and displacement transducer contactless to detect the smallest amplitudes of the lateral vibrations of plate.

The sub-system for the recording of experimental data consists of:
- multi digital input switch Model 430;
- oscilloscope to visualize the hysteretic loop of the plate under dynamic load.

For experiments it were used 4 test specimens of rectangular plates having the dimensions : 150x150, 150x225, 150x300, 150x450 [mm x mm] and the thickness h=1mm. All the plates are of polycarbonate, therefore they have the following physical properties:
- the Young's modulus E = 2.3856 GPa
- the Poisson's ratio $\nu = 0.45$
- the density $\rho = 1205.5$ kg/m^3

To obtain the electrical conductivity of the plates for measuring contactless the lateral displacements, it was used a solution of ECCOCOAT. CC-2 produced by Emerson & Cuming Ltd. (USA).

To have a high precision for the measurements it was necessary to calibrate the entire system for compensating the mechanical effects of the special frame used to fix the plate.

This was done, in virtue of ISO/DIS 4664/1996, by using an etalon rubber bar in the range of excitation 5 ÷ 100 Hz.

EXPERIMENTS AND RESULTS

The experiments were carried out in the region of principal parametric resonance that is for

$$\eta \cong 2\,\Omega \quad (2)$$

where Ω is the free vibration circular frequency of the rectangular plate loaded by a constant component of in plane force.

Using the contactless transducer for displacements it were determined the frontiers of instability region in the space (μ,η) and $(\mu,\eta/2\Omega)$, where μ represents the load parameter defined by the relation

$$m = \frac{N_{yt}}{2\left(N_{cr} - N_{yo}\right)} \quad (3)$$

N_{cr} being the critical buckling load of the plate. The results are presented in figures 4 and 5, where by continuos line were represented the frontiers of instability regions computed theoretical [1]. As can be seen there exist a close agreement between experimental data and theoretical values. The experiments were conducted for the test specimen having the dimensions 150 x 300 mm.

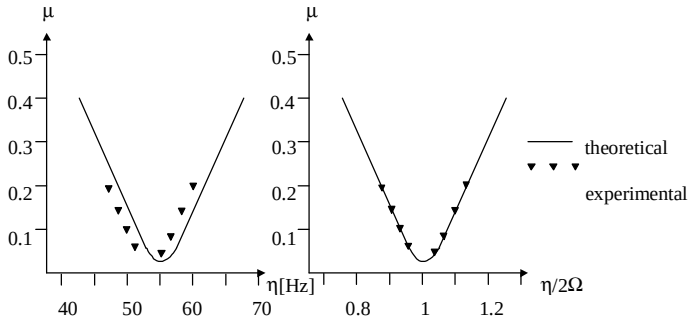


Figure 4 Figure 5

In the region of principal parametric resonance (50 ÷ 60) Hz the loss factor is maximum, there fore we can conclude that the plate, through its internal mechanisms, increases the structural damping and there fore attemates the amplitude of lateral vibrations. Using the values of loss factor tg δ, by regarding ISO/DIS 4664/1996, it can be computed the equivalent logarithmic decrement of the plate on the basic equation:

$$tg\,d \cong \frac{D}{p + 0.079577\,D^2} \quad (4)$$

and also the equivalent viscous damping coefficient using the relation:

$$c = \frac{D \cdot W}{2p} \quad (5)$$

CONCLUSIONS

The present paper covers the area of experimental researches in the field of parametric vibrations of the rectangular plates simply supported.

By this way was validated the theoretical model, developed by the author [1], concerning the non-linear dynamic instability of thin rectangular plates parametrically excited.

Also, the paper reveals a new method to compute and predict viscous coefficient damping of the plates, based on the structural damping experimental determined.

This represents a correction to the theoretical model of parametric vibrations of thin rectangular plates developed by the author [1].

REFERENCES:1. Bugaru, M.J., *The Influence of Geometric Imperfections on The Non-linear Dynamical Behavior of Parametrically Excited Plates*, International Journal of Acoustics and Vibrations, Vol.3, No.1, 1998, pp.17-22. **2.** Hui, D. and Leissa, A. W., *Effects of Geometric Imperfections on Vibrations of Biaxially Compressed Rectangular Flat Plates*, ASME Journal of Applied Mechanics, Vol. 50, Dec. 1983, pp. 750-756. **3.** Hui, D., *Large Amplitude Axisymmetric Vibrations of Geometrically Imperfect Circular Plates*, J. of Sound and Vibration, Vol.91, No.2, 1983, pp. 239-246. **4.** Hui, D. and Leissa, A.W., *Effects of Uni-Directional Geometric Imperfections on Vibrations of Pressurized Shallow Spherical Shells*, Int. J. of Non-linear Mechanics, Vol. 18, No.4, 1983, pp. 279-285. **5.** Hui, D., *Influence Of Geometric Imperfections and In-Plane Constrains on Non-linear Vibrations of Simply Supported Cylindrical Panels*, ASME Journal of Applied Mechanics, Vol.51, June 1984, pp. 383-390. **6.** Hui, D., *Effects of Geometric Imperfections on Frequency-Load Interaction of Biaxially Compressed Antisymmetric Angle Ply Rectangular Plates*, AIAA Journal, Vol. 21, pp. 1736-1741. **7.** Ilanko, S. and Dickinson, S.M., *The Vibration and Post-Buckling of Geometrically Imperfect, Simply Supported, Rectangular Plates Under Uni-Axial Loading, Part I: Theoretical Approach*, J. of Sound and Vibration, Vol. 11, No.2, 1987, pp. 313-336. **8.** Mitropolskii, Yu. A., *Problems of the Asymptotic Theory of Nonstationary Vibrations*, Moscow: Izdatel'stovo Nauka, 1964; English Translation: (New York) D. Davey&Co., 1965. **9.** Ostiguy, G.L. and Evan-Iwanowski, R.M., *Influence of the Aspect Ratio on the Dynamic Stability and Non-linear Response of Rectangular Plates*, ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 104, April 1982, pp. 417-425. **10.** Ostiguy, G.L. and Nguyen, H., *Stabilite dynamique et resonance des plaques rectangulaires*, Mecanique Materiaux Electricite (G.A.M.I.), No. 394-395, Oct.-Nov. 1982, pp. 465-471. **11.** Ostiguy, G.L. and Nguyen, H., *Influence of Boundary Conditions on the Dynamic Stability and Non-linear Response of Rectangular Plates*, Developments in Mechanics, Vol. 13, Proc. Of the 19th Midwestern Mechanics Conference, The Ohio State University, Sept. 1985, pp. 252-253.

NOISE RADIATED BY VIBRATING RECTANGULAR PLATE

BUGARU M.,[*] CHERECHEŞ T., TRANĂ E., CĂRTUȚĂ S.,[**] *([*]UPB, [**] MTA, Bucharest,ROMANIA)*

Vibrating plates produce noise, which is of high interest in many technical applications. In most cases such plate vibrations have relatively large amplitudes and only a nonlinear von Kármán type model can be used. The rectangular plate vibrations are determined both numerically and experimentally. The first aim is to identify the parameters of the real boundary conditions, which are elastically clamped. The control parameters are elastic bending stiffness of the four edges of the plate as functions of vibration amplitude. Influences of actuator amplitude and excitation position on the plate are presented. Using the optimized model, spatial sound directivity diagrams are determined, based on a numerical procedure. Experiments in the anechoic chamber are used to further improve the model. By identification of various parameters, a better control of plate noise radiation is achieved.

Introduction

The linear Love-Kirchhoff model for plate vibrations uses the small displacements hypothesis, which implies limitations for plate response to excitations of technical interest. Maximum plate displacements are in many cases of the same order as the plate thickness or even greater. The dynamic response depends on plate amplitudes and consequently, the von Kármán plate model is best adapted in this case. The lowest frequency and mode shape as function of maximum displacement are used in this paper in order to determine the radiated sound pressure of the plate.

Moderately Large Vibrations Of A Plate

A thin rectangular plate of length a in the x direction, width b in the y direction and thickness h in the z direction is considered in this paper. The plate is assumed to be homogeneous of mass density ρ. The displacement field for the points belonging to the plate is assumed to be of von Kármán type, with u and v in-plane displacements and w as transverse displacement:

$$\begin{aligned} u(x,y,z,t) &= u_0(x,y,t) - z w_{,x} \\ v(x,y,z,t) &= v_0(x,y,t) - z w_{,y} \\ w(x,y,z,t) &= w_0(x,y,t) \end{aligned} \tag{1}$$

in which the subscript $_0$ indicates the displacements for points belonging to the reference plane.

The von Kármán dynamic differential equations for free vibrations, are [(1)]:

$$\begin{aligned} &L(w,F) = D\nabla^4 w + \rho h w_{,tt} - \\ &- h\left(w_{,xx}F_{,yy} + w_{,yy}F_{,xx} - 2w_{,xy}F_{,xy}\right) = 0 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\nabla^4 F = E\left(w_{,xy}^2 - w_{,xx}w_{,yy}\right) \tag{3}$$

in which F is the Airy stress function, E is the Young modulus and $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$.

The four edges of the plate are considered elastically clamped in the transverse direction, so the boundary conditions are

$$\begin{aligned} &w = 0;\ w_{,x} = \frac{D}{k}\left(w_{,xx} + n w_{,yy}\right) \\ &\text{at } x = -a/2 \text{ and } x = a/2 \\ &w = 0;\ w_{,y} = \frac{D}{k}\left(w_{,yy} + n w_{,xx}\right) \\ &\text{at } y = -b/2 \text{ and } y = b/2 \end{aligned} \tag{4}$$

in which k is the plate edge bending stiffness. For the in-plane conditions, the normal stresses are zero and edges are uniformly displaced:

$$\begin{aligned} &F_{,xy} = 0,\ u_0 = const. \\ &\text{at } x = -a/2 \text{ and } x = a/2 \\ &F_{,xy} = 0,\ v_0 = const. \\ &\text{at } y = -b/2 \text{ and } y = b/2 \end{aligned} \tag{5}$$

Equations (2), (3) are solved using the Galerkin method, assuming the displacement function:

$$w = h\Phi(t)W(x, y) \tag{6}$$

in which $\Phi_{\max} = \frac{w_m}{h}$, with w_m the maximum transverse displacement of the plate.

The Airy stress function can be expressed as a Fourier series, using the boundary conditions and the resulting differential equation of transverse motion is

$$\begin{aligned} &rh^2\Phi_{,tt} + \frac{16p^4Dh}{9b^4}\left(3 + 2l^2 + 3l^4\right)\Phi - \\ &- \frac{32p^4Eh^4}{9a^2b^2}\left(d_{01} + d_{10} + d_{11} + \tfrac{1}{2}d_{12} + \right. \\ &\left. \tfrac{1}{2}d_{21} + + d_{02} + d_{20}\right)\Phi^3 = 0 \end{aligned} \tag{7}$$

in which the parameters d_{ij} are obtained from the given boundary conditions.

The Duffing equation (7) can be numerically integrated for initial conditions $\Phi(0) \in (0,3)$; $\dot{\Phi}(0) = 0$ and the period of the free vibrations can be obtained from the time history of motion. The period T_0 of small vibrations in these conditions is taken as reference and the period ratio T/T_0 has been plotted in Fig. 1 as function of the relative maximum normal displacements w_m/h for a square plate having different boundary stiffness.

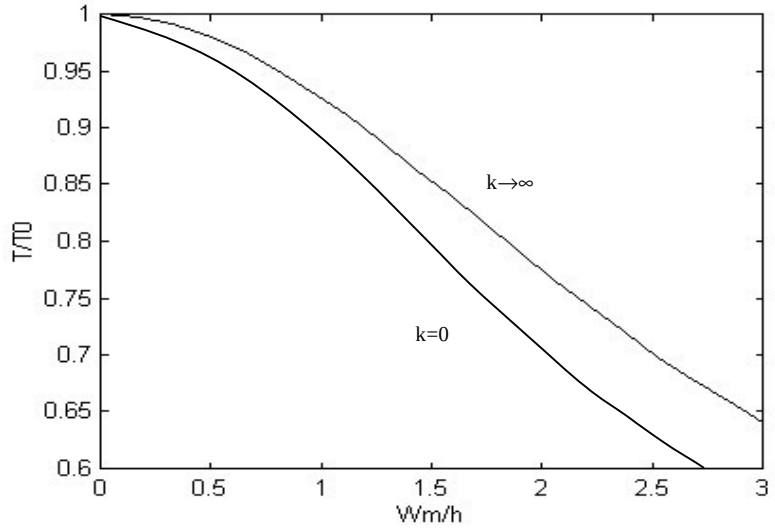


Fig.1: Period of plate vibrations vs. relative vibration amplitude for two boundary rigidities.

Noise Radiated By The Vibrating Plate

The vibrating plate is radiating sound in air of mass density ρ_0. The acoustic pressure in a point $P(R,\theta,\varphi)$ for z > 0, the domain in which the radiation takes place (Fig. 2), is given by the Rayleigh formula [2,3].

$$p(R,\theta,\varphi)=\frac{\rho_0 e^{ikR}}{2\pi R}\int_0^a\int_0^b w(x,y)e^{ik\sin\theta(x\cos\varphi+y\sin\varphi)}dydx\,.$$

The far field (R>>a) is determined, thus the distance between a point P in space and any point of the plate is considered the same, denoted by R.

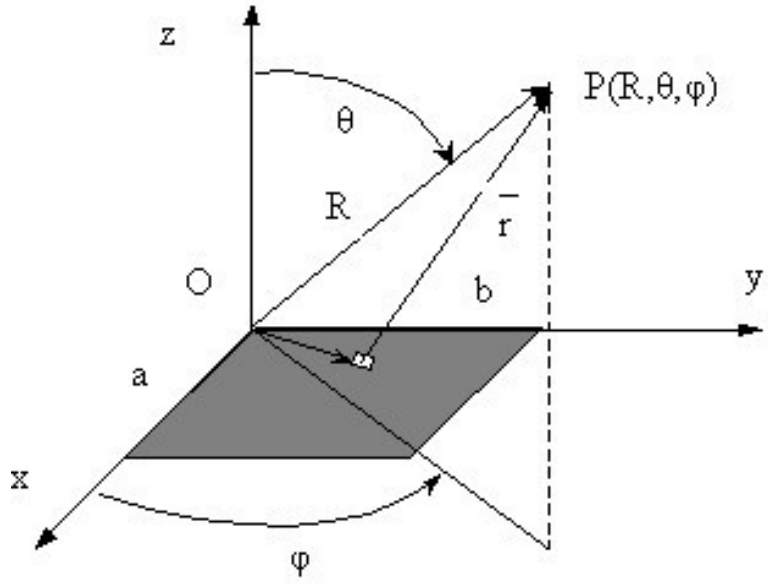


Fig. 2. Spherical coordinates used to determine the sound pressure and level.

The sound level can be numerically determined for an elastically clamped plate of steel, for which the material constants are $E=2.1\cdot10^{11}$, $\nu=0.33$. Plate dimensions are 0.98× 0.48×0.0006 mm and the plate is harmonically excited at 16.2 Hz, which is the natural

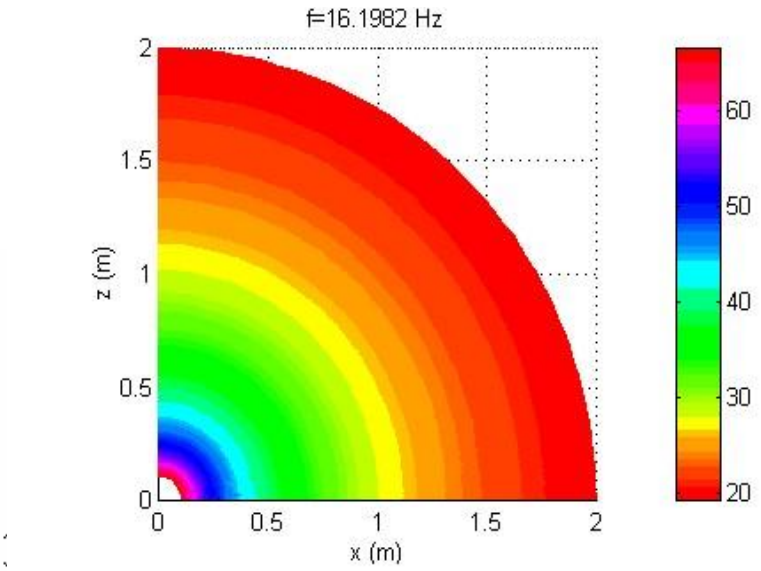
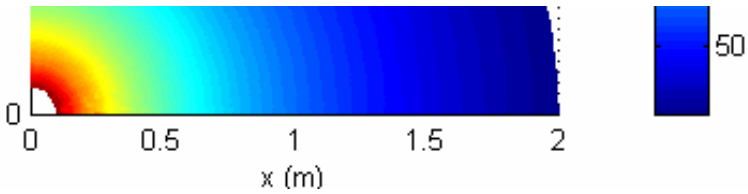


Fig. 3. Level of noise radiated in the far field by a clamped rectangular plate. Maximum amplitude 1 mm



frequency of this plate if it would be rigidly clamped and would have small displacements. is presented in fig. 3. Plate dimensions are 0.98× 0.48×0.0006 mm and the plate is harmonically excited at 16.2 Hz, which is the natural frequency of this plate if it would be rigidly clamped and would have small displacements, this for reference purposes[4].

Higher amplitude of the plate vibrations has a direct influence on the calculated noise level for the rigidly clamped plate. In fig.4 is presented the noise level in the far field in this case, which is some 30 dB higher.

Higher rigidity of the clamped boundaries has as effects an increased frequency and noise level, provided that the same maximum displacements can be obtained. This requires sensibly higher energy of the actuator. If other external perturbations such as non-uniform boundary conditions along all edges can be avoided, this procedure can be used to control the noise level by variations of boundary rigidities.

Fig. 4. Level of noise radiated in the far field by a clamped rectangular plate. Maximum amplitude 5 mm

Conclusions

The numerical procedure yields solutions depending on plate vibrations amplitudes and clamping rigidity, proving that the plate model used is adequate for plate radiation investigations. These results are currently under experimental tests and preliminary experiments are promising.

References: 1. Chia, C.-Y., *Nonlinear Analysis of Plates*, Mc.Graw-Hill, 1980. **2.** Junger, M.C., Feit, D., *Sound, structures and their interaction*, MIT Press, Cambridge, 1986. **3.** Morse, P.M., *Theoretical Acoustics*, Mc.Graw Hill, N.Y. 1968. **4.** Predoi, M.V. , Magheti, I., Enescu, N., Bugaru, M., "Noise radiated by a transversely actuated rectangular plate", The 2000 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Nice, France, pp. 2623-2626.

STUDIES REGARDING THE INFLUENCE OF THE MILLING PROCESSES IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES ON THE ENVIRONMENT

Carausu C.*Pruteanu O.V. * ,Paraschiv Dr. *, Pricope C., Huşanu V.** Toca Al.**
(TU-Gh.Asachi-Iassy,Romania, URB-Barlad,Romania, UTM-Chisinau, R. Moldova)

The paper presents the experimental results obtained in the milling process using different lubricating-cooling systems: classical, with minimum cooling, without cooling.

Milling processes

The shell mill, fig. 1, is together with the drilling, the slotting, the planing, the milling with the worm hob, among the proceeding with high cutting liquids consumption. The trials have been done on a cantilever mortiser. The technical data and the conditions under which the measurements have been done are presented in table 1.

Table 1. Processing conditions.

Table 2.

Machine tool: Milling cutter	-speed area: 35,5-1800 rot/min -cutting speed area: 31,5 – 1800 mm/min
Tool: shell mill Blank C54 DIN 17200-87	ϕ 25x45 tip NR, Material: high-speed steel 120x120x800
-cut-up milling v = 28 m/min v_s = 200 mm/min	t = 15 mm t_1 = 2,5 mm L = 500 mm

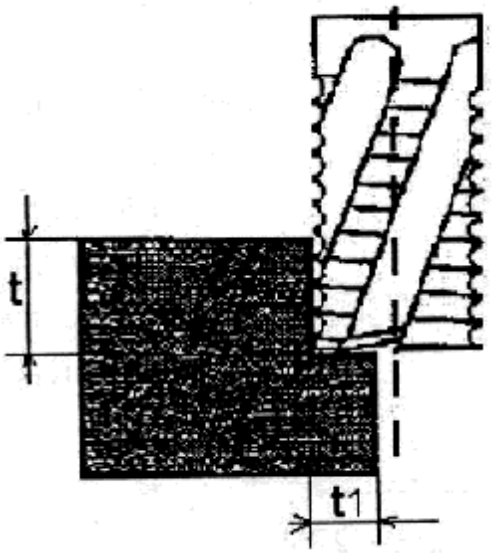


Fig. 1. Diagram of the processing.

As auxilliary materials there have been used:
- for the continuous spray cooling: 5% emulsion (15 l/m flow rate);
- for the minimum lubrication and cooling processing technique: rape-seed additived oil, sunflower oil, polymer-ester, cutting oil (0,26 l/m consumption).

The evolution of tehe tool in different processing variants is presented in fig.2. The values allowed for the tool's wear have been considered 0,3 for the cutting edge and 0,5 at the top of the tool (for a resharpened milling cutter)

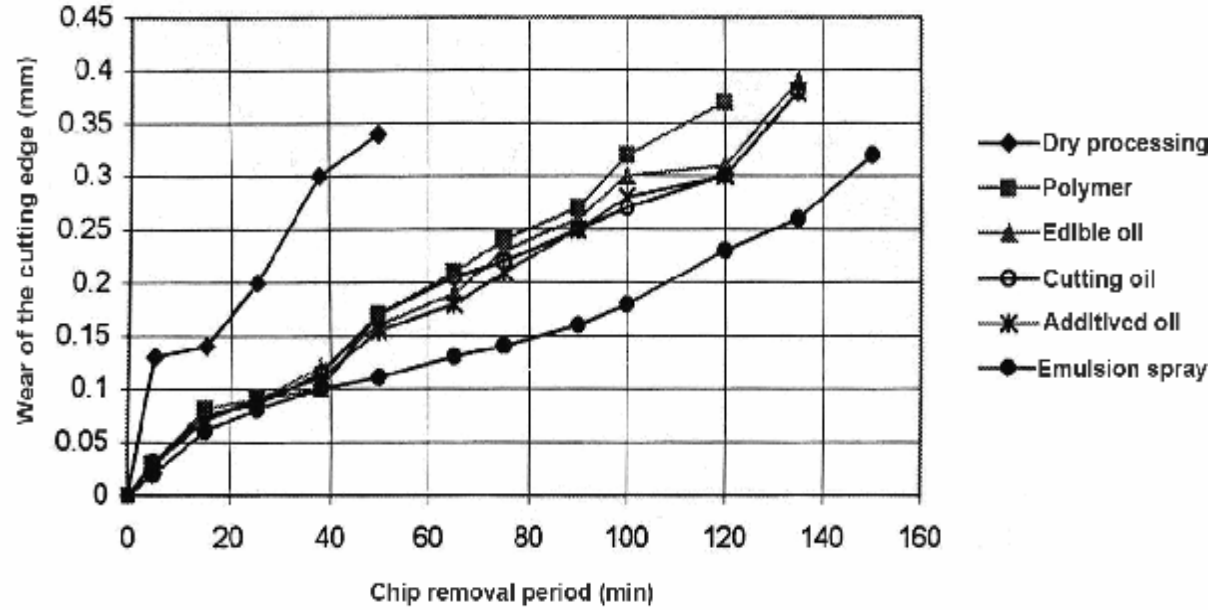


Fig. 2. Variation of the tool wear in different processing variants

The results obtained show the fact that under the respective chip removal conditions a dry processing is not profitable. The greatest durability of the tool has been obtained for the processing where the cooling has been done with continuous cutting

liquid spray. In the case of minimum cooling and lubrication techniques the tool's durability depends on the used cooling environment (fig. 3and 4).

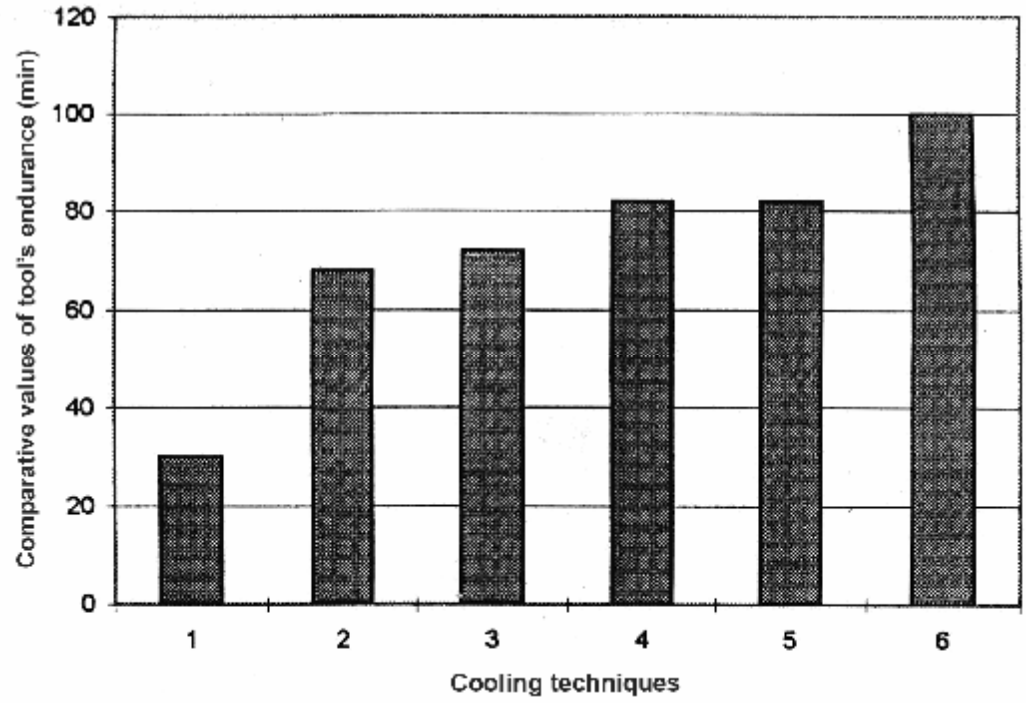


Fig. 3. Comparison of the tool durability under different cooling/lubication techniques (Edge wear = 0,3 mm) (1-dry processing; 2-minimum lubrication with polymer-ester, 3-sunflower oil; 4-cutting oil, 5- rape-seed additived oil, 6-emulsion 5%)

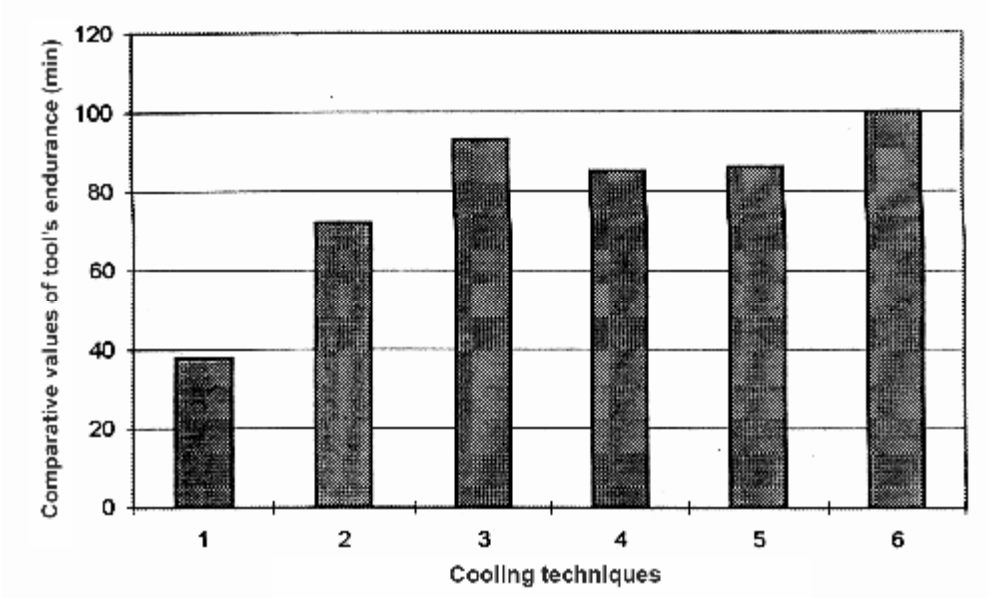


Fig. 4. Comparison of the tool durability under different cooling/lubication techniques (Edge wear = 0,5 mm) (1-dry processing; 2-minimum lubrication with polymer-ester, 3-sunflower oil; 4-cutting oil, 5- rape-seed additived oil, 6-emulsion 5%)

Using as comparison basis the cutting with continuous cooling wit emulsion (100%) we can see that the tool's durability in the case of dry cutting represents just a third from this value. The use of the minimum lubrication technique ensures a tool durability of aproximately 80% from the value obtained at the classical processing (depending on the used cutting environment).

The effects of the use of different cooling environments on the cutting forces compounds (e.g. on the active force,resulted from the utting force and the feed force) are represented in fig. 5.

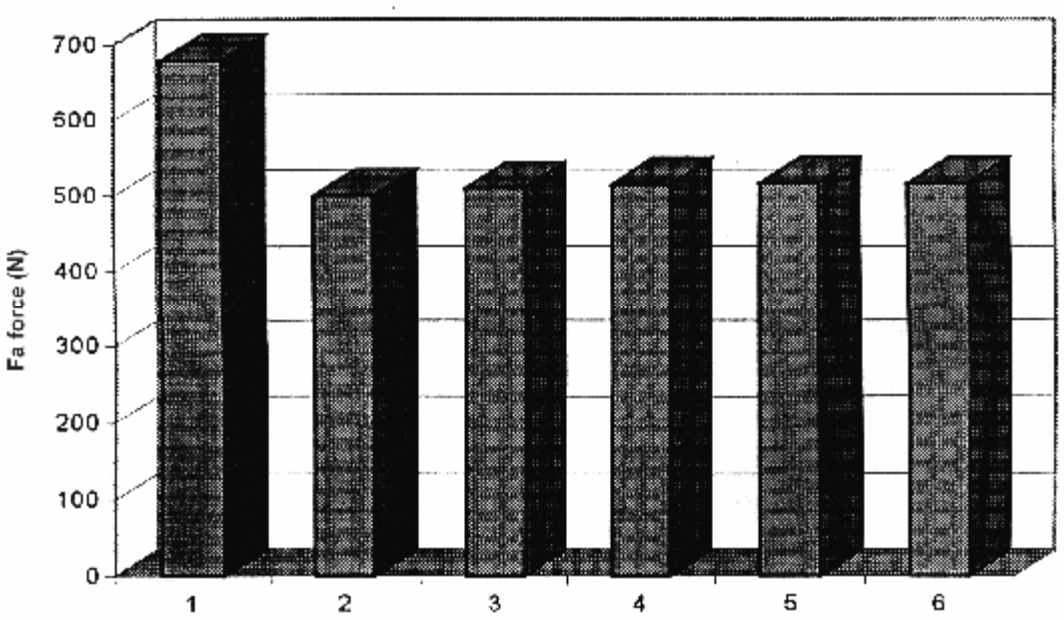


Fig. 5. Comparison of the cutting force depending on the type of cooling technique used (1-dry processing; 2-minimum lubrication with polymer-ester, 3-sunflower oil; 4-cutting oil, 5- rape-seed additived oil, 6-emulsion 5%)

We can see that there is a difference (of about 200 N) only between the dry processing and the rest of the cooling processes (for which the values of the force are comparable). We can state that the introduction of the minimum lubrication and cooling technique determines a reduction of the cutting force to values comparable with those of the chip removal with calssical cooling system.

The comparison of the roughness values othe processedsurfaces (fig. 6) shows the achievement of some very high values in the case of dry processing.

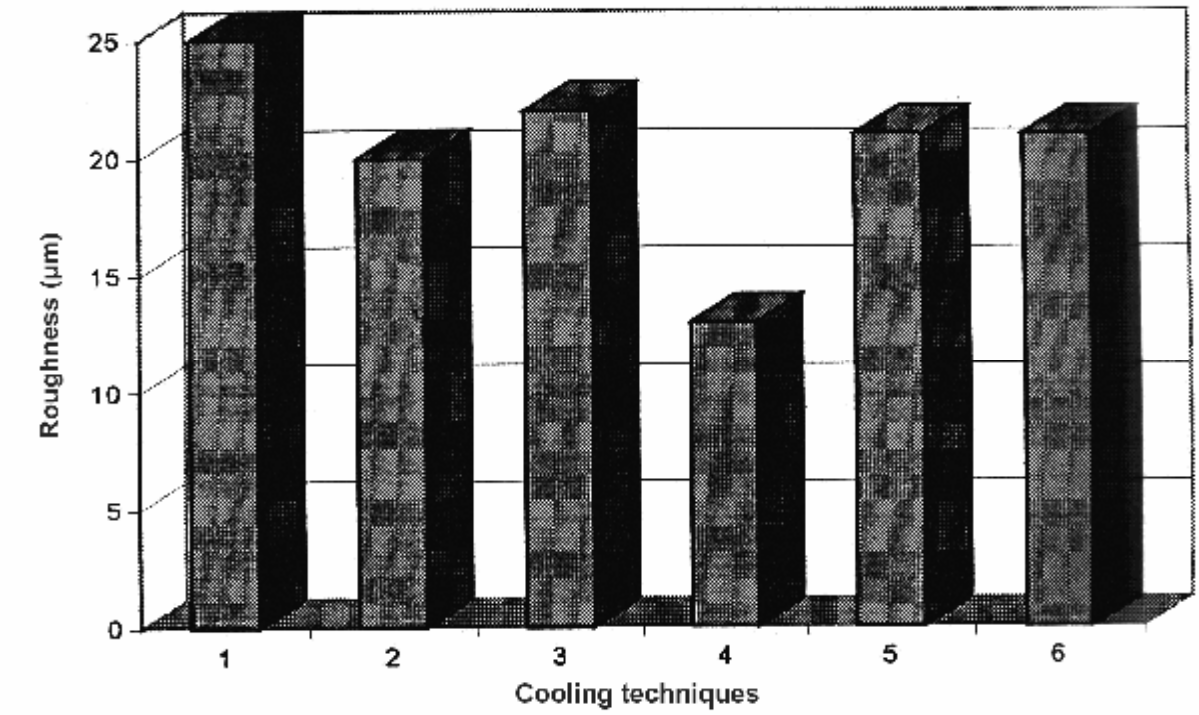


Fig. 6. Comparison of the roughness values form the surfaces for different cooling techniques (1-dry processing; 2-minimum lubrication with polymer-ester, 3-sunflower oil; 4-cutting oil, 5- rape-seed additived oil, 6-emulsion 5%).

Conclusions.

- In the case of milling the dry cooling is not favourable from the tool wearing point of view;
- The minimum cooling ensures the lastingness of the tool which depend on the material used;
- The values of the chip removal force are comparable even out of the dry cooling for which the forces increase.

References: 1. Weinert K.: Trocken bearbeitung und Minimalanlage stahlschnierung, Springer-Verlag, Berlin, 1999. **2.** Frățilă D. Rechearch concerning the determination of the ecological impact of cutting process, Buletinul științific al Universității Tehnice Cluj-Napoca, nr. 42/1999, p. 25-30

SOME EXPERIMENTAL RESEARCHES REGARDING THE INFLUENCE OF THE ENTRANCE PARAMETERS ON THE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING PROCESS

Carp, I., Coteață, M., Tanasă, R. *(Technical University "Gh. Asachi,", Faculty of Machine Manufacturing, Iasi, Romania)*

In the case of the electrical discharge machining, the material removal is a consequence of the micro cavities generating by each electrical discharge. A theoretical model of the micro-cavity forming in the electrical discharge was elaborated by the using of some simplifying

hypothesizes. We established an empirical mathematical model that emphasizes the influence of the capacity of the condensers included in the discharge electrical circuit on the dimensions of the crater generated by the electrical discharge.

INTRODUCTION. Electrical discharge machining (EDM), sometimes referred as spark machining, is a non - traditional method of removing metal by a series of rapidly recurring electrical discharges between an electrode (the cutting tool) and the workpiece. EDM can cut materials regardless of their hardness or toughness, but is limited to the machining of electrically conductive workpiece materials.

The EDM process is most widely used by the mold-making tool and die industries, but is increasingly applied to make prototype and production parts, especially in the aerospace and electronics industries in which production requirements are relatively low. EDM is particularly well suited for parts which are made from materials that are difficult to machine and/or contain small or odd-shaped angles, intricate cavities or intricate contours.

Since its development in the 1940s, electrical discharge machining (EDM) - or spark-erosion machining - has gained wide acceptance among manufacturers, especially those in the aircraft/aerospace and medical industries. EDM is a process that precisely removes metal from electrically conductive materials, both soft and hard.

But EDM has come a long way from its origins in the manufacture of precision tooling and dies. Currently, it is just as likely to be used for production quantities of aircraft, medical, and electronic parts, as for tooling and prototypes. Other major uses of the process include machining carbide stock and producing metal molds and dies for stamping, forging, and jewelry manufacture.

Whereas a laser's depth of cut is limited by the thickness of the workpiece material, EDM cuts deep into hard, thick metals with no loss of precision. Tungsten, titanium, carbide, tool steels, stainless steel, aluminum, and copper are machinable by the process.

Machining is accomplished by the action of rapidly occurring electrical discharges, or sparks, which erode small pieces of metal from the workpiece. The cutting tool is an electrode that is shaped to the contour of the required cut.

Electrodes are commonly made of graphite or copper tungsten; however, the range of constituent materials also includes tungsten carbide, copper, brass, and zinc alloys.

Although rates of metal removal are slower with electrical discharge machining than with other commercial machining methods, the slower removal produces better surface finishes.

Higher rates of metal removal are known to produce rougher finishes that have a molten and resolidified (recast) structure with poor surface integrity and low fatigue properties.

EXPERIMENTAL RESEARCH

The purpose of this experimental work is to determine if the EDM process is following a curve distribution.

The equipment used in our experiment is presented in figure 1. In principle, when we act the switch, by means of a transformer and a rectifier, we obtain a direct current, which is filtered by a smoothing condenser. If the switch is acted, the electric current will pass through the coil of a relay, determining the closing of the contact from the discharge circuit.

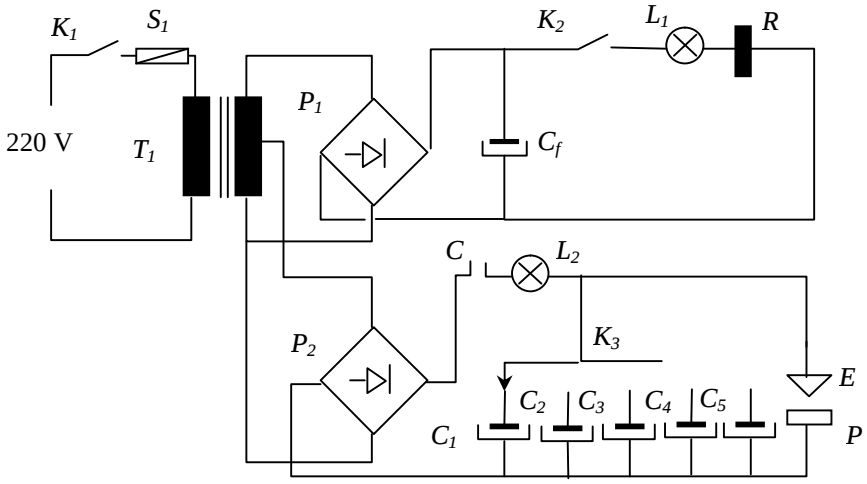


Fig. 1: Equipment for the study of single electrical discharge effects

The decreasing of the distance between the electrode-tool and the proof will contribute to the producing of an electrical discharge. The lamp signalizes the existence of the voltage in the coil feeder of the relay. When the lamp turns off, this means that a complete charge of one of the condensers included in the discharge circuit was performed.

The electrode tool was in our experiment a blade of electro-technical copper and the pieces were made of a stainless steel with a 0.1 mm thickness. The capacity of the condenser was 261 μF.

Table 1 : Experimental values

U_{in}	U_{fin}	C	E	h_1	h_2	B
53	32	261	0.232943	0.48	0.4	1.33
48	26	261	0.212454	0.37	0.13	1.17
53	29	261	0.256824	0.4	0.15	1.46
50	25	261	0.244688	0.35	0.22	1.22
47	35	261	0.128412	0.24	0.17	1.11
52	26	261	0.264654	0.37	0.2	1.13
50	26	261	0.238032	0.38	0.15	1.13
49	27	261	0.218196	0.42	0.17	1.2
46	27	261	0.181004	0.26	0.17	1.22

In the previous table, the values obtained during the experimental research are:

U_{in} – initial voltage;

U_{fin} – final voltage (after the discharge has taken place);

C – capacity of the condenser;

E – delivered energy;

h_1 – height of the crater obtained, including the sedimentation drop obtained during the process (this value will be further on used in our determination, marked as h);

h_2 - height of the crater obtained, without the sedimentation drop;

B – width of the crater.

If the condenser discharge is complete, the delivered energy would correspond to the relation:

$$E = \frac{CU_{in}^{2}}{2} \tag{1}$$

However, the condenser usually does not deliver all the energy; after the electrical discharge, we can remark that on its coatings there is yet a voltage U_{fin}. Thus, the energy delivered by the condenser is:

$$E = \frac{C\left(U_{in}^{2} - U_{f}^{2}\right)}{2} \tag{2}$$

After the calculus, we have used the values obtained to determine the graphic presented in figure 2:

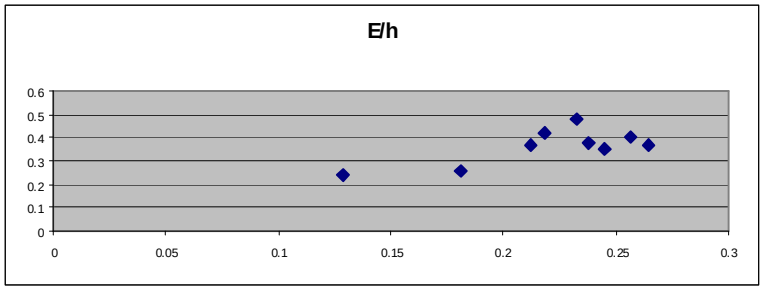


Fig. 2 : The influence of the energy on the height of the crater

Such a crater as the one studied in our experiment is presented in figure 3, showing the size of the hole and the sedimentation drop.

CONCLUSIONS

The main purpose of our work was to determine if the electro-discharge machining process is influenced by the energy size offered by the condenser included in the electrical circuit. After analyzing the specific conditions generating a single electrical discharge and accepting some simplifying hypothesizes, we elaborated an empirical mathematical model to emphasize the influence exerted by the condenser capacity (or by the energy of the electrical discharge) on certain dimensions of the microcavity and we have determined that the function adequate for our distribution and the Gauss sum are the following:

$$h=0.3292098+5,767476E-11,50209E^{2} \tag{3}$$

$$S=2.126162*10^{-3} \tag{4}$$

A second function obtained by the using of an empiric model type power function is:

$$H=1.151075E^{0.7620812} \tag{5}$$

$$S=2.495878*10^{-3} \tag{6}$$

After analyzing the values obtained by the using of empirical mathematical models, we determined that the best function in our case is the first one, since the Gauss sum supports smaller values.

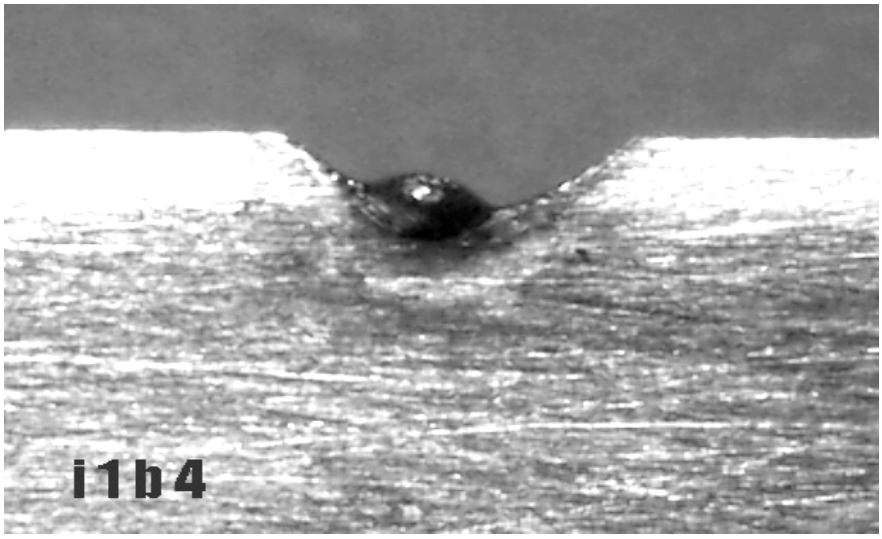


Fig. 3 : Crater obtained by the using of an electro-discharge process between an electro-technical copper electrode and a stainless steel part.

References: 1. Slatineanu, L., Dodun, O., Coteaţă, M., Anton, D. Some considerations concerning the microcavities forming in the case of the single electrical discharge. MicroCAD 2006. International Scientific Conference. 16-17 March 2006. M Szekció: Gépgyártástechnológia és gyártórendszerek. Section M. Production Engineering and Manufacturing Systems.Univerrsity of Miskolc, Hungary. **2.** Amstead, B.H., Ostwald, P.F., and Begeman, M.L.: Manufacturing Processes, p. 658. 8th ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. **3**. Kalpakjian, Serope. : Manufacturing Engineering and Technology, p. 1028. 3d edition. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Co, 1995. **4**. Shortt M.: Electrical Discharge Machining: A Process for Hard Materials and Complex Design, ed. Job Shop Technology Magazine. Available at: http://www.jobshop.com/techinfo/papers /edm3.shtml. Accessed: 15.05.2006.

NANOTECHNOLOGY A REAL PROBLEM FOR ENGINEERING EDUCATION

Ciudin R.V., Nederita V.V. *(Lucian Blaga* University of Sibiu, Romania)

Nanotehnologies are the driving force of the science and technology in the 21st Century. According to specialists in the field, the world market of nanotechnologies will reach 3 trillion dollars USA in 2015. It is particularly this developmental direction that will enable certain countries to further progress in the way of intensive innovative evolution, to create a new qualitative technological level for the main industrial branches and to improve the living conditions for populations. In this paper, the author describes the issues and challenges that are posed, as well as the opportunities, that are offered by nanotechnology, and outlines the steps that must be taken by a nation if it is to benefit from the advances that are envisioned. Some Romanian national institutions, organisations and networks involved in

nanotechnologies, as well as relevant programmes and activities, are presented and discussed in this paper.

It has taken about 45 years of incubation before nanotechnology finally fulfilled Richard Feynman's prophetic words: *There is plenty of room at the bottom* [1].

Nanotechnology's impact on the health, wealth and security of the world's people is expected to be at least as significant as the combined influences in the 20th Century of antibiotics, the integrated circuit and human-made polymers.

The emerging field of nanoscience and nanotechnology has led to a technological revolution in the new millennium. The application of nanotechnology has enormous potential to greatly influence the world in which we live. From consumer goods, electronics, computers, information and biotechnology, to aerospace defence, energy, the environment, and medicine, all sectors of the economy are to be profoundly impacted by nanotechnology [2-4].

It is envisaged that the nanotechnology revolution will lead to fundamental breakthroughs in the way that materials, devices and systems are understood, designed and manufactured. Moreover, it is fundamentally changing the way materials and devices will be produced in the future.

Nanoscience is an opportunity to energise the interdisciplinary connections between biology, chemistry, engineering, materials, mathematics, and physics in education. It will give birth to new fields that are only envisioned at this moment.

Further, nanoscience and engineering knowledge is exploding worldwide because of the availability of new investigative tools, maturity in the biology, chemistry, engineering, materials and physics disciplines, and interdisciplinary synergism. It is an inherently interdisciplinary field that has generated significant scientific and engineering interest in recent years. Like many recent technological developments, nanotechnology exists at the interface among traditionally defined disciplines.

In the USA, Europe, Australia and Japan, several research initiatives have been undertaken both by government and members of the private sector in order to intensify the research and development in nanotechnology [5]. Hundreds of millions of dollars have been committed to research and development in nanotechnology, which in turn is likely to change the traditional practices of design, analysis and manufacturing of a wide range of engineering products. This impact creates a challenge for the academic community to educate (engineering and other bioscience) students with the necessary knowledge, understanding and skills in order to interact and provide leadership in the emerging world of nanotechnology.

Benefits That Nanostructuring Can Bring

The new concepts of nanotechnology are so broad and pervasive that they may be expected to influence science and technology in ways that are unpredictable. We are just now seeing the tip of the iceberg in terms of the benefits that nanostructuring can bring: lighter, stronger and programmable materials, and reductions in lifecycle costs through lower failure rates. (see Figure 1) [6].

Existing products of nanotechnologies include wear-resistant tyres made by combining nanometer-scale particles of inorganic clays with polymers; nanoparticle medicines with vastly improved delivery and control characteristics; greatly improved printing brought about by utilising nanometer-scale particles with the best properties of both dyes and pigments; and vastly improved lasers and magnetic disk heads made by precisely controlling layer thickness.

Many other applications are already under development or being anticipated, including those listed as follows:

- *Automotive and aeronautics industries*: nanoparticle-reinforced materials for lighter bodies, nanoparticle-reinforced tyres that wear better and are recyclable, external painting that does

not need washing, cheap non-flammable plastics, electronics for controls, self-repairing coatings and textiles.

- *Electronics and communications*: all media recording using nanolayers and dots, flat panel displays, wireless technology, new devices and processes across the entire range of communication and information technologies, factors of thousands to millions improvements in both data storage capacity and processing speeds – and at lower cost and improved power efficiency compared to present electronic circuits.
- *Chemicals and materials*: catalysts that increase the energy efficiency of chemical plants and improve the combustion efficiency (thus lowering pollution emission) of motor vehicles, super-hard and tough (ie not brittle) drill bits and
- cutting tools, *smart* magnetic fluids for vacuum seals and lubricants.
- *Pharmaceuticals, healthcare and life sciences*: new nanostructured drugs, gene and drug delivery systems targeted to specific sites in the body, biocompatible replacements for body parts and fluids, self-diagnostics for use in the home, sensors for labs-on-a-chip, material for bone and tissue regeneration.

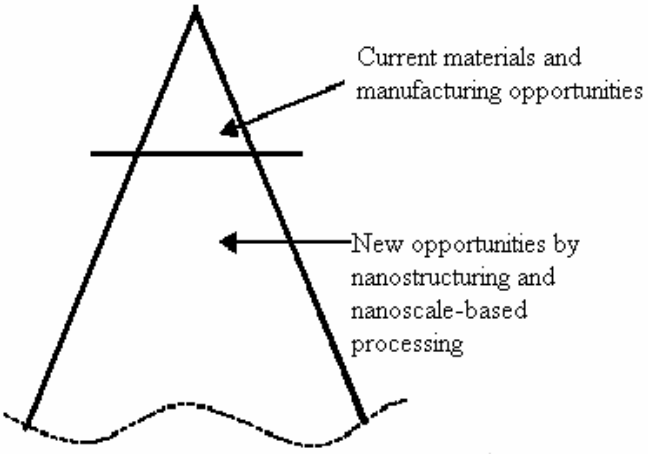


Fig. 1: Current nanotechnology-related materials and manufacturing opportunities.

- *Manufacturing*: precision engineering based on new generations of microscopes and measuring techniques, new processes and tools to manipulate matter at the atomic level, nanopowders that are sintered into bulk materials with special properties that may include sensors to detect incipient failures and actuators to repair problems, chemical-mechanical polishing with nanoparticles, self-assembling of structures from molecules, bio-inspired materials and bio-structures.
- *Energy technologies*: new types of batteries, artificial photosynthesis for clean energy, quantum well solar cells, safe storage of hydrogen for use as a clean fuel, energy savings from using lighter materials and smaller circuits.
- *Space exploration*: lightweight space vehicles, economic energy generation and management, ultra-small and capable robotic systems.
- *Environment*: selective membranes that can filter contaminants or even salt from water, nanostructured traps for removing pollutants from industrial effluents, characterisation of the effects of nanostructures in the environment, the maintenance of industrial sustainability by significant reductions in materials and energy use, reduced sources of pollution, increased opportunities for recycling.
- *National security*: Detectors and detoxifiers of chemical and biological agents, dramatically more capable electronic circuits, hard nanostructured coatings and materials, camouflage materials, light and self-repairing textiles, blood replacement, miniaturised surveillance systems [7].

Nanotechnology Education In Romania

The science, engineering and technology of nanostructures will require and enable advances in a fabric of disciplines: physics, chemistry, biology, mathematics and engineering. In their evolution as disciplines, they all find themselves simultaneously ready to effectively address nanostructures. This provides an unprecedented opportunity to revitalise the connections between physics, mathematics, chemistry, biology and engineering in education. The dynamics of the interdisciplinary nanostructure efforts will revitalise educational connections between disciplines and will give birth to new fields that are only envisioned at this moment. This opportunity requires change in the laboratory and human resource infrastructure at universities, and in the education of nanotechnology professionals, especially for industry.

Research Institutes Involved In Nanotechnologies

The Romanian programme, *New Materials, Micro and Nanotechnologies – MATNANTECH*, aims to develop and support research and development activities that are focused on advanced materials, nanomaterials and nanotechnologies. Figure 2 shows national research institutes and laboratories involved in nanotechnologies.

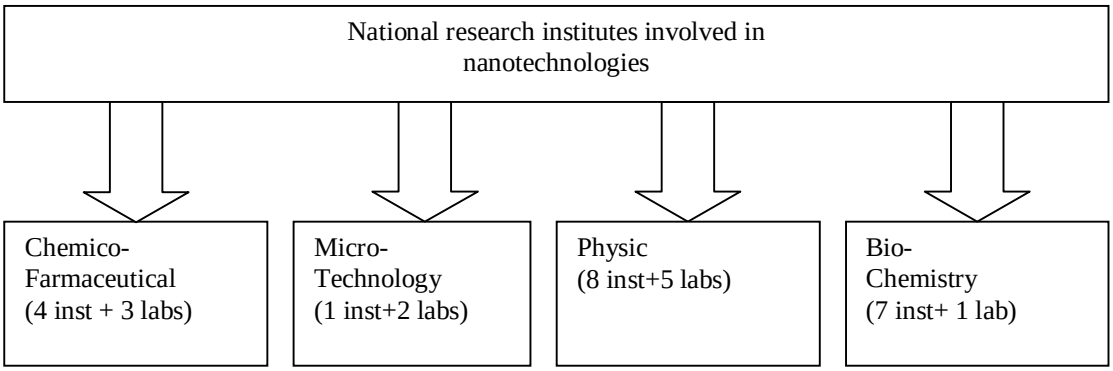


Fig. 2: National research institutes currently involved in nanotechnologies.

Within the framework of MATNANTECH Programme, a total of 108 collaborative projects, three single beneficiary projects and seven priority projects were approved by August 2001, involving 134 partners, and a funding R&D budget of 6.530 million Euro. About 49% of the beneficiaries are from the institutional sector, 13% from large enterprises and 38% from small and medium-sized enterprises.

The MATNANTECH National Programme provides networking opportunities and centres of excellence that bring together researchers, business organisations and investors. The Programme consists of the following organisations:

- Network of research laboratories in the field of micro and nanobioengineering (14 organisations);
- Network of research laboratories in the field of nanotechnologies (13 organisations);
- Network of laboratories for the characterisation of materials and structures for micro and nanoengineering (seven organisations);
- Network of research laboratories in the field of tough materials (six organisations);
- Centre for training and services in microtechnologies (CESME);
- Consultancy Centre in the Field of Nanomaterials, Nanostructures and Nanotechnologies (3N).

National Networks in Nanotechnologies

The following national networks are involved in nanotechnologies in Romania:

- NANOTECHNET: Network of Research Laboratories in Nanotechnology;

- MICRONANOTECH, which was among the 20 European networks selected for the workshop Networking of Nanotechnology in Europe (Brussels, 6 June 2001);
- BIONANONET: Bionanotechnology Network, which is a national network that brings together R&D, clinics and SMEs groups involved in biomedicine;
- CENOBITE: Research Centre in Nanobiotechnologies, which is a virtual centre at the national level (a brand-new concept for Romania) based on a network of research groups;
- 3N: Consultancy Centre in Nanotechnologies, Nanomaterials and Nanostructures. The activity of this Consultancy Centre is supported by a MATNANTECH project.

Events in Nanotechnologies

Special sessions on nanotechnologies at the international level have been introduced during the Conference on Semiconductors (CAS). This is a yearly event that has taken place regularly since 1978. It has been organised since 1996 by the Research Institute for Electronic Components (ICCE) based in Bucharest, Romania.

Over the last few years, the Conference's profile has been gradually extended from semiconductor device physics and technology (including semiconductor materials and microelectronics) to micro- and nano-technologies. In 2001, the Conference concluded with a workshop entitled: *European Co-operation in Micro and Nanotechnologies*, which was organised under the auspices of the Ministry of Education and Research in Romania.

Information Sources about Nanotechnologies

The Micro and Nanotechnologies Bulletin caters for information exchange on nanotechnologies. *The Bulletin* is a support tool for the National Programme MATNANTECH, covering all the issues of the micro and nanotechnologies fields.

The *Series in Micro and Nanoengineering* is another important source of information. This series on micro and nanoengineering is edited by the Romanian Academy Publishing House [8].

Nanoscience research in Romania has developed in open competition with existing disciplines. Nanotechnology research efforts tend to be fragmented and overlap among areas of relevance and sources of funding.

A coordinated effort should be made to focus resources on enabling nanoscience and engineering, on developing infra-structure, stimulating cooperation, as well as avoiding the unwanted duplication of efforts.

The Role of Universities

Universities will continue to play a key role in the development of nanoscience and technology. If there is one signature characteristic of nanoscience, it is of its highly transdisciplinary character. This poses difficulties for universities, which are mainly structured in traditional departments. The most successful research efforts will be those that can create new infrastructures for these centres (for example, materials preparation and characterisation facilities).

It should be pointed out, with regret, that the academic community is reacting slowly to prepare the workforce for emerging opportunities in nanotechnology. Its role should be to promote interdisciplinary work involving multiple departments as follows:

Include courses on surface science, molecular dynamics, quantum effects and manufacturing at the molecular scale in curricula at both the undergraduate and graduate levels;

- Take an integrative science and engineering approach; technology programmes cannot be developed without strong supporting science programmes because of the scale and complexity of the nanosystems;
- Ease intellectual property restrictions to improve information flow with industry;
- Establish graduate and postdoctoral fellowships for interdisciplinary work.

On the pedagogical note, it is believed that nanotechnology should be taught by creating both knowledge-centred and learning-centred environments inside and outside the classroom [9-11]. Because this technology is advancing so fast, it generates activities that encourage creative thinking, so critical thinking and life-long learning should be given the highest priority.

The emerging field of nanotechnology presents unique pedagogical challenges due to its interdisciplinary and nascent character. An example of a teaching curriculum in nanotechnology is shown in Table 1 [12][13].

Table 1. Curriculum in nanotechnologies

Course Category	Course Names
Basic courses	1. General Intro: state of the art
	2. Nanoelectronic fundamental
	3. Nanomaterials and chemistry
Advanced and practical courses	4. Intro quantum physics/chemistry
	5. Biosphere and ecosystem
	6. Bio/Molecular electronics
	7. Nanofabrication materials/processes
	8. Single electron devices
Hands-on lab/projects	9. DNA structure and computing
	10. Nano-characterisation (lab)
	11. Nano-devices hands-on test (lab)
	12. Culture and technology
Meta-physical courses	13. Ethics and intellectual property

This teaching curriculum in nanotechnology, devised and proposed by Prof. F-M. Lee, can serve as a model for reorganising the existing course structure and the way in which teaching and leaning activities are carried out currently at universities in Romania.

It is important to educate engineering faculty, who are rooted in the traditional disciplines, regarding the advances in nano-technology and the ways in which all engineering disciplines will be impacted in the future. Nanotechnology education should be integrated into mainstream undergraduate engineering curricula. It may also be worthwhile to present an interesting view expressed by Light and Cox, who state the following:

> *Traditional teaching has generally suffered from separating off the lecture and seminar room from the social dialogue and engagements of a concrete world; where human intellect functions within the rich and substantial context of social relationships and personal conceptions of who we are and what we want to be. These broader issues of personal and occupational identity can dramatically affect our learning in all contexts... They frequently become the most important and relevant components to student success* [14].

University grants should encourage work among research groups to maximise the use of concepts and ideas being developed in other disciplines. Also, it will be necessary to fund the training of students and support of post-doctorates under fellowships that will attract some of the best students available. This is extremely important considering the rapid changes and advancements in research in this area.

Conclusions

The total societal impact of nanotechnology is expected to be much greater than that of the silicon integrated circuit, because it is applicable to many more fields than just electronics. Significant product performance improvements and manufacturing advances will lead to many indus-

trial revolutions in the 21st Century. Nanotechnology has the potential to change the nature of almost every human-made object, because control at the nanoscale means tailoring the fundamental properties, phenomena and processes exactly at the scale where electronic, chemical and biological properties and phenomena are defined.

Nanoscience and engineering knowledge is exploding worldwide, leading to fundamental scientific breakthroughs and technological paradigm changes in the ways that materials, devices and systems are understood and created. Potential breakthroughs include the emergence of entirely new phenomena in physics and chemistry.

In education, nanoscience offers an opportunity to energise the interdisciplinary connections between biology, chemistry, engineering, materials, mathematics and physics. Indeed, nanotechnology will give birth to new fields that, at present, are only visions of leading researchers.

Nanoscale science and engineering promises to become a strategic, dominant technology in the next 10-20 years, because the control of matter at the nano scale underpins innovation and progress in most industries, the economy, health and environmental management, the quality of life, as well as national security.

References: 1. Feynman, P., A Lecture in Engineering Science. California Institute of Technology, February (1959). **2.** Uddin, M. and Chowdhury, A.R, Nanotechnology education. *Proc. Inter. Conf. on Engng. Educ.*, Oslo, Norway (2001). **3.** Hersam, M.C., Luna, M. and Light, G., Implementation of interdisciplinary group learning and peer assessment in a nanotechnology engineering course. *J. of Engng. Educ.*, January, 49-56 (2004); **4.** Chang, J.P., Challenges in engineering education of nanotechnology. *Inter. J. of Engng. Educ.*, 18, **5**, 486-487 (2002). **5.** National Science Foundation, National Nanotechnology Initiative (2005), http://www.nsf.gov/home/crssprgm/nano/start.htm **6.** Alivisatos, P., Roco, M.C., and Williams, R.S., IWGN Workshop Report Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade. NSTC (1999). **7.** Roco, M.C., Nanotechnology – a frontier for engineering education. *Inter. J. of Engng. Educ.*, 18, **5**, 488-497 (2002). **8.** Nanotechnology in Romania, The Program Frame-work 6 of the European Union. Bucharest: the Ministry of Education and Research of Romania (2005). **9.** Edelstein, A.S. and Cammarata, R.C., *Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications.* Bristol: Institute of Physics Publishing (1996). **10.** Directorate-General for Research, Nanotechnology - Innovation for Tomorrow's World. EUR 21151EN (2004). **11.** NanoTechnology Group Inc., Nano Science Education: Challenges and Opportunities. North-South Dialogues, Trieste: TNTG (2005). **12.** Lee, F-M., Ideology and tactics for engineering education to lead the nanotechnology revolution. *Proc. 9th Baltic Region Seminar on Engng. Educ.*, Gdynia, Poland, 27-30 (2005). **13.** Lee, F.F-M., Teaching strategies for nanotechnology in engineering education. *Proc. iCEER-2005*, 122 (2005). **14.** Light, G. and Cox, R., *Learning and Teaching in Higher Education: the Reflective Professional*. London: Paul Chapman Publishing (2001).

STUDY REGARDING THE ENERGY BALANCE OF AN ECDM PROCESS

Coteață, M., Slătineanu, L., Carp, I., Ciofu, C. *(„Gh.Asachi" Technical University of Iaşi, Romania)*

Any machining process has energy consumption, respectively an energy balance including most of the working parameters. Electrochemical discharge machining is a complex process, its energy balance depending on the parameters specific to the electrical discharge and also

on the electrochemical dissolution characteristics. This paper covers a study regarding the energy balance of this hybrid machining method.

Introduction.

A hybrid machining method implies two or more different machining processes in one single process that takes the individual advantages of the both methods and tries to diminish the individual negative effects by a synergetic action. The machining rate of a hybrid machining (Q (PH)) should be higher than the sum of the individual machining rates (Q (A) with Q (B)) due to the fact that the interaction of the processes implied is supposed to have a positive effect on the machining rate also (fig. 1).

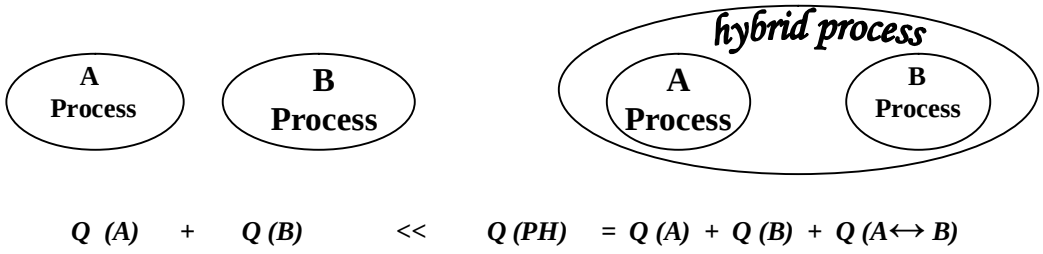


Fig.1. Hybrid machining process

Electrochemical discharge machining (ECDM) is one nontraditional hybrid machining method based on a simultaneously development of electrical discharge erosion with an electrochemical dissolution. Thus, ECDM is characterized by electrical discharges ignition in the gap between the electrodes (electrode-tool and workpiece), in an electrolytic medium (liquid) that permits at the same time an anodic dissolution of the working material.

Energy balance of an ECDM process

It is well known that almost all the hybrid machining methods tend to use the characteristic energies of each involved process. In this case, a process by the electrochemical discharge machining has, theoretically, a useful energy W_{ECDM} which is representing the totalizing of the W_{EDM} - necessary energy for the electrical discharge erosion, with W_{ECM} - the necessary energy for electrochemical dissolution.

$$W_{ECDM} = W_{EDM} + W_{ECM} . \tag{1}$$

The energy of an electrical discharge is given by the following relation:

$$W = \frac{CU^2}{2}, \tag{2}$$

where C is the condenser capacity and U is the voltage between the electrodes.

As the voltage is varying during the discharge, we can write:

$$W_d = \frac{CU_i^2 - CU_f^2}{2}, \tag{3}$$

where U_i express the initial value of the voltage (before discharge), and U_f is the final value of the voltage.

Thus, we should consider that the useful energy for electrical discharge process is:

$$W_{uEDM} = k_1 W_d \tag{4}$$

where k_1 is a coefficient taking into consideration the fact that only a part of the discharge energy W_d is used for material removal, respectively for the microcavity forming.

This useful energy may be considered as a sum of the energy necessary heating a material volume at the melting point W_{t1}, the energy necessary for the effective melting of the same material volume W_{t2}, the energy necessary for bringing the melted material until the vaporization temperature W_{v1}, and of the energy necessary for effective vaporization of the same material volume W_{v2}.

$$W_{uEDM} = W_{t1} + W_{t2} + W_{v1} + W_{v2} \tag{5}$$

For each of these energy components we can define their expressions.

Thus, for the energy necessary for heating the volume material at the melting point we have:

$$W_{t1} = m\,c\,\Delta\Theta \tag{6}$$

where m represents the material amount [g], c – specific heat of the workpiece material, $\Delta\Theta$ - the difference registered between the melting point and the initial temperature.

The energy necessary for the effective melting of the material amount m, is:

$$W_{t2} = m\,\lambda_t, \tag{7}$$

l_t is the latent melting heat of the workpiece material.

From the melting state to the vaporization moment the material will consume the energy W_{v1} given by:

$$W_{v1} = k_2 m C(\Theta_v - \Theta_t), \tag{8}$$

where k_2 is a coefficient that takes into consideration that not all the melted amount of the material will be at the vaporization temperature.

The energy necessary for the evaporation of the melted material is:

$$W_{v2} = k_2\, m\, \lambda_v \ . \tag{9}$$

Taking into consideration the above mentioned relations we can write the extended expression of the useful energy for the electrical discharge process:

$$W_{uEDM} = m\,c\,\Delta\Theta + m\,\lambda_t + k_2\,m\,c(\Theta_v - \Theta_t) + k_2\,m\lambda_v . \tag{10}$$

According with the electrolysis Faraday's laws, a process of electrochemical dissolution is characterized by the following expression:

$$m_d = \frac{AIt}{zF}, \tag{11}$$

where m is the quantity of the dissolved material, A – is its atomic mass [g], t – the dissolving time [s], $I(t)$ – the current intensity [A], variable in time, z – the valence, F- the Faraday's constant (F= 96500 A·s).

As the energy of the electrochemical process given by Joule's law is:

$$W_{ECM} = UIt, \tag{12}$$

we can write its expression like:

$$W_{ECM} = \frac{Um_d zF\ t}{At} = \frac{Um_d zF}{A}. \tag{13}$$

Returning to the formula (1) we can write a detailed expression of the useful energy in a hybrid process by electrochemical discharge machining:

$$W_{ECDM} = W_{EDM} + W_{ECM} = mc\Delta\Theta + m\lambda_t + k_2 mc(\Theta_v \quad \Theta_t) + \frac{Um_d zF}{A}, \tag{14}$$

from which we can notice that the energy balance of an electrochemical discharge machining process is depending on the quantity of the removed material (either by EDM and by ECM), on the characteristics of the machined material (as melting point or vaporization point, atomic mass, valence etc.).

It is interesting the fact that in this formula any parameter of the working liquid does not interfere. Some of the working liquid parameters that influence the ECDM process are presented in figure 2.

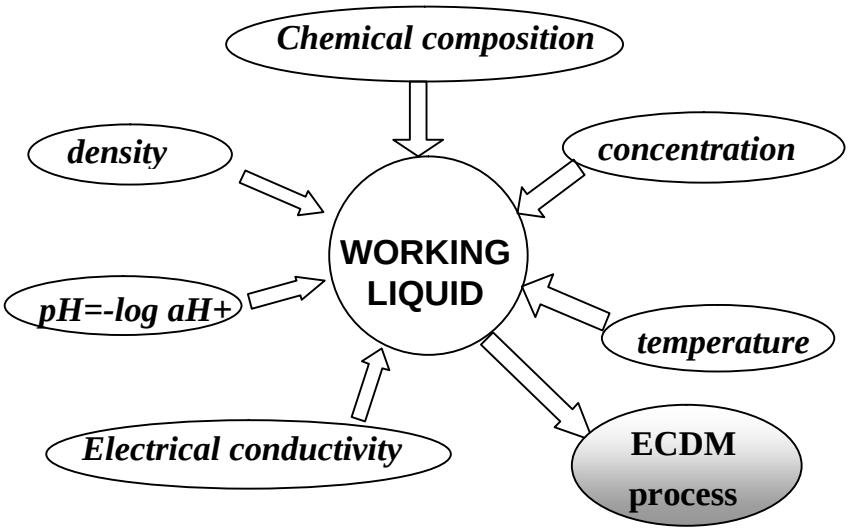


Fig.2. Working liquid parameters that influence the ECDM process

Usually, in a hybrid process of electrochemical discharge machining, the working liquid assures the presence of the electrically charged particles in the working gap, initiates and maintains the material electrochemical dissolution, removes from the working gap the particles, assures an optimum temperature in the working gap and does not allow the removed particles to stick back on the workpiece surface.

The working liquid for an ECDM process is chosen depending on: the workpiece material properties and on the process requirements; thus, the chemical and the electrical properties of the liquid influence many of the interest parameters.

There are two main types of working liquid: with good electrical properties (such working liquids are aqueous solutions of natrium chloride, natrium nitrate, and potassium hydroxide) or semidielectrics (from this category the most often used is an aqueous solution of natrium silicate *Na2O›nSiO2*).

Conclusion

The energy balance of a hybrid process of electrochemical discharge machining may be estimated, varying mainly on the workpiece material properties and the electrical parameters applied. Some other output parameters of the ECDM, as surface roughness, tool wear, precision etc., are depending also on the working liquid properties.

Further on some experiments with different working liquid will be developed in order to establish the varying of the output parameters of an ECDM process. These experiments will be done also in order to determine a theoretical-experimental correlation between the energy balance and the properties of the working liquid.

References: **1**. Artamonov, B.A. et al. Razmernaia electriceskaia obrabotka metallov. Moskva: Vâsşaia şkola 1978. **2.** El-Hofy, H., *The role of electrolyte flow velocity in EEDM*. Alexandria Engineering Journal, Vol.35, No.2, martie1996, p. A139-A145. **3.** Schulze, H.P., De Silva, A., Mediliyegedara, K., McGeough, J.A., Wollenberg, G. *Special demands on process energy sources for hybrid machining ED/EC processes.* Nonconventional Technologies Review, Bucureşti: Editura Bren, nr.2, 2005, 7-12. **4.** Slătineanu, L., Nagîţ, G., Dodun, O., Coteaţă, M.,et. al: Non - traditional manufacturing processes. - Chişinău, Publishing House Tehnica Info, 2004, p. 15-16.

THE ERP SYSTEM FOR NON-TYPICAL COMPANIES - ANALYSE

Ćwikła G., Kalinowski K. *(The Silesian University of Technology, Gliwice, Poland)*

This paper presents the analyze of requirements for the ERP systems, that will be implemented in a company, non having typical profile of production. Most ERP systems are flexible and allow for it's reconfiguration according to company needs. However it usually fits to the companies which have typical production profile. The paper describes requirements of a company producing large products, requiring construction changes during the manufacturing stage and produced in small volumes.

Introduction

Present-day environment where companies runs its economic activity is frequently changing. It is caused by globalisation of trade and services as good as by removing barriers in international trade. Customers requires quality and low prices of products and services. Time limits and delivery dates are very important also. Small-series multi-assortment production becomes most typical production. In this situation there is demand for methods and computer systems which can improve efficiency and profitability of company. Computer systems supporting different departments of the company should be integrated into one large system, allowing management of whole company [1].

Most of available integrated systems for managing of company are "shell-systems" prepared to meet requirements of typical company. Typical systems usually fits the companies

which have typical production profile – large volume of production, small or medium sized products. However reconfiguration abilities of the system sometimes can be not enough if activity of company is not-typical.

Implementing of MRP systems is risky operation – only about 40% of implementations are fully successful, leading to get functional system integrating all departments of company - and in result – improvement of company functioning. Main part of cost of introducing ERP system in company is not the price of software but the cost of system implementation (Fig. 1).

Analyse of requirements for ERP system

When choosing new system, the first step is to make an inventory – find out where old systems are good enough and its functioning meet the needs, where it is insufficient and its functioning is not acceptable. The cause of implementing new ERP system is often lack of information about company functioning, costs of departments and single products, problems with storing of materials or with usage of production capacity and human resources.

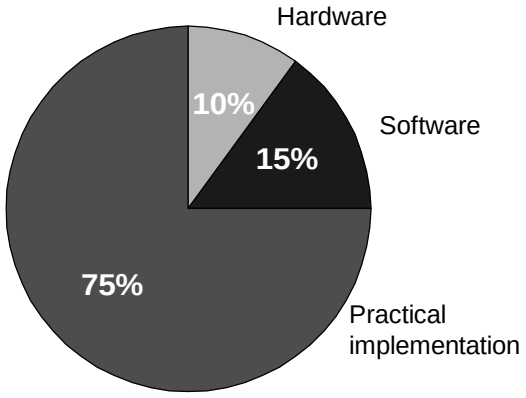


Fig. 1: Structure of costs of the MRP/ERP system implementation.

It is necessary to determine requirements of system functionality for all departments and types of activity of company. Areas where old system is good enough are simply to analyse – it is sufficient to describe its functions. Areas where old systems were not good enough requires analyse of lack in its functioning and required functions. Most difficult to analyse are areas where no supporting systems were implemented or the department didn't exist. In this case user should describe expectations of future system users.

This analyse have to take into concern not only actual situation of company, but also its perspectives of expansion and future requirements. If system meets only today's needs in case of company growth it will require expensive changes or even complete replacement.

Requirements should be divided into few groups – first group is most important - requirements, which absolutely have to be fulfilled. Second group are requirements which are important but can be disputed – software modules can do the same functions in other way or there is possibility to develop required modules. Third group are requirements concerning functions giving additional (not necessary) abilities or comfort of usage.

Requirements for the ERP system in company producing large products in small volumes

Requirements which management supporting system has to meet are depending on company organisation structure, type of products, volumes of production and many other things. In this paper we discuss requirements of middle company, producing large products

(tanks, heat exchanger, chemical apparatus), requiring construction changes during the manufacturing stage and produced in small volumes. Additional difficulty is a necessity of acquiring certificates and attestations for the products because of its operating in high pressure or temperature conditions. Volume of production is low, company produces short series or even single units of products. Products often requires changes in construction, materials or technology during production stage, which made difficult production planning and causes disturbances of making other products.

Requirements can be divided into two groups – common and detailed requirements.

Common requirements

Common requirements are requirements which are independent on company type, its production profile and volumes. ERP system should be applied in as many as possible company's departments. Management Information System module is a module receiving data from all other modules and it have to present full description of actual situation of company as good as prediction of situation in the future. Method of presentation should be easy to interpretation and giving information necessary to manage of the company.

System have to be compatible with present law and regulations. In case of changes in regulations it should be flexible and allows adaptation to actual law. Accounting module have to generate all needed tax declarations, forms, reports for stock exchange etc..

Localised, national version of the system ought to be available. All system possibilities should take into account specific features of local language (e.g. sorting words with national specific characters in proper alphabetical order). Local language should be main language of user interface, menus, help files, data input windows, reports, documentation of system, training materials, technical description and operation manuals.

Structure of the system, co-operation with other software and hardware

System should be realised in client-server architecture and have modular structure, allowing partial implementation in departments of company. System having client-server architecture is storing all data on main server, allowing easy changes in configuration, possibility of changing assignment of workstations and fast backup of system.

Majority of main customer requirements should be satisfied without changes in software, only by parameterisation of system. Company's informatics should have possibility to make changes in system in case of changing of law regulations

System should be able to exchange data with other software, e.g. calculation charts, text editors, EDI. Possibility of importing data from old programs, previously used in company, is great advantage of system.

Operation and user interface, system security requirements

Most of system modules ought to have uniformed menus, screen layouts, keyboard shortcuts and similar method of operation. Another required elements of system interface are: context help in data input windows, error information if inputting incorrect data – system should be "user friendly". Graphical user interface should be used only if necessary, making possible usage of older computers on workstations, where text interface is sufficient.

System have to be equipped with multi-level user authorisation and passwords. User can access only modules and operations which are permitted to him. All user activity is logged, all printed documents are marked with date and time of printout. System should be secured against improper user activity, loss or stealing of confidential data and system crash because of system errors. Error reports can be sent to system provider to make changes in software avoiding this type of errors in the future. Automatic data backup function is absolutely necessary function.

Detailed requirements depending on company specifics

Requirements coming from small production volume

Production of large products in small volumes causes many difficulties, starting from stage of offer preparation. Pricing of offer is difficult because of data shortage – simplest method of pricing is to use data from previously produced similar product. If there were no similar product, simplified project of product, containing material and labour requirements, have to be prepared. It is expensive procedure and system should support it, because only 40-50% of offers is accepted and realised.

Another problem is necessity of changes in product during production process. Changes are caused by newly found errors in constructional or technological documentation or by new demands of customer. It requires additional expenditure of time and work of constructional or technological departments and changes in schedules not only for corrected product but for all products. ERP system should be flexible and allow changes in production schedule, production plans, material demands etc. during production process. Changes proposed by system should be optimised for lowest disturbances in other product schedules.

Requirements coming from necessity to get certificates and attestations

Necessity of acquiring certificates and attestations for the products because of its operating in high pressure or temperature conditions is additional problem. Getting certificates for finished products is time-consuming process, certificates are made out by independent external institutions and requires long bureaucratic procedures. In many cases product is finished but cannot be sent to customer because of lack of certificate.

Also materials used to make new product, like metal plates or pipes, should have attestations. Large products are in most cases welded of smaller pieces. Strength of all important welds have to be checked – x-rayed. Products prepared for export are more troublesome – it should fulfil requirements of foreign certificates, different in many states.

Materials management

Materials used to build product operating in high pressure or temperature conditions are more expansive than normal. Characteristic and strength of material have to be checked before production – it is required to get certificates for completed product.

Metal sheets or plates are bought as single unit and needed parts are cutted out from sheet. In many cases not whole sheet is used to build a product. Material management module should allow rational usage of material remains.

Requirements coming from large products dimensions

Large product dimensions causes organisational problems – dimensions of assembly room and storage places are limited, simultaneous assembling of few products causes problems with its moving and handling, products are very heavy and have to be moved by cranes or gantry crane. If greater number of product have to be produced in the same time, efficient coordination of its moving is needed.

Shipment of product can be a big problem too. Sometimes completed products have to be disassembled because of no possibility to transport complete product by truck or train.

Conclusion

Practical application of ERP system is difficult and long-lasting process. Above half of implementation attempts is not fully successful, even in typical companies. Before introducing ERP system, analyse of company's requirements and specific features is necessary to increase chances of successful implementation. Detailed analyse of proposed systems according to requirements will allow to chose best solution and make required changes in it. The best solution is system requiring least changes and offering shortest time of implementation in acceptation able price.

Also references of proposed systems should be checked. Successful implementations in other companies increases chances for success in our company. Experience in system's implementation is great advantage.

AUTHORS:

Ph.d. Grzegorz Ćwikła, Ph.d. Krzystof Kalinowski - Silesian University of Technology, Department of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems,

44-100 Gliwice, Konarskiego 18a, Poland,

e-mail: grzegorz.cwikla@polsl.pl, krzysztof.kalinowski@polsl.pl

References: 1. DURLIK, I. *Inżynieria zarządzania*, 1996, AW Placet, Warszawa, **2.** BERENDT, B. *MRP w zarysie*. http://www.pckurier.pl/archiwum/art0.asp?ID=2925, **3.** *Oprogramowanie klasy MRP - fakty i mity*. www.dis.waw.pl/raporty/kz98/kz98ip.htm, **4.** CZAJKOWSKA, M.: http://www.ee.pw.edu.pl/~mczajkow/mrp.htm.

AXIAL FAN BY SUPPLIMENTARI AUTO ASPIRATE FLOW

Dan Scurtu, Murăraşu Emanuel ***(Technical University "Gh. Asachi" Iasi Romania)***

In a previous work we analyzed the influence of fluid emission through the running board for a single wing. These experimental determinations emphasized great increase of the bearing power. In this work we will experimentally examine the aerodynamic behavior of the wing, which emits fluid through the running board by working in the network. The experimental determinations are made on an axial ventilation engine having 630 mm and for which the pallets have in the length of running board a 1 mm slit. The air aspirated through the pallets of the hub level is exhausted as a jet through the running board of the pallets. As a result of the experimental comparative determinations the ventilator without jets and the one with jets, we noticed for the ventilators with fluid emission: a debit increase, a pressure increase and an output increase. The experimental attempts have been made with several rotations.

Introduction

In work [1] we emphasized experimentally the influence of fluid emissions through the running board of a single carrying wing. Thus we concluded that this perturbation has a direct influence on the carrying power and on the resistance power when advancing. In this way researches have shown an increase of the carrying power and implicitly of the carrying coefficient with regards to the values that this coefficient can take, we have noticed that starting with a certain value of the fluid flow emitted through the slit situated on the whole length of the running board and with incidence angles relatively small *(0°-14°)*, the resistance coefficient when advancing takes negative values. This proves that the carrying wing acquires a propulsive nature. This phenomenon amplifies with the increase of the relation between the medium speed of the fluid emissions from the running board and the speed of the general current.

Experimental research

The engine of the axial ventilator was designed an way as the hub and the pallets can allow the aspiration of an additional flow q through then which would provide the air jets through the running board.

The exhaustion slits occupy all the length of the running board, in the case of the tasted model, the slit being of *110x1 mm*.

The theoretical examination concerning the phenomenon of flowing through the end

of the pallet in the condition of the existence of the fluid emissions as drawn jets is practically impossible to achieve. This is due to the fact that the jets influence the charge from the friction. Also it must considerate the fact that the medium local speed in the jet of fluid is determinate by the centrifugal force, so appear a variation of unlined type, depending of the radius of the ventilator section.

We can state that a direct consequence of the fluid emission for the axial ventilators, the charge and therefore implicitly the fluid circulation, does not stable any longer along the radius.

Excluding these effects, about this point of sight about the fluid emission through the running board of the rotor pallets can be estimated some qualitative effects.

- The self aspiring jets lead to the decrease the advancing resistance and to an increase of the carrying ability, by changing the moving condition in outline area of the profile in the direction of approaching the point of the limit layer detachment, of the running board and, as a direct consequence, the limitation of the whirling zone on the outline area.
- A decrease of the advancing resistance and consequently the decrease of the power absorbed by the ventilator and thus resulting in an improvement of the ventilator output.
- The increase of the carrying ability, which leads to a corresponding, increases oh the ventilator pressure.
- The increase in the axial ventilator flows, and of the self aspirated flow.

The experimental attempts were made on a prototype with the following characteristic hub diameter *d=310 mm;* the diameter from the engine edge *D=630 mm*. (figure 1)

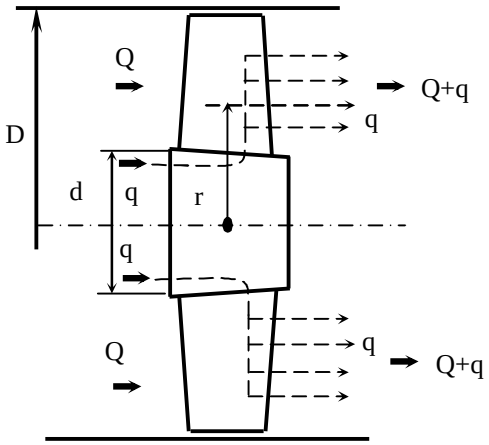


Fig. 1

The rotations made in the experimental attempts of the ventilator without fluid emission and with fluid emission have the following values:

n_1=1000 rot/min: n_2=1250 rot/min; n_3=1500 rot/min; n_4=1750 rot/min;
n_5=2000 rot/min; n_6=2250 rot/min; n_7=2500 rot/min.

The experimental were made on the close circuit stand, in order to test the axial ventilators of *630 mm* diameter. The engine used to engage the ventilator; the engine that equips the trail stand has a continuous adjustment of the station in the range 0÷3000 rotation per minute.

The ventilator's charge adjustment is conceived in the stand's aspiration. The value of evacuation section areas for which the experimental determination are:

S_1=0 m^2; S_2=0,217 m^2; S_3=0,435 m^2; S_4=0,615 m^2; S_5=0,868 m^2; S_6=1,085 m^2; S_7=1,302 m^2; S_8=1,519 m^2; S_9=1,736 m^2

As a result of the experimental trials the following characteristic measurement have been established for both type of ventilators:

- Flow (debit) q_1 *[m^3/s]*
- Total pressure p_t *[Pa]*
- Power absorbed from the network N_V *[Kw]*
- Efficiency *h*

With these measurements we can define:

$Dq=q_j - q_o$ – the flow variation

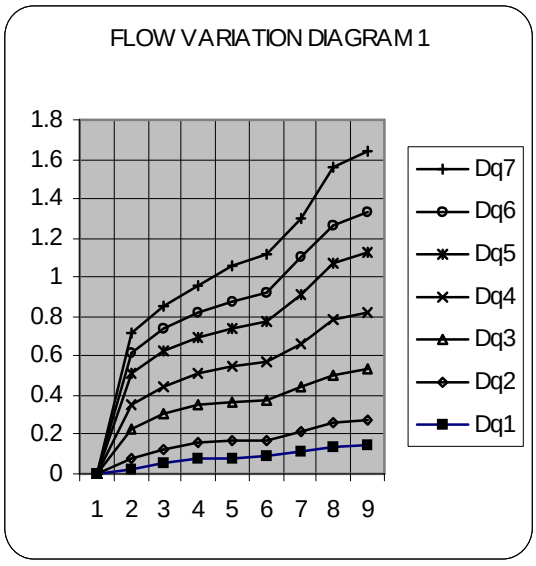
$Dpt=p_{tj} - p_{to}$ – the total pressure variation

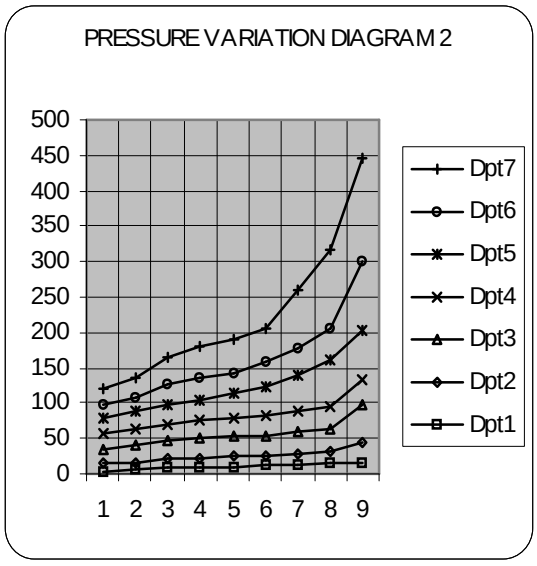
DNv=Nvj - Nvo – the variation of the power absorbed from the network

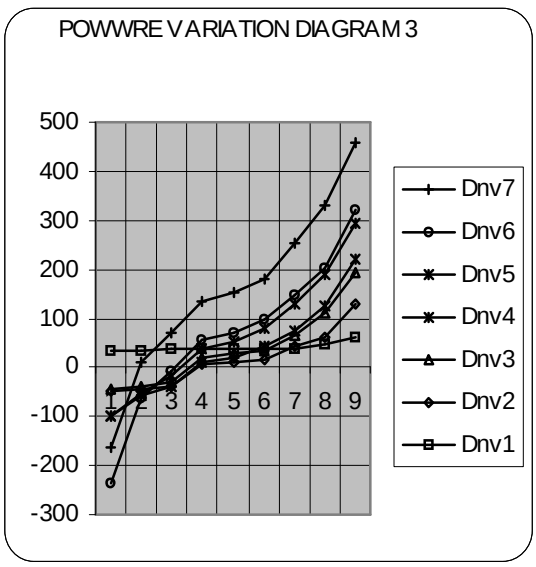
$De=h_j - h_0$ – the efficiency variation

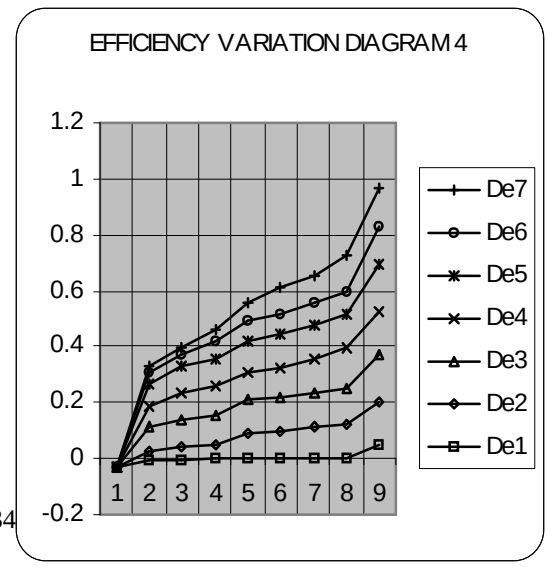
The "*j*" index is established for the jet ventilator (fluid emission) and the "*o*" index describes the measurements characteristic of the classical ventilator.

The variations of the mentioned parameters, based on the exit section "$\mathbf{S_i}$ "and for all rotation "$\mathbf{n_i}$" are shown in diagrams 1, 2, 3, and 4.









Conclusions

Based on the experimental data the diagram analyses allows the establishment of the following conclusions:

The debit variety – diagram 1

- The debit variety is positive thus indicating that the debit of the fluid emission ventilator is bigger than the one for the classical ventilator
- At the constant rotation the debit variation increases from zero value for $S_1=0\ m^2$ to a maximum value for S_1 after which it maintain a relatively constant value.
- At a constant *S* span, the debit variation increases with the rotation increase.

The total pressure variation – diagram 2

- The total pressure variation is positive, indicating that the total pressure for the fluid emission ventilators is bigger than the one established for the classical ventilator
- At a constant rotation, the total pressure variation increases with the increase of the evacuation section span
- At a constant evacuation section, the total pressure variation increases with the rotation increase.

The absorbed power variation – diagram 3

- The variation of the absorbed power is positive, indicating that the absolute power of the fluid emission ventilator is bigger than the power absorbed by the classical ventilator
- At a constant rotation, the power variation decreases with the increase of the evacuation section from the repression
- At a constant evacuation section, the power variation increases with the rotation increase.

The efficiency variation – diagram 4

We can notice that the blowing efficiency through the running boards of the turning pallets is for rotations $n>1000$ rotation per minute. For rotation $n£1000$ rotation per minute the value for the output variations are negative indicating that the output of the fluid emission ventilator is smaller than the output of the classical ventilator.

- At constant rotation, the output variation increases from zero value to the maximum value than it slowly decreases based on repression section span.
- At a constant span, of the evacuation section the output variation increases with the rotation increase.

References: 1. *S C U R T U D.*, Theoretical and experimental studies about the increase of the carrying ability of the finite wings by influencing the limit layer around the running board with application to turbo-machines. **2.** *M A T E I P., R A D U L E S C U M.*, Experimental studies about the functioning the axial ventilators with self aspiring jets in the running board of the pallets.

RESEARCH ON UTILIZED VIBRATING MECHANISMS EFFICIENCY AND TBOLOGICAL ASPECTS OF VIBRATING MECHANISMS USED FOR PACKING EQUIPMENT CONSTRUCTION

Daschievici L., Ghelase D., Diaconescu I., Simionescu C. *(Faculty of Engineerig - Braila, University "Dunarea de Jos" of Galati, Romania)*

For packing, rolls with cylindrical rigid or elastic pressing areas are used. For rigid cylindrical rolls, pressing is transmitted by means of a rectangular contact area, and pressure distribution in soil leads to the modifications of the head resistance and of the packed area smoothness. Notice the fact that for driven metallic rolls the frontal wave of material is greater than the one for driving rolls. For material waves reducing, leading to a higher head resistance, correlations between roll loading and contact area are established (roll radius and width). The main technological parameter of the packing machine is the speed, which is important for productivity determination. For clay soil with a high percentage of sand (65%) or ballast with sand (70%) and 12% humidity, the following relation is used: $v = 0{,}2\sqrt{f}$ *km/h, f - vibration frequency. Speed increasing determines a higher number of passing over the same layer, because the working vibrations are transmitted in a shorter period of time, the packing process being low. From the above-mentioned statements, results that, taking into account an appropriate disturbing force, for an increased efficiency, a higher frequency must be used.*

GENERALITIES ON PACKING PROCESS

In building constructions, soil packing has an important role this work can be done on natural soil or on a completed one with different construction material used as packing material. Generally, packing materials are in a certain status defined by the next factors: humidity, porosity, compactness. Packing is a physical and mechanical process where an external mechanical work applying leads to solid phase particles interfingering, with implications on liquid and gas phase reduction from the mineral frame; the effect is gap volume decreasing in-between the solid particles.

The external mechanical work can be transmitted to the packing material in two ways: static and dynamic, depending on the nature and on the desired effect.

Static packing is achieved by pressing from top to bottom with a certain pressure force, given by the packing equipment weight, on the packing material layers. Dynamic packing has the same effect as the static packing, but it is achieved in a shorter period using vibrations or mechanical kneading in the packing layer. In this case, over the contact static force between the solid particles the dynamic vibrating force overlaps.

Generally, sandy soil packing is achieved with maximum efficiency by using equipment with vibrating devices.

PACKING EQUIPMENT

For packing, rolls with cylindrical rigid or elastic pressing areas are used. For rigid cylindrical rolls, pressing is transmitted by means of a rectangular contact area, and pressure distribution in soil leads to the modifications of the head resistance and of the packed area smoothness. Notice the fact that for driven metallic rolls the frontal wave of material is greater than the one for driving rolls. For material waves reducing, leading to a higher head resistance, correlations between roll loading and contact area are established (roll radius and width). For elastic rolls, pressing is transmitted using elliptical contact areas, which are dimensioned in accordance with loading mass, thus increasing packing effect. Due to a high elasticity of tyres compared to the one of metallic rolls, the effect of wave appearance on the head direction is practically removed. For some types of soil, static equipment has been replaced with the vibrating action ones.

For this equipment, a specific fundamental request, including two contradictory aspects, must be satisfied:

- packing working vibrations parameters achieving;

- vibrations parameters framing within the admitted limits at the operator cabin, in order to ensure the ergonomic and operating security parameters.

In spite of the difficulties arisen both in vibrating packing equipment manufacturing and in operating, they have been widely used; so far, important producers of such equipment exclusively manufacture vibrating machines that can be used on their static alternative.

VIBRATING MECHANISMS USED AT PRESENT

For vibrating packing rolls, the constructive solution for vibrating system, inertial vibrating machines with unidirectional or rotating force, depending on the packing technology and machine construction, is adopted.

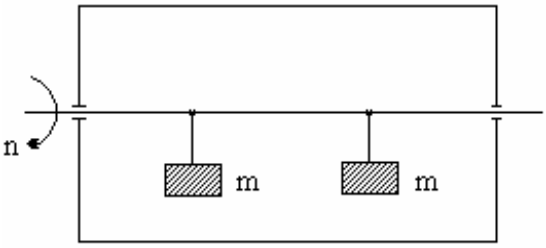


Fig.1

A vibrating system with rotating forces (fig.1), the simplest known system, is made up of roll axle on which are symmetrically placed eccentric masses or with eccentric axle length. For both cases, the disturbing force is directly proportional to frequency; these types of mechanisms have no possibility of independent adjustment.

Because only vertical forces oriented to the earth are effective, the other components are transmitted to the machine and special damping measures are necessary to be taken, both for machine and operator protection.

An advanced vibrating mechanism is the one with the unidirectional force, which according to the specialty literature specifications is made up in two different ways:

- 1. With two cinematically synchronized eccentric masses, having the same rotating phase, but opposite moving directions to cancel the horizontal components (fig.2). The mechanism, mounted on the vibrating roll axle, ensures vibrations transmitting. The vertical upward component is transmitted to the basic machine and damping measures are necessary to be taken. Such a mechanism can be realized with the possibility of disturbing force adjustment, depending on the frequency; the adjustment is difficult to be done and as a rule, it is not executed for operating conditions. The adjustment is possible by using the two eccentric masses comprising the fan shaped packages. Packages detachment is manually executed with great synchronization difficulties in order to eliminate the horizontal components of disturbing force (fig.3).

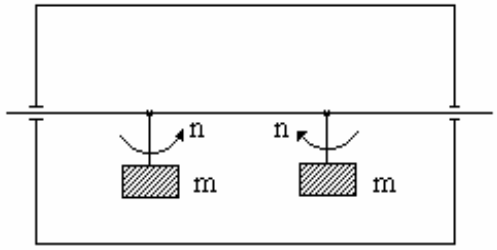


Fig.2

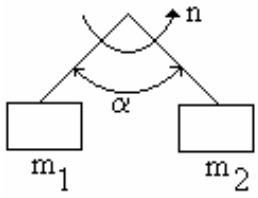


Fig.3

- 2. With pendulum vibrator mounted on the roll axle (fig.4).

An inertial vibrator with eccentric masses is mounted inside the case on the roll axle, able to be rotated for vertical placement due to its own weight. Because of pendulum attachment, the rotating force is transmitted to the roll axle only as a vertical unidirectional force. The independent adjustment of disturbing force is difficult too, and its upward component damping is similar to the above-mentioned situation.

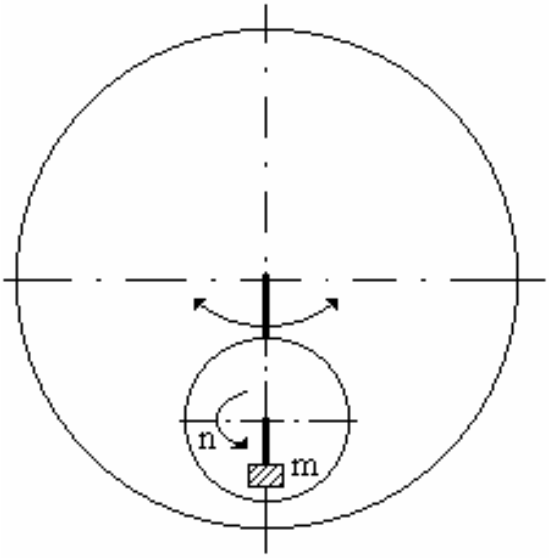


Fig. 4

For all the mentioned situations, frequently used in vibrating packing rolls construction, special problems arise for vibrating mechanisms manufacturing and damping.

Because of the mentioned drawbacks, resulting from the construction ad exploitation of vibrating mechanisms, it is considered necessary to make efforts for finding new solutions able to eliminate at least some of the drawbacks.

Presumably, because of the wide range of exploitation, the manufacturers will make researches to improve the products and ranges diversity.

HARMFUL VIBRATIONS DAMPING

For all the above mentioned and utilized vibrating packing equipment, the upward vertical component, equal to the effective one, is transmitted through a damping system to the basic machine.

The specialty literature refers not so much on vibrating damping transmitted from the disturbing mechanism to the equipment sub-assemblies and to the operator cabin. The main component parts of the vibrations isolating and damping system are represented by anti-vibration elastic elements made up of rubber. The vibrations isolating steps are placed in-between the vibrating rolls and the machine chassis.

Due to the elastic properties, characterized by the factor of rigidity, the rubber elements determine the dynamic operating regime. If the anti-vibration elements are not correctly placed, malfunctioning may appear accompanied by sub-assemblies crash together with vibrations transmitting to the operator cabin, beyond the admitted limit. Rubber's capacity of absorbing part of mechanic energy diminishes vibrations amplitude, especially for resonance case; in this situation rubber elements, due to their energy dissipation properties ensure damping.

From the above-mentioned statements it results that, during packing process, the disturbing force must have values higher than vertical loading distributed on the vibrating roll. The specialty literature does not mention the possibility of vibrations damping up to the admitted limit, for the whole range of vibrations parameter range (f = 20 – 65 Hz, P/G = I – 6). It is to presume that an optimum anti-vibration system is hard to achieve and the manufacturers agree with doing some compromises.

From companies prospectuses analysis results that their products have not adjustment possibilities for the disturbing forces, irrespective of frequency. This fact leads to the conclusion that they gave up this advantage, either because of the impossibility of making a vibrating mechanism able to do this adjustment, or because of the impossibility of damping the vibrations transmitted to the machine for the whole variation of this parameter.

HARMONIOUS ASYMMETRICAL VIBRATIONS GENERATOR

For solving some important problems of vibrating mechanisms manufacturing, the present paper shows research performed for a mechanism similar to those used in present. The disturbing force has different values in the two ways of vertical direction. For the upward direction the force value is minimum, influencing the way of vibrations are isolated and damped; for the download direction, the force value is maximum and able to ensure compacting of different soil types (continuous adjustment within a whole range).

This generator also ensures reduced loading on mechanism bearings because the disturbing force is transmitted to the axle through mechanism casing.

The generator may have one or two inertial masses and depending on the adopted variant, the following advantages are to be observed:

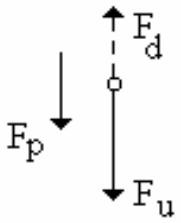


Fig. 5

For the case with one inertial mass, the effective disturbing force increases together with the harmful disturbing force decreasing, and the maximum value is for a smaller size (fig.5):

$$F_p = F_u$$

For the case with two inertial masses, the effective disturbing force is the difference between the disturbing forces on vertical direction:

$$F_p = F_u - F_d$$

In this case, the frequency is half as the one in the case with one inertial mass and the mechanism is bigger. The mechanism with two inertial masses does not transmit vibrations to the machine (Fd component is null) and vibrations damping and isolating system is considerably simplified.

TRIBOLOGICAL APPRECIATIONS

As this paper analyses a new vibrations producing mechanism, making possible the appearance of loading inside the component elements, research of their behavior is necessary.

TRIBOLOGY is defined as the SCIENCE AND TECHNOLOGY OF INTERACTING AREAS IN RELATIVE MOVEMENT for analyzing friction and wear, with or without lubrication.

The mechanism for asymmetrical vibrations generation contains a friction couple comprising of two rotating elements in contact; the forces are in a continuously variation and they have a certain ciclicity. Such friction couples have been previously studied and the specialty literature refers to them. This case can be assimilated with the one studied in Hertzian contacts when the moving mass is ball or roll shaped and the rolling path corresponds to the situation. According to the researches, the conclusion is that due to elastic deformations in the contact area, its shape is elliptic. In the contact area center, normal maximum efforts ($\sigma_x=p_{max}$), and tangent maximum efforts ($\tau_{max} = 0{,}133\ P_{max}$) arise on the outline; these efforts are determinative for the material mechanic behavior and explain the cracks appeared at the limit of contact area. This can cause Pitting effect, which must be studied because of the forces status different from the one studied before.

Pitting wear is aspects of weariness and according to some authors, it is a complex phenomenon produced by many factors. Pitting leads to dimples appeared on the couple of areas; the dimples can grow up in time and stop the couple. Couple operating has to be analyzed, with or without lubrication, because according to Way theory the lubricant spreads the cracks due to a high value of hydrostatic pressure in the contact area.

From the tribologic analysis of mechanism couple for asymmetrical vibrations generating, a series of conclusions regarding materials quality and areas in contact finishing, can be stated; the conclusions are to be compared to the ones from other researches performed under stress conditions requested by the mechanisms where they have been used.

The experiments will be done taking into account the specific conditions of asymmetric vibrations generating mechanisms and the results are considered to complete the present studies on this type of couples.

The analysis of vibrating mechanisms leads to the conclusion that, in order to increase their reliability, new solutions for vibrations transmitting to the machine's final element - the vibrating axle - must be determined. The possibility of developing an asymmetrical vibrations generating mechanism with no mobile cinematic couples leads to an increased mechanism lastingness and better reliability parameters.

A mechanism with the possibility to decrease or eliminate the harmful disturbing force may simplify the vibrations damping and isolating system, thus influencing the equipment price and improving the reliability parameters.

In present, it is difficult to estimate the effect of a new vibrating mechanism developing, but one can consider that the appreciations on mechanism efficiency will be confirmed when experimenting on a real mechanism or a model.

CONCLUSIONS

As a result of the above-mentioned statements, vibrating packing equipment is the leading one and the manufacturers all over the world gave up of static equipment producing; this situation may determine actual mechanisms improving and a higher packing equipment level of performance.

From a theoretical study on vibrating mechanisms, a series of basic difficulties are to be noticed, as follows:

- the impossibility of packing technologies main parameters adjustment;
- the use of cinematic couples (bearings) for high values of disturbing forces leads to a good dimensioning and to special problems implying reliability and maintenance;
- harmful vibrations transmitting by means of damping and isolating system, which is sized for a certain working status, it is considered inefficient for the entire range of values of main parameters and with repercussions on the basic machine and on the operator.

Developing a new vibrations generating mechanism, able to eliminate a series of deficiencies, it is necessary and it deserves a special effort to be done by actual researches.

References: 1. Cyril M. Harris, Charles E. Crede - Socuri si vibratii, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1968. **2.** Mihailescu, St., s.a. - Masini de constructii, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1985. **3**. Pavelescu, Dan - Tribotehnica, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1983.

MODELLING OF THE RADIAL AND AXIAL FORCES FUNCTION OF THE MATERIAL AND AXIAL ADVANCE IN THE COLD FORMING PROCESS

Dobrescu I., Boroiu A., Nicolae V. , Parlac S. *(UPIT, Romania)*

For a cold plastic forming, the sizes of the deforming forces have an important role, because, on the one hand, help to the choosing of the technological system, due to their influence on the energetic parameters of the process and, on the other hand, the sizes of these forces influence directly the deformation's irregularity and, so the quality products obtained.

In this context, this work presents modeling in MATLAB software of the radial and axial deforming forces function of the axial advance s and of the mechanical characteristics

of the material represented by the afterflow resistance s_c, which appear in the cold forming process.

Introduction

The force's deforming size in the cold forming process constitutes one of the most important technological factors of the process, and its knowledge permits, on the one hand the adoption of the adequate machine, and on the other hand the leading of the process in the sense that we want, this size influencing a part of the quality parameters of the machined surfaces.

The forces which appear during the cold forming process by intermittent strike (hammering) are: *the normal teeth force (radial-F_n)* (the one perpendicular on the semiproducts) and the *axial teeth force-(F_a)* (the one arctangent to the contact tool-semiproducts).

Forces in the forming process

At the determination of the necessary deforming force in the processing with only one roller tool, it is admitted the hypothesis that the material from the tooth space area passes only on radial direction for the forming of the teeth, being stopped the passing on axial direction [4]. The tooth in the case of this processing process is accomplished gradually, fig.1.

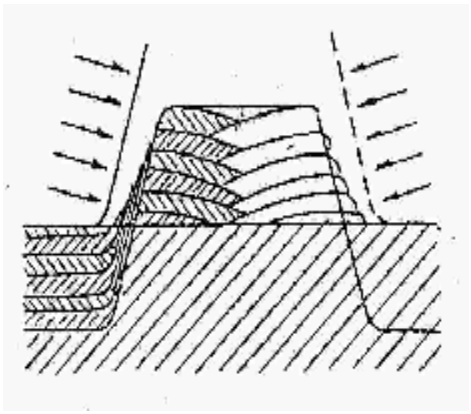


Fig.1. Performance of the tooth

In the beginning the roller touches the exterior of the semiproducts, forming a small sideways beak, and in the immediately next moment it is performed the beak on the opposite (counter) plan of the tooth, the following runs moving the beaks towards the tooth axe, fig.1.

For the accomplishment of the teeth form by a certain form on the semiproducts circle (circumference), its material is plastically formed near the surface on radial and axial direction, forming spaces whose root diameter is smaller than the initial diameter of the semiproducts, and the teeth whose crest diameter is bigger than the initial diameter.

The material from the area 1 can be retrieved in area 2, laying down the condition that the material should move not only on radial direction, fig.2.

To obtain correctly the tooth profile (at the form and dimensions requested) it is imposed the determination of the forces necessary for the plastic deformation and for the mechanical work.

It is obvious that the force which performs the movement of the material on radial direction at the machine tool is the one that interests us, that is the force F_n, and the other component, the axial force is preferable to be as small as possible**.**

The analytical computation of the forces in the cold forming process is performed on a simplified model [4] of the element by volume, having the section with the big basis t_2 equal with the length of the binding beam on the crown circle of the semiproducts of the radius r_s and small basis t_1 equal to the length of the binding beam's space (gap) on the radius foot circle r_f, on which act on the radial tensions σ_p and $\sigma_\rho+d\sigma_\rho$ and tangential tensions σ_θ, fig.3.

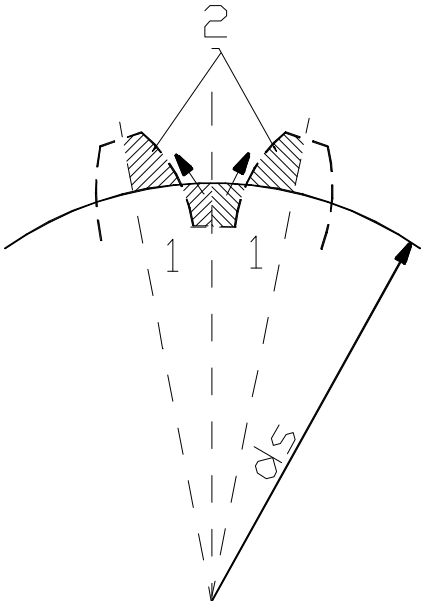


Fig.2.Yielding of the material.

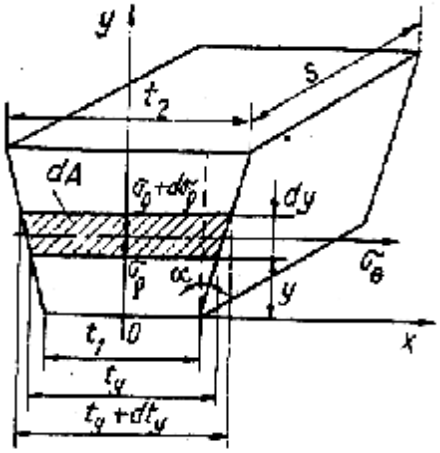


Fig.3. Determination of the deforming force [4].

The final relations of the calculation, of the components of the total (entire) force necessary to the material's deformation in view of the teeth formation are:

$$F_n = s_p.t_2.s$$
$$F_a = s_q.s\frac{t_2 - t_1}{2\sin a} \quad (1)$$

where σ_p and σ_θ are given by the relations:

$$s_r = \int_{t_1}^{t_2} s_c(dty/ty) = 2s_c \ln(t_2/t_1)$$
$$s_q = 2s_C\left[1+\ln\left(t_2/t_1\right)\right] \quad (2)$$

and the angle α is given by the relation:

$$arctga = \frac{t_2 - t_1}{2(r_s - r_f)} \quad (3)$$

Modeling of the deformation forces in the deformation process

For the modeling of the forces, which appear in the cold forming process by intermittent strike, were performed programs synthetically presented in annex 1.

The programs for mathematical simulation of the analytical expressions of the deformation forces, function of two input parameters, the axial advance of the semiproducts s_a and the working material materialized by the flowing resistance σ_c were done in MATLAB software.

The variation graphic of the forces in the cold forming process function of the two parameters for which the mathematical simulation was performed is presented in fig.4 and fig.5.

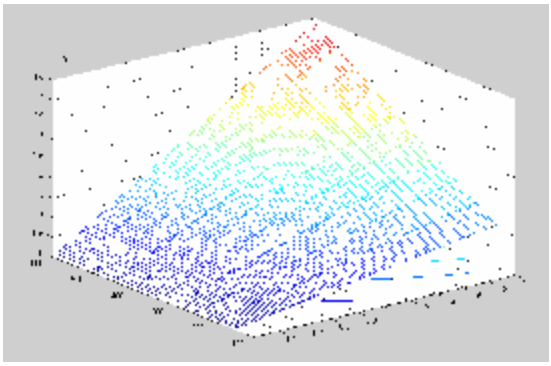


Fig. 4. F_n- function of s_a and of σ_c.

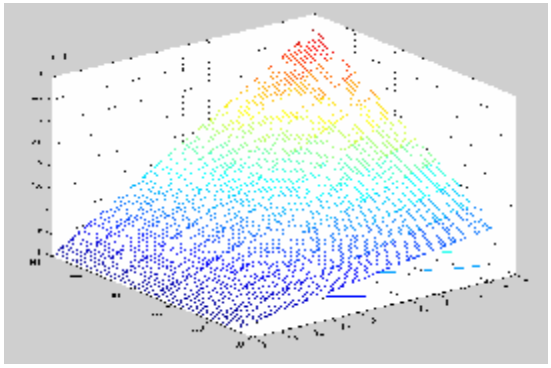


Fig. 5. F_a- function of s_a and of σ_c.

ANNEX 1

Program F_n

```
t1=1.902;
t2=3.298;
sigc=(150:50:600);
s=(0.025:0.025:2);
rs=16.8;
rf=15.75;
alf=tan((t2-t1)/(2*(rs-rf)))
[X,Y]=meshgrid(s,sigc);
n=length(s);
m=length(sigc)
for i=1:1:m
ssigc=150+(i-1)*50;
for j=1:1:n
ss=0.25*j;
sigro=2*ssigc*log(t2/t1);
fro(j)=sigro*t2*ss;
Z(i,j)=fro(j);
end;
end;
%[X,Y]=meshgrid(xx, yy);
%surf(X,Y,Z)
meshc(X,Y,Z)
```

Program F_a

```
t1=1.902;
```

```
t2=3.298;
sigc=(150:50:600);
s=(0.025:0.025:2);
rs=16.8;
rf=15.75;
alf=tan((t2-t1)/(2*(rs-rf)))
[X,Y]=meshgrid(s,sigc);
n=length(s);
m=length(sigc)
for i=1:1:m
ssigc=150+(i-1)*50;
for j=1:1:n
ss=0.25*j;
sigtet=2*ssigc*(1+log(t2/t1));
ftet(j)=sigtet*ss*(t2-t1)/(2*sin(alf));
Z(i,j)=ftet(j);
end;
end;
%surf(X,Y,Z)
meshc(X,Y,Z)
```

Conclusions

The deforming radial forces in the cold forming process depend on the axial advance of the semiproducts s, on the quantity of deforming material and on its characteristics represented by module m and respectively the flowing resistance σ_c . With the increase of the axial advance, and of the flowing resistance, the deforming forces increase. This thing can also be observed from fig. 2 and 3, where it was represented in MATLAB software, the variation of the deforming force components function of the advance s, and of the material characteristics represented by σ_c.

References: 1. Dobrescu I. - Contribuții privind danturarea prin deformare plastică la rece prin ciocănire, Teză de doctorat, Universitatea din Piteşti, 2004. **2.** Krapfenbauer - Verzahnungswalzen mit verschiedenen Maschineusystemen nach dem Grob - Verfahren, Teil I şi Teil II, Draht 32 (1981), 7. **3.** Neagu C., Vlase A., Marinescu N.I. - Presarea volumică la rece a pieselor cu filet şi dantură, E.T. Bucureşti, 1994. **4.** Ungureanu I. - Bazele cercetării experimentale, Editura Universității din Piteşti 2002.

CRITICAL AND LOGICAL THINKING IN ENGINERING EDUCATION BY SOCRATIC TEACHING METHOD

Dodun O., **Munteanu A, Ilii S., Apetrei L., Slatineanu L., Nagit G**. (*TUI, Iassy, Romania)*

The Socratic Teaching Method, characterized by asking instead of by telling, can be used in engineering education with a great success despite the fact that it is used merely in the humanistic education. Because of the obvious advantages of this technique, it must be used both at project, courses and seminar activities. This manner is efficient in helping students to critical and logical think, to understand and to learn. The main advantage is that the students are not forced to memorize, providing logical knowledge through reasoning process. Also, the

students participate actively and do not get bored or lose concentration. However, there are some disadvantages of this technique that are emphasized in this paper.

Introduction. Teaching engineering supposes to offer competence and recognition beside specifically knowledge, skills for design and calculations, business and management concepts, ethics. We claim of competence because we want that engineering to be treated seriously as a profession, compared to doctors or lawyers. That is why; an important element of engineering education is to offer to students ***a habit of critical and logical thinking***. The aims of education are self-knowledge and skill in thinking, appraising or reasoning process. This goal can be obtained by the using of the Socratic teaching method. Merely in humanistic education, the Socratic dialogue can be used also in engineering education, both at the seminar and courses activities. A large number of engineering disciplines may use this innovating method of teaching. Different researchers [1, 2, 3] present a lot of examples that prove that the Socratic method can be effectively applied to engineering education. As presented in figure 1, a number of teaching methods and activities are used in engineering education. In the first column, there are listed the traditional learning methods and in the second column there are presented the active ones. To judge the effectiveness of a specifically method, we must correlate the student's performance and the student's opinion.

	Questioning,
	Discussions,
	Controlled or Guided Discussion,
Informal teacher talk,	Socratic Method,
Lectures-formal teacher talk,	Demonstration,
Recitation,	Drill and Practice,
Open-Text Recitation,	Advance Organizers,
Advance Organizers,	Socio-drama and Role-playing,
Memorization,	Simulation,
Review,	Jury Trial Technique,
Presentation-Type Technique,	Brainstorming,
Committees and Small groups,	Project,
Buzz Sessions and Group work,	Research Projects,
	Case Study Method,
	Field Trip,
	Clinical Experiences

Fig. 1 Taguchi's graphs

In order to learning, different students have various ways and they use both passively and actively. It is proved that the students remember more material, more quickly, understand more of that they learn and are able to utilize the skills more effectively if they use the active methods. We emphasizes that among the known learning activities ***read***, ***hear***, ***see***, ***hear and see***, ***say***, ***say and do***, the most efficient for the students is the last one.

Socratic Teaching Method

The Socratic Method of Teaching is based on the Socrates' theory that it is more important to enable students to think for themselves than to merely fill their heads with "right" answers. It is recognized as a dialectic method or investigating problems method through dialogue. The process encourages divergent thinking rather than convergent and consists in series of questions, both challenging and leading. This teaching tactics focuses on giving students questions, not on answers and provides to the students critical and logical thinking. The stu-

dents are compelling to think and to reach to a logical conclusion by questioning the group. In front of the entire class, an interchange between the professor and an individual student takes place. Through meaningful questions and answers, the chosen student develops hopefully a new idea or constructs a general conclusion for a specific problem that, at the beginning, he may have only vague intuitions. The students are pushed to the correct conclusion through mistakes, reasoning and proofs. The professor's questions allow students to think critically by themselves, analyze multiple meanings or solutions and express ideas with clarity and confidence.

The Socratic questioner must follow the subsequent stages:

- introduce an initial question (definition of a concept or solving a problem);
- keep the discussion focused on the main topic;
- draw as many students as possible into the discussion;
- use subsequent questions to analyze all implications;
- stimulate the discussion with the right probing questions to reveal the error or the truth of the answer he received;
- periodically summarize what has and what has not been dealt with and/or solved;
- use subsequent questions to reason from the particular to the general, or by the process of induction, to reach a general conclusion.

Advantages of Socratic Teaching Method

Socratic questioner creates an open and collaborative environment for questioning and analyzing. In a Socratic dialogue, the participants follow a specific path of constructive inquiry, depending on the lesson topic.

The questions of the professor are designed to reveal possible solutions to an issue, the steps necessary to arrive at certain solutions and led the respondent to a logical conclusion of himself.

The main advantage of the method consists in the fact that it is extremely active and meaningful and the students do not boring. It is an efficient way to get students involved, to stimulate curiosity and guide them logically to figure out a subject through their own thinking. ***Without forcing students to memorize***, it provides logical knowledge by reasoning processes. The teacher does not lecture to the students but drawn them out into an interactive form of learning.

Other essential advantage is that, in many cases, students bring new light in their questions, from different angles. Sometimes, awaken questions that were never expected it provides critical thinking. From those situations, everyone has something new and remarkable to learn. Every student involved brings something interesting for the whole group.

Disadvantages of Socratic Teaching Method

The main disadvantage of this method is the fact that, especially in engineering education, it isn't applicable for every topic or all days long.

An important disadvantage of the method consists in the necessary time for adequate preparation of the courses and the questions. From the professor point of view, it is easier to lecture by telling and giving explanations or descriptions than to fit closely to the students' answers, to their feed-back. It is easier to present regardless of what students might could learn or understand.

Also, the teacher must have high skills for discussion and listen. In Socratic Teaching Method, the teacher, besides giving knowledge, must monitor the students' understanding and fit to their answers. It is difficult to apply because the process requires the faculty to follow a student's comment with a new appropriate question wherever the student may lead.

Another major inconvenience consists in the larger time necessary for the lesson. The questioning method is time consuming to involve as many students are possible and to pay attention to their answers.

One more important aspect is the fact that it is difficult for the students to take notes. That is happened because the teacher didn't offer a lecture and the students involved in the discussion. The students will complain about the exam questions because they don't find a rigorous plan or structure subject for the exam at the class.

Application on Mechanical Engineering

As follows, we present a possible example of teaching the notion of quality. In the classroom, the professor is teaching the different methods of quality verification in factories, using the Socratic Dialogue:

Professor: What can you tell me about the basic concept "Quality"?

Students: (one of the students answered): For me, "Quality" in some product is the main characteristics that I consider to be good enough for its purpose.

Professor: In which objects can we find "Quality"?

Students (all the students tried to answer): Computers, cars, watches, cell phones…

Professor: Which kind of characteristics we can evaluate, in terms of "Quality", in the objects you told? Can these characteristics influence its performance?

Students: The shape, its beauty, its durability, if it is working well … and yes, they influence performance.

Professor: Let's imagine that we have a computer components factory. The minimum working requirements of each piece are the dimensions and geometric shape. Which must be my evaluation criterions in terms of quality for this particular case?

Students: The shape must be the same for all pieces and we have to make sure that the dimensions allow its working conditions.

Professor: One piece that do not fulfill the shape or the dimensions requirements, should be excluded?

Students (everyone answered in the same voice): Yes, Yes …

Professor: But do you think all the pieces must have exactly the same dimensions and shape? Or do you think that we can have a gap of values between which all pieces has the same performance?

Students: Yes, we could have a functional gap of values…

Professor: Practically, there are functional gaps when we evaluate the "Quality" of some products that we call "tolerance". How can we be able to measure those tolerances?

Students: (one of the students whispered) Using some devices?!

Professor: Very good!! There are a lot of specific devices to do that. Let's now imagine that our factory has a daily production of 10.000 pieces. Do you think it is viable physically and/or in terms of money and time to measure all pieces?

Students: No.

Professor: What can we do?

Students: We can measure only some of the pieces randomly.

Professor: Exactly!! This is what happens in factories with a very high daily production, but, as you can see, there is always the possibility to admit bad pieces. Do you think it's necessary to apply the same verification methods in a factory with a daily production of 5 pieces?

Students: No, of course not! In that case, we can evaluate all pieces.

Professor: As you can see, there are different methods and criterions of evaluating "Quality" to different factories and enterprises with different productions. The engineers have a very important

role in this subject, being responsible to find the better and assorted verification methods to different types of quality evaluation criterions on the most different products.

Conclusion

From the study of the specialty literature and also from our teaching experiences, we could conclude that an effective and successful teacher must not focus just on a single method and neglecting the others. The critical and logical thinking of the students in engineering could be improved by the using of the Socratic Teaching Method.

References: 1. Cheng, X., Socratic Method for Engineering Education, National University of Singapore, Centre for Development of Teaching and Learning, CDTL Brief October 2003, Vol. 6 No. 10, p. 1-5, available at: http://www.cdtl.nus.edu.sg/brief/Pdf/v6n10.pdf (Last accessed: 30 April 2006); **2.** Kvam, P. H. The Relationship Between Active Learning and Long-Term Retention in an Introductory Statistics Course Georgia Institute of Technology, School of Industrial and Systems Engineering, Atlanta, Georgia, 30332-0205, U.S.A., http://www.stat.auckland.ac.nz/~iase/publications/5/kvam0687.pdf, (Last accessed: 30 April 2006); **3.** Garlikov, R. The Socratic Method: Teaching by Asking Instead of by Telling, 11 June 2000, available at: http://www.garlikov.com/Soc_Meth.html (Last accessed: 30 April 2006); **4**. McWilliam, P. An Examination of the Effectiveness of the Socratic Dialogue as a Tool to Promote Conceptual Change and Overcome Misconceptions in Mechanics, Completed Education Research Degrees, Centre for Teaching Mathematics, School of Mathematics and Statistics, University of Plymouth, 2002, available at: http://www.tech.plym.ac.uk/maths/CTMHOME/research_completed _degrees.HTM (Last accessed: 30 April 2006); **5**. Morgan, H. New Teaching Style Combats Boredom, News Reporter, available at: http://www.stp.uh.edu/vol58/93-04-07.html (Last accessed: 30 April 2006).

SCALY ARISING IN BROACHING PROCESS

Doroshenko R., Primanis E. *(RTU, Riga, Latvia)*

Process of formation scaly in broaching processes is characterized by geometrical parameters of the broaches and cutting speed. There are offered physical explanations of scaly arising and results of metallographic research. The roughness forms of surface and its quality is estimated too. Influence of conditions on geometrical parameters of surface and quality of processed surface are considered.

Introduction

Plastic deformation and a metal collapse conditions in cutting zone affect the process of quality upper layer formation. That depends on treatment various roughness forms of surface are developed. Roughness of surface has influence on the wear of equipments parts, the friction and stability of tools. There is taken into consideration mutual disposition of forms classifying roughness by its types. Roughness of surface has characterized by some types of roughness complexes with regular recurrence.

Having treatment via cutting speed about 1..12 m per minute on hardly workable surface of blank the scales and duplicate roughness of cutting edge micro relief are arisen. There is chance to reduce roughness enlarging cutting speed up to 12..50 m per minute. By treating steels the scaly as product of decay of tool built-up edge is one of roughness basics. That is

why research of scaly arising by metallographic method has been provided with great attention.

Conditions of research

Rules of scaly arising on surface were explored in order of rake angle value (10º..20º), cutting speed (1..10 m/min) and a thickness of cut layer (0,02..0,60 mm). There was taken a steel P18 and P6M5 as the material of broach. Cutting process was performed with and without using a coolant.

Scaly of surface is product of periodical collapsed tool built-up edge base. Thereby it is observed arising of two type scales – normal scales and maximal scales. Last type of scale has greater height and size. On workable surfaces both types of scales arise in such way: at first the couple of normal scales arise, after that maximal scale and so on.

In process of tool built-up edge shaping cutting layer is broached under the angle ψ against geometrical cutting line. As result the metal layers that are cut extra passes into chip and built-up edge increasing its amplitude and amount of foot. That in other turn is promoted increase of force arising at action of entrance built-up edge in blank with periodical collapse its base. Effect of such collapse is normal scales. Each of next scale top is settled below geometric cutting line. This feature of built-up edge base collapse and cut off layer conduction set increase of built-up edge and amplify resistance of penetration in the blank. A slice of built-up edge is separated from direct part by geometric cutting line or under it and stay on processed surface as maximal scaly.

Physics of process and calculus

On foot of material disjoining maximal scales are coming up in form which is alike with the cutting tooth of broach. (Fig. 1). Such analogy has physical meaning too, if there are took into account contact of machines friction pair when as result of micro cutting scales there are removed metal layers from conjugate surfaces calling out greater wear-out. In accordance with that the surfaces of scales are divided as rake surface 1, flank surface 2 and back surface 3. The rake surface is part of built-up edge flank surface before scale is separated. The flank surface of built-up edge is as an area on which built-up edge collapse was happened. The back surface is formed during disjoining a removed layer from blank under angle ψ against geometrical cutting line. The flank angle of scale against that line is equal nil or near them.

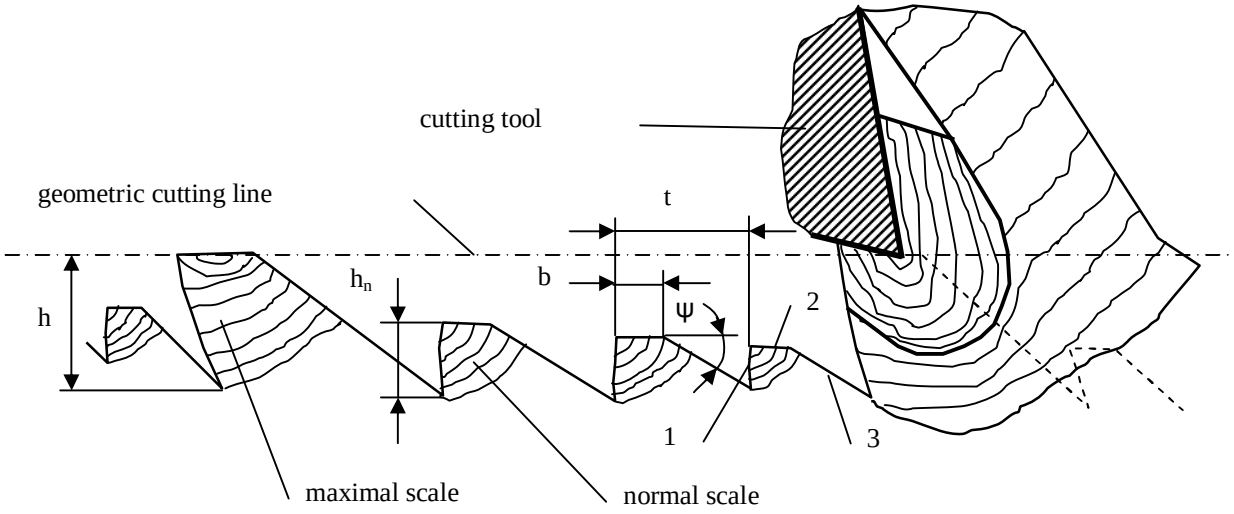


Fig.1. Arising scales and its schema of mutual disposition.

There are offered primary scaly character values:

- t –step of normal scales, distance between tops of two immediate normal scales gauged into the broach movement direction;
- ψ – the back angle of scale anent geometric cutting line;
- h_n – height of normal scale;
- h - height of maximal scale;
- b – length of top of scale.

There are calculated some of pointed character values with presumption that step t is equable for every case of scaly which is under consideration. It is presumed that the flank angle of maximal scale as a normal scale conform to geometric cutting line. As mentioned above the flank surface of normal scale is displaced below identical flank surface of previous scale for value

$$\Delta \mathbf{h}_{\mathbf{n}} = \frac{\mathbf{h} - \mathbf{h}_{\mathbf{n}}}{\mathbf{n}}, \tag{1}$$

where n – number of normal scales between two maximal scales.

Distance between geometric cutting line and the flank surface of normal current scale is calculated as follows

$$\mathbf{h}_{\mathbf{i}} = \frac{\mathbf{h} - \mathbf{h}_{\mathbf{n}}}{\mathbf{n}} \cdot \mathbf{n}_{\mathbf{i}}, \tag{2}$$

where n_i - number of scales order in cutting direction.

The angle ψ is determined from an orthogonal triangle, where one cathetus is $\mathbf{h}_{\mathbf{n}} + \frac{\mathbf{h} - \mathbf{h}_{\mathbf{n}}}{\mathbf{n}}$, but other $\mathbf{t} - \mathbf{b}$. As it is explored $\mathbf{b} = 0{,}2 \cdot \mathbf{t}$. Then

$$\mathbf{tg}\,\mathrm{y} = \frac{\mathbf{h} + \mathbf{h}_{\mathbf{n}} \cdot (\mathbf{n} - 1)}{0{,}8 \cdot \mathbf{t} \cdot \mathbf{n}}. \tag{3}$$

After rewriting formula (3), when n>1, height of normal scale is

$$\mathbf{h}_{\mathbf{n}} = \frac{0{,}8 \cdot \mathbf{t} \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{tg}\,\mathrm{y} - \mathbf{h}}{\mathbf{n} - 1}. \tag{4}$$

If is not in action the micro polish, thickness of layer may be determined with metal layers cutting from a painted surface of the work piece sequentially until the paint is removed completely.

Total thickness of cut layer was recorded by the equipment of an indicator with value of point 0,002 mm.

I f the back angle ψ is presumed with mean value, formula (3) get simplified

$$\mathbf{h}_{\mathbf{n}} = 0{,}8 \cdot \mathbf{t} \cdot \mathbf{tg}\,\mathrm{y}. \tag{5}$$

Processing steel 10X17H13M3T the back angle ψ is considerably less (ψ=2,5º..3,5º) than for processing steel E295 (DIN EN 10025) (ψ=7º). Respectively, if steps is equal then height of scales is less on the surface of blank from steel 10X17H13M3T. Accordingly calculation of height h_n get easy because it is necessary to gauge the step t only.

Metallographic research

Types of roughness that are obtained by changing some parameters are shown in following table 1. Increasing rake angle a schema of changing scaly is same than schema at ψ=10º.

Table 1.Types of roughness of broaching surface.

Cutting speed v, m/min	Thickness of cut layer a, mm/tooth	Types of roughness
3	0,02..0,20 >0,20	moire scaly
5	<0,25 >0,25	scaly decrease scaly increase
7,5	<0,05 0,05..0,20 0,20..0,35 >0,35	scaly arising beginning scaly increase scaly decrease scaly disappearance
10	0,02..0,35	Scaly is away, on surface duplicate roughness of cutting edge micro relief arise

Results of metallographic research allow performing conclusions as follow about scaly influence on cutting process and shaping quality surface:

1. Scaly affect a wear of broach teeth and is one of the main reasons of changing upper layer physical and mechanical properties.
2. Remarkable hardness of scaly and its geometry promote more intensive wear of related surfaces, because its actual contact square is considerably less but actual load greater then calculated value.
3. Scaly reduce calculated interference of related surfaces and can change a type of joint.

Let us inspect a wear-out schema of the broach teeth (Fig. 2). It is presumed that scaly surface arises by cutting with roughing cut tooth of broach. Cutting conditions of the following tooth is different from cutting conditions of the previous tooth and depend upon scaly and thickness of cut layer. There are two cases by cutting scaly surface.

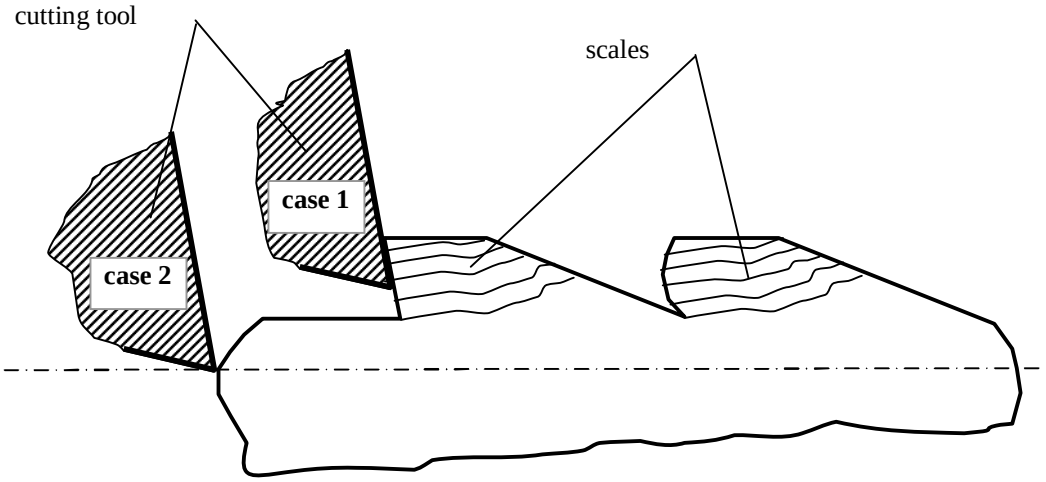


Fig. 2. Schema of scaly influence on the wastage of cutting tools.

In the first case flank of cutting tooth and cutting edge gets contact with scales having great hardness near hardness of built-up edge. Therefore a wear of teeth are intensive and its character is abrasive. Besides impacts can arise on time of cutting tooth edge contact with scales that multiply a wear of sintered-carbide teeth.

In the second case cutting edge of teeth get contact with treated material. The wear of teeth happens not so quickly, cutting force is greater than in the first case and it is why the square of cut layer is greater then in scales scission.

So long as thickness of cut layer increases, strength of broach grows because its teeth work in a blank material. If the thickness of layer is less then the height of scales cutting happens at its foot or along the top with calling an extra tool wear. As result of presentment previously scaly arises in definite range of cutting speed and removing layer thickness.

Conclusion

If there are considered analysis of a roughness zones in conclusion it is necessary to note:

1. increasing the rake angle (γ till 20º) and using a liquid of cooling scaly is decreasing;
2. increasing the thickness of cut layer, primarily cutting speed grow at which scaly is disappearing, but after that growth is dropping off;
3. scaly does not appear on the processed surface at definite ratio of cutting speed (5..12 m/min), thickness of the cut layer (0,02..0,35 mm) and the rake angle of the cutting teeth of broach (10º..20º).

References: 1. R. Eade. Low-Tech Broaching Thrives in a High-Tech World. Manufacturing Engineering. - Dearborn: Jul 1989. Vol. 103, Iss. 1. - 59 p. **2.** E. J. Stefanides. Gap-Tooth Tooling Upgrades Pot-Broaching of Thin Gears. Design News. - Boston: Feb 27, 1989. Vol. 45, Iss. 4; - 140 p. **3.** Tabellenbuch Metall- und Maschinentechnik. Beründet von Direktor Wilhelm Friedrich, Herausgegeben von Prof. Dr. Antonius Lipsmeier, Karlsruhe un and. Ferd. – Bonn: Ümmler[s] Verlag, 1999. - S. 592. **4.** Справочник конструктора-инструментальщика. Под ред. Баранчикова В.И. - М.: Машиностроение, 1994. - 558 с.

THE PHYSICAL MODELLING OF THE PROCESS OF NORMALIZING ROLLING OF S355J2G3A STEEL PLATES

Henryk Dyja, Jarosław Markowski, Marcin Knapiński, Anna Kawałek, Bartosz Koczurkiewicz *(Institute for the Modelling and Automation of Plastic Working Processes, Faculty of Process & Material Engineering and Applied Physics, Częstochowa University of Technology)*

Physical simulations of the process of rolling plates to a final thickness of 12mm in the finishing rolling mill of a plate mill were carried out within the study. The aim of these simulations was to develop a strategy of passes that would allow the microstructure of the rolled steel identical to that obtained after normalization to be produced directly from rolling. The value of the total strain was read from the engineering reports of the mill. All simulations were based on the total strain, which was a constant value, whereas the variable parameters were: temperature, the single pass strain and the cooling rate after total deformation. After the tests, polished sections were prepared and hardness was measured for all specimens. The tests carried out allowed the optimal conditions of the process of normalizing rolling 12mm-thick S355J2G3-grade steel plates to be described.

Testing Material

The physical modelling of the steel rolling process was carried out on a GLEEBLE 3800 simulator at the Institute for the Modelling and Automation of Plastic Working Processes (IMiAPPP). Compression tests were performed on specimens in the form of plates. Compression tests in a plane state of strain are intended primarily for the testing and simulating of material behaviour under the conditions prevailing in a rolling stand.

For plotting a CTPc graph, a DIL 850A/D dilatometer was used. The DIL 850A/D type dilatometer enables recording of phase transitions and structural changes during the

physical modelling of thermal treatment operations. It has the WinTa6.2 software that enables the visualization of results.

Tests were carried out on S355J2G3 steel specimens. Chemical composition of the steels tested is given in Table 1.

Table 1. Chemical composition of the S355J2G3 steel tested.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
0.15	1.36	0.33	0.017	0.03	0.05	0.089	0.03	0.23
Al	N_2	V	Nb	B	Ti	Sn	Ca	Zn
0.03	0.0092	0.001	0.002	0.0003	0.002	0.018	0.0007	0.003

Physical Simulation of the Process of Rolling S355J2G3 Steel

Within the experimental part of the study, CTPc diagrams for S355J2G3 steel was developed and the physical simulation of deformation of this steel was performed. To develop CTPc diagrams for the steel under consideration, dilatometric tests were performed on 10 mm-long, 5 mm-diameter cylindrical specimens. During the experimental tests, the specimens were heated up to a temperature of 900°C, held at this temperature for 3 minutes, and then cooled down to ambient temperature at variable cooling rates. As a result of the above procedure, dilatometric patterns were obtained, on the basis of which the CTPc diagram was plotted, which is shown in Figure 1.

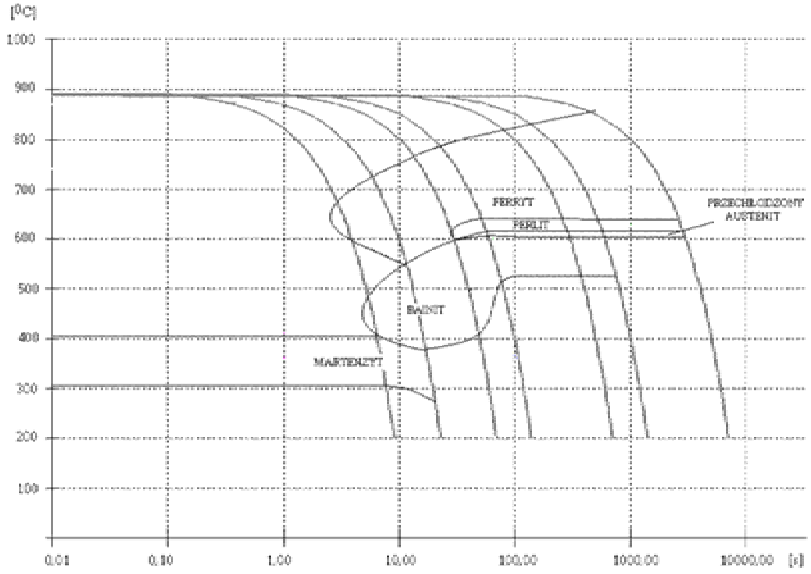


Fig.1. CTPc diagram for steel S355J2G3

Table 2 shows the scheme of rolling band of a final thickness of 12 mm. The scheme of passes, band temperature and break times shown in Tables 2 were adopted as in the engineering reports of the plate mill.

Table 2. Parameters of the rolling process simulated in the experiment for S355J2G3 steel specimens

Pass no.	h_0, m	h_1, mm	t_p, s	T, °C	ΔT, °C
1	39.93	30.79	0.00	955	-
2	30.79	23.19	10.50	938	17
3	23.19	16.71	12.00	926	12
4	16.71	13.99	14.60	910	16
5	13.99	12.72	15.10	889	21

6	12.72	12.12	13.60	864	25

The variation of material temperature during physical simulation is shown in Fig. 2. The specimen was heated up to a temperature of 1050°C, soaked at this temperature for 60 s, and then cooled (at a rate of 2°C/s) down do a temperature of 955°C, at which the first deformation took place. After the last deformation carried out at 864°C, the material was cooled at a rate of 1.5°C/s.

The structure of the S355J2G3 steel after deformation and cooling at the preset cooling rate is shown in Fig. 3.

Figure 4 illustrates the stress-actual strain curve obtained during deformation of a S355J2G3 steel specimen on the GLEEBLE 3800 dilatometer according to the scheme shown in Table 2.

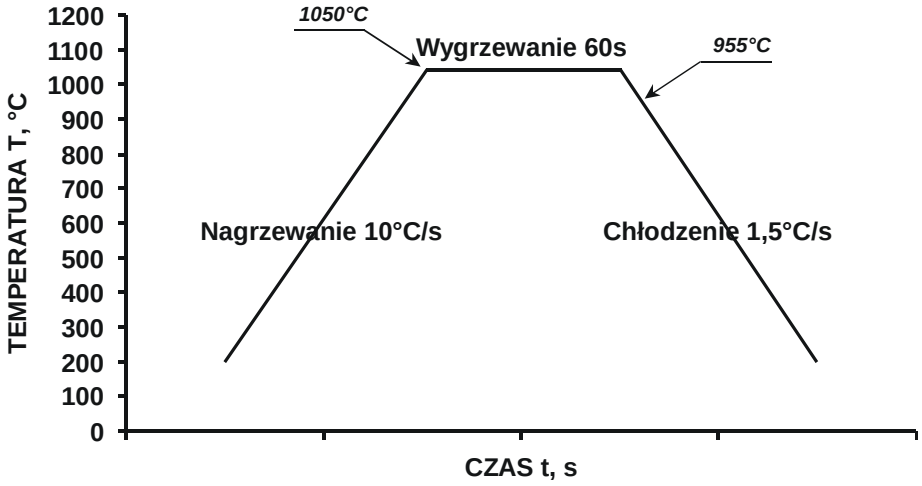
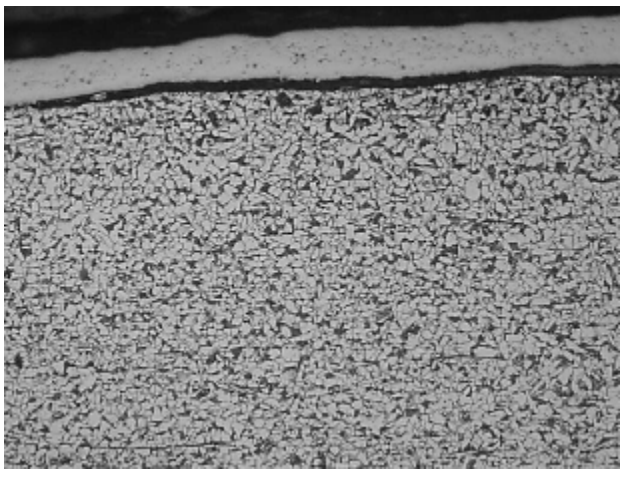


Fig.2. Variation of material temperature during the physical simulation of the process of rolling S355J2G3 steel plate

a) specimen edge



b) specimen centre

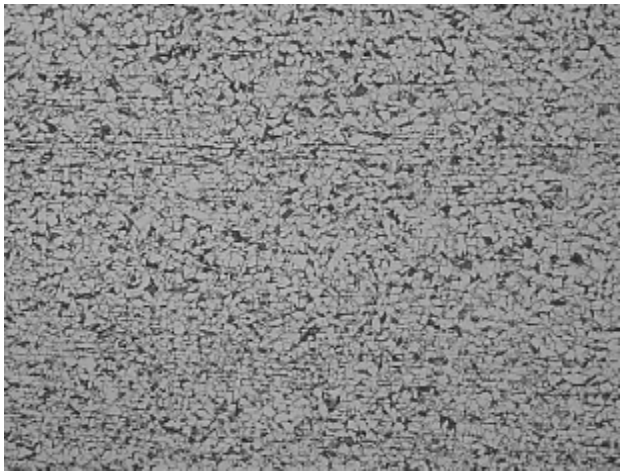


Fig.3. The structure of the S355J2G3 steel, the specimen deformed according to the scheme as shown in Table 2, etched with Nital, magn. a) and b) 100x – a ferritic-pearlitic structure, a slight banding of the structure visible. The ferrite grain size from 9 to 10, and the pearlite grain size from 9 to 10.

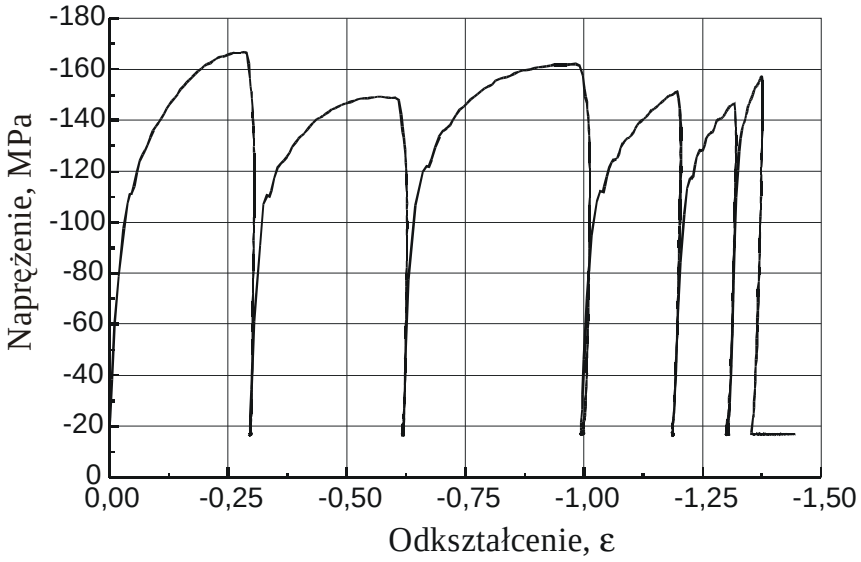


Fig. 4. Stress-actual strain curve as obtained during the compression of the S355J2G3 steel in a plane state of strain, performed according to the data given in Table 2

Summary

The cooling rates applied during dilatometric tests and the performed metallographic examination enabled the construction of the real CTPc diagrams for steel S355J2G3. The application of a cooling rate from the range 0.1÷0.5°C/s allows a ferritic-bainitic structure to be obtained. Ferritic-pearlitic-bainitic structures were obtained for cooling rates in the range 0.5÷10°C/s; applying higher cooling rates results in the formation of mixed ferritic-bainitic and bainitic-martensitic structures.

The article only outlines the methodology of conducted tests and the results of one simulation of the process of rolling plates to a final thickness of 12 mm. In fact, the tests carried out encompassed a considerably wider range and involved varying band temperature and

changing unit rolling reductions in particular passes with the aim of establishing the effect of the magnitude of a single rolling reduction at a specific temperature on the final structure of product obtained. The effect of slightly accelerated cooling after rolling on the structure of the finished material was also examined.

The investigation carried out demonstrated that the rolling technology used in the mill was correct for that particular material and band thickness. Specimens after physical simulation had a fine-grained structure without banding effects. Better results could be obtained by applying higher values of final rolling reductions at lowered temperatures, which, however, is not possible in the conditions of the mill concerned due to the overloading of the rolling stand.

References: 1. Adam Bator, Janusz Majta, „The structure and mechanical properties of microalloy steels after deformation in the two-phase range" (in Polish), Wiadomości Hutnicze no. 10, year 2003 **2.** The PN-EN 10025 standard „Hot rolled products of non-alloy constructional steels. Delivery specifications" (in Polish).

THE PROCESS OF SYNTHESIS OF VIBRATING SYSTEMS

Dymarek A., Dzitkowski T. (*Silesian University of Technology, Gliwice, Poland)*

Summary: In this paper a method of synthesis to determination of structure and inertial, elastical, damping parameters has been presented. Such task may be classified as a diverse problem dynamics of vibration subsystems This paper concerns formulating and solving the problem of synthesis of vibrating discrete mechanical systems with two – terminal damper.

Introduction

Modern machines must comply with increased requirements, concerning, not only their production capability, durability, energy – efficiency and safety, but also quiet and even operation run. These problems should be addressed at the design stage, as they may hinder the performance of the machines, which in turn, may lead to considerable worsening of the working conditions of their operators.

A process of researching the structure of a system, meeting certain conditions, is inverse to the process of analysing it. In other words, it's a synthesis. We should emphasize that the considered problem varies from other issues met in classic mechanics or control theory. The research has been undertaken on the basis of topological methods, developed in scholar environment of Gliwice, and on the basis of algebraical methods closely related to these topological ones – that is, methods of graphs and structural numbers.

Aim of paper is elaboration of new methods of synthesis vibrating discrete mechanical systems with damping represented by graphs and structural numbers. This paper concerns formulating and solving the problem of synthesis of vibrating discrete mechanical systems with damping. Such specified problem required of new methods of synthesis. Weighted pole graphs and structural numbers have been used for this purpose. The problem of the synthesis of longitudinally vibrating discrete mechanical systems with damper has been discussed. The synthesis methods have been illustrated with graphs, assuming various characteristics. It has been provided, that characteristic can be treated as mobility or immobility. The results of all synthesis samples have been compared.

The synthesis method of mechanical system with damping

These requirements it is possible to create the immobility function in form:

$$U(s) = H\frac{d_l s^l + d_{l-1}s^{l-1} + \mathbf{K} + d_0}{c_k s^k + c_{k-1}s^{k-1} + \mathbf{K} + c_1 s}, \qquad \textbf{(1)}$$

where: *l*-odd or even numerator order with *l-k=1*, *k*- denominator order, *H*- any real positive number.

The assumed requirements of the desired system structure are:

$$w_1 = 20\frac{rad}{s}, w_3 = 33\frac{rad}{s} \text{ resonance frequencies,}$$

$$w_0 = 0\frac{rad}{s}, w_2 = 26\frac{rad}{s} \text{ anti-resonance frequencies,}$$

$$l = 0.05\ s, \quad h_1 = 10\frac{rad}{s}, \quad h_2 = 16.9\frac{rad}{s}, \quad h_2 = 27.225\frac{rad}{s}.$$

These requirements facilitate the creation of a mobility function in a canonical form:

$$V(s) = \frac{1}{H}\frac{s\left(s^2 + 2h_2 s + {w_2}^2\right)}{\left(s^2 + 2h_1 s + {w_1}^2\right)\left(s^2 + 2h_3 s + {w_3}^2\right)} =$$

$$= \frac{1}{H}\frac{s\left(s^2 + 33.8s + 26^2\right)}{\left(s^2 + 20s + 20^2\right)\left(s^2 + 54.45s + 33^2\right)} = \frac{s^3 + 33.8s^2 + 676}{s^4 + 74.45s^3 + 2578s^2 + 43560s + 435600} \qquad (2)$$

Finally, as a result of the above synthesis, immobility (2) is represented in the form of a continued fraction as:

$$U(s) = \frac{H644}{s} + Hs + \frac{1}{\dfrac{s}{H169} + \dfrac{1}{H4s + \dfrac{H0.379}{s}}} = \frac{c_1}{s} + m_1 s + \frac{1}{\dfrac{s}{c_2} + \dfrac{1}{m_2 s + \dfrac{c_3}{s}}}. \qquad (3)$$

It follows from (3) that:

$$c_1 = H644\frac{N}{m}, c_2 = H169\frac{N}{m}, c_3 = H0.379\frac{N}{m}, m_1 = Hkg, m_1 = H4kg,$$

The values of two-terminal networks of damping type are determined on the base:

$$b_i = l\ c_i\ .$$

The mobility in the form of (2) is consistent with the mobility designated on the basis of a polar graph [1,7] presented in Fig. 1.

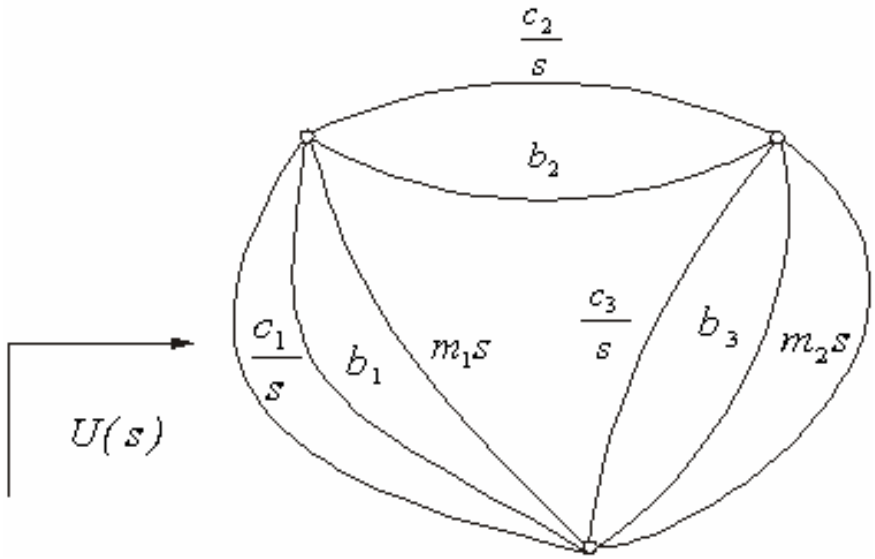


Fig.1. Polar graph as a proposal of performing the inversion of mobility in form (2)

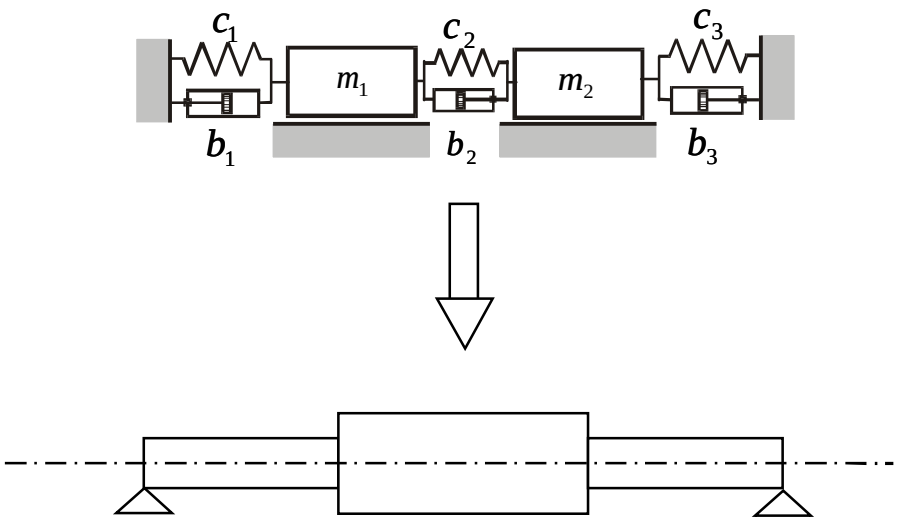


Fig.2. Synthesised mechanical system

Analysis of synthesised system by means the method graphs and structural numbers

The programme of analysis of mechanical systems has been created on the base of graphs method and them connections with structural numbers [1 ÷ 7]. Results of analysis are presented in Fig.1.

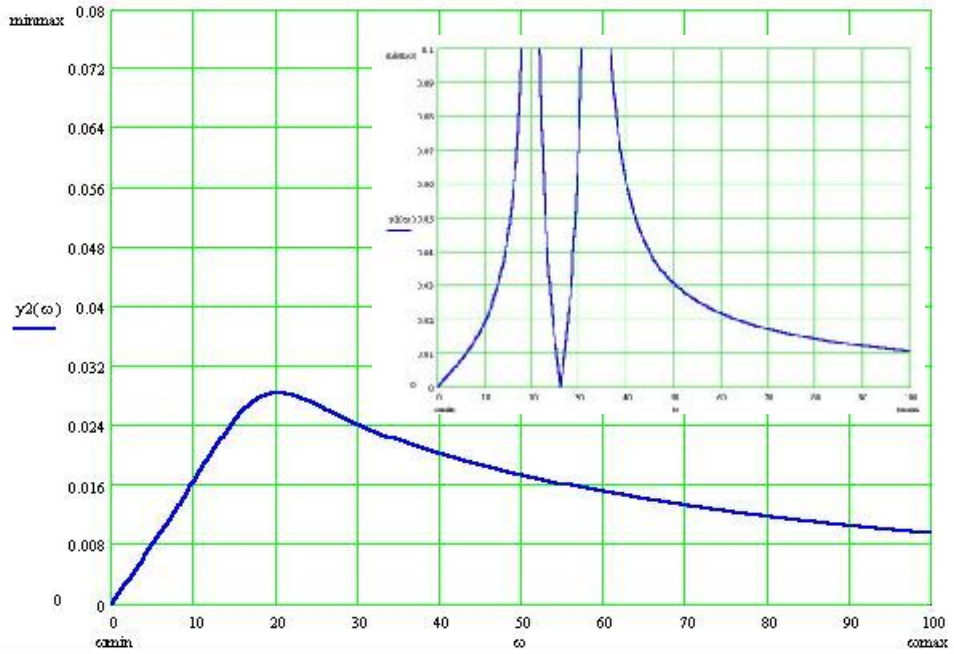


Fig.3 Diagram of dynamical receptans of synthesized clamped systems

Conclusion

Received as a result of the synthesis inertial, elastic and damped parameters of the model are not the only ones which meet the assumed requirements referring to resonant frequencies – polars and zeros. Development of synthesis methods gives the possibilities of designing more and more complex mechanical systems with regard to requested dynamic features.

References: 1. Berge C., Graphs and hypergraphs. Amsterdam-London: North Holland Publishing Co, American Elsevier Publishing Co, Inc., New York, 1973. **2.** Buchacz A., Dymarek A., Dzitkowski T: Synthesis of discrete, continuous and discrete-continuous vibrating systems represented by graphs. Sixth International Scientific and Engineering Conference - Machine-Building and Technosphere on the Border of the XXI Century, Donetsk1999,Vol.3,p. 243-245. **3.** Buchacz A., Modelling, Synthesis and Analysis of Bar Systems Charaterized by a Cascade Structure Represented by Graphs. Mech. Mach. Theory Vol.30, No 7, pp.969÷986, Pergamon, 1995. **4.** Buchacz A., red.: Computer aided synthesis and analysis of mechanical subsystems modelled with graphs and structural numbers. ZN Politech. Śląskiej, MECHANIKA 127, Gliwice, 1997 (in Polish). **5.** Dymarek A.: The reverse task of vibrating mechanical systems with damping represented by graphs and structural numbers. PhD dissertation, Gliwice 2000 (in Polish). **6.** Dzitkowski T., The reverse task of dynamics discrete-continuous mechanical systems represented graphs and structural numbers. PhDdissertation Gliwice2001(inPolish) **7.** Wojnarowski J., Graphs and structural numbers as models of mechanical systems, PTMTS, Gliwice, 1977 (in Polish).

KOMPUTEROWO WSPOMAGANA SYNTEZA UKŁADÓW NAPĘDOWYCH MASZYN

Dzitkowski T., **Dymarek A.** (*Politechnika Śląska, Gliwice, Polska*)

This paper concerns formulating and solving the problem of synthesis of vibrating discret mechanical systems with two – terminal damper. In this paper a method of synthesis to determination of structure and inertial, elastical, damping parameters has been presented. Such task may be classified as a diverse problem dynamics of vibration subsystems.

Istotnym działem dynamiki układów technicznych, w tym maszyn, mechanizmów i urządzeń, jest dział zajmujący się drganiami. Badanie drgań układów mechanicznych jest istotnym problemem zarówno na etapie projektowania, jak i dostosowania już istniejących maszyn odnośnie do wymogów procesów produkcyjnych.

Maszynom stawia się coraz większe wymagania nie tylko odnośnie do ich własności produkcyjnych, trwałości, oszczędności i bezpieczeństwa, ale również odnośnie do cichego i równomiernego ich biegu. Jednym z podstawowych kryteriów stosowanych w projektowaniu współczesnych konstrukcji mechanicznych, są właściwości dynamiczne konstrukcji. Mają one bezpośredni wpływ na drgania układu, emitowany hałas, wytrzymałość zmęczeniową, sterowalność i stabilność.

Podstawowym elementem maszyny jest układ napędowy. Rozwój techniki wymusił na projektantach układów napędowych zapewnienie wysokiej trwałości i niezawodności podczas eksploatacji tych urządzeń. Dlatego też już w stadium projektowania należy zająć się tymi problemami, które mogą stać się przyczyną takich zakłóceń w ich działaniu, które spowodują drastyczne pogorszenie warunków pracy. Korzystanie tylko z klasycznych metod statycznych projektowania okazuje się niewystarczające. Rozwiązaniem, które wydaje się gwarantować osiągnięcie zamierzonego celu projektowego jest rozwój algorytmów modelowania, analizy i syntezy układów dynamicznych. Zagadnienia modelowania układów dynamicznych znajdują się obecnie w obszarze zainteresowań wielu ośrodków naukowych. Wpływ na to miało wprowadzenie badań symulacyjnych przy wykorzystaniu techniki komputerowej. Badania symulacyjne należące do koncepcji badań teoretycznych analizują wpływ wybranych parametrów na charakterystyki mechaniczne. Badania te dają wynik pozornie ścisłe, ale obarczone zasadniczym niedostatkiem, jakim jest idealizacja modeli w stosunku do rzeczywistego obiektu badań. Pomimo tych niedostatków obserwuje się gwałtowny rozwój badań symulacyjnych. Związane jest to z obniżeniem kosztów takich badań w stosunku do badań doświadczalnych. Jednocześnie badania takie pozwalają na analizę stanów awaryjnych oraz skróceniem czasu procesu projektowego. Dysponując zatem odpowiednim modelem maszyny, możliwe jest już na etapie projektowania, uwzględnienie różnych czynników, które mają istotny wpływ na parametry techniczne maszyny. Przy czym jakość modelu, którym posługuje się projektant, rozumiana jako wierność odwzorowania istotnych zjawisk występujących w rzeczywistym układzie, ma zasadniczy wpływ na trafność decyzji podejmowanych na etapie projektowania, związanych z wyborem optymalnego rozwiązania, czy też odpowiedniej postaci konstrukcyjnej maszyny.

Dobór własności dynamicznych maszyny jest jedną z metod zwiększenia jej trwałości i niezawodności. Zadanie to może być zrealizowane przy wykorzystaniu algorytmu analizy [9] i syntezy [1÷8]. W pracy zaprezentowana zostanie metoda doboru parametrów dynamicznych układów napędowych maszyn przy wykorzystaniu algorytmu syntezy.

Zagadnienie poszukiwania struktury układu i jego parametrów, spełniających określone wymagania, dotyczące realizowania żądanych zjawisk dynamicznych, jest zadaniem

odwrotnym do problemu analizy, czyli jest to synteza. Zadanie to można więc traktować jako etap wspomagania procesu projektowania układów mechanicznych, w którym istotnym wymogiem jest spełnienie żądanych właściwości dynamicznych. Właściwości te, które musi spełniać projektowany układ, można przedstawić w postaci: graficznej, analitycznej lub ciągu zer i biegunów; ten ostatni przypadek będzie rozpatrywany w pracy.

Nowoczesne technologie informatyczne umożliwiają przeprowadzanie analizy i syntezy układów mechanicznych na podstawie metod algebraicznych, łatwych do oprogramowania. Do metod takich (oprócz metod sztywnych elementów skończonych oraz metod elementów brzegowych, na których bazują takie pakiety jak np.: ADAMS, DADS, MESA, VERDE, SIMPAC, MEDYNA, COSMOS, BEASY, PRO-MES, ANSYS, ALGOR) zalicza się metody sieciowe: grafów wiązań, grafów biegunowych, grafów przepływowych, grafów hybrydowych oraz hipergrafów i liczb strukturalnych. Rozwijane w ośrodku gliwickim zastosowania grafów i liczb strukturalnych były asumptem do podjęcie niniejszej pracy.

W pracy zaprezentowana zostanie synteza układów napędowych maszyn jako modeli drgań skrętnych. Tego rodzaju drgania w układach trudniej jest wykryć niż drgania giętne, którym towarzyszy hałas i drgania elementów sąsiadujących (np. podstaw łożyskowych). Drgania skrętne ze względu na brak objawów ich występowania są szczególnie niebezpieczne, gdyż mogą być niezauważone aż do chwili zniszczenia podzespołu. Dlatego tak ważne jest określenie podstawowych częstości drgań własnych układu napędowego. Ich znajomość pozwala uniknąć pracy układu w strefach rezonansowych, które mogą wpłynąć na trwałość i prawidłowe działanie urządzenia.

Wprowadzenie do syntezy układów napędowych maszyn jako układów drgających skrętnie zaprezentowano w [8]. Przedstawiono tam metodę syntezy rozkładu charakterystyki na ułamek łańcuchowy, która umożliwia otrzymanie parametrów i modelu układu jednoosiowego. Należy zaznaczyć, iż otrzymany model układu może mieć postać dyskretną, ciągłą i dyskretno-ciągłą. Ze względu na postać równań otrzymanych modeli i łatwość rozwiązań numerycznych, modele o dyskretnym rozkładzie parametrów mają większe znaczenie praktyczne niż o rozkładzie ciągłym i dyskretno-ciągłym.

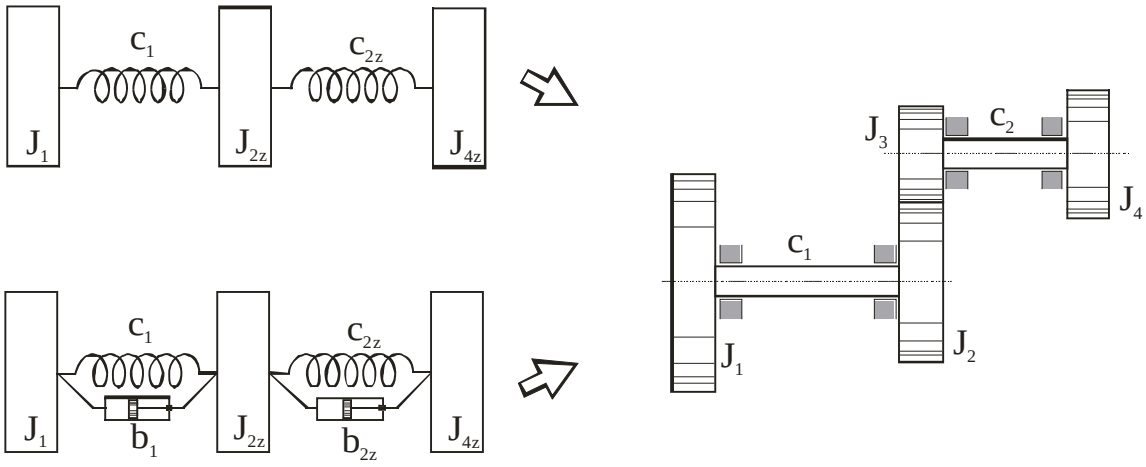
Przyjęte parametry wejściowe poszukiwanych struktur układów napędowych poddanych syntezie metodą rozkładu charakterystyki na ułamek łańcuchowy są następujące:

- liczba elementów $n = 5$;
- obszary rezonansowe charakterystyki dynamicznej syntezowanego układu znajdują się w otoczeniu biegunów, których wartości wynoszą:
  $\omega_0 = 0\ \mathrm{rad/s}$, $\omega_2 = 50\ \mathrm{rad/s}$, $\omega_4 = 100\ \mathrm{rad/s}$;
- obszary antyrezonansowe charakterystyki dynamicznej syntezowanego układu znajdują się w otoczeniu zer, których wartości wynoszą:
  $\omega_1 = 25\ \mathrm{rad/s}$, $\omega_3 = 75\ \mathrm{rad/s}$.

Tak sformułowane warunki odnośnie do stref rezonansowych i antyrezonansowych implikują warunki brzegowe syntezownych struktur. Z założeń tych wynika, że będzie to układ półokreślony. Do obliczeń wykorzystano autorskie programy komputerowe SynAna i Synteza [2]. Na podstawie danych wejściowych, wykorzystując programy do wyznaczania parametrów inercyjnych, sprężystych i tłumiących układu, otrzymano następujące wartości tych parametrów (Tablica 1) oraz odpowiadające im struktury (rys.1).

Tablica 1. Parametry sprężyste, tłumiące i inercyjne syntezowanych układów napędowych

i	$(c)_{(i)}$ [Nm/rad]	$(b)_{(i)}$ [Nm/rad]	$(J)_{(i)}$ [kgm^2]
1			1.0E+00
1	6.31655E+03	3.05324E+01	
2z			2.22E+00
2z	4.91287E+03	1.93028E+01	
4z			3.89E+00



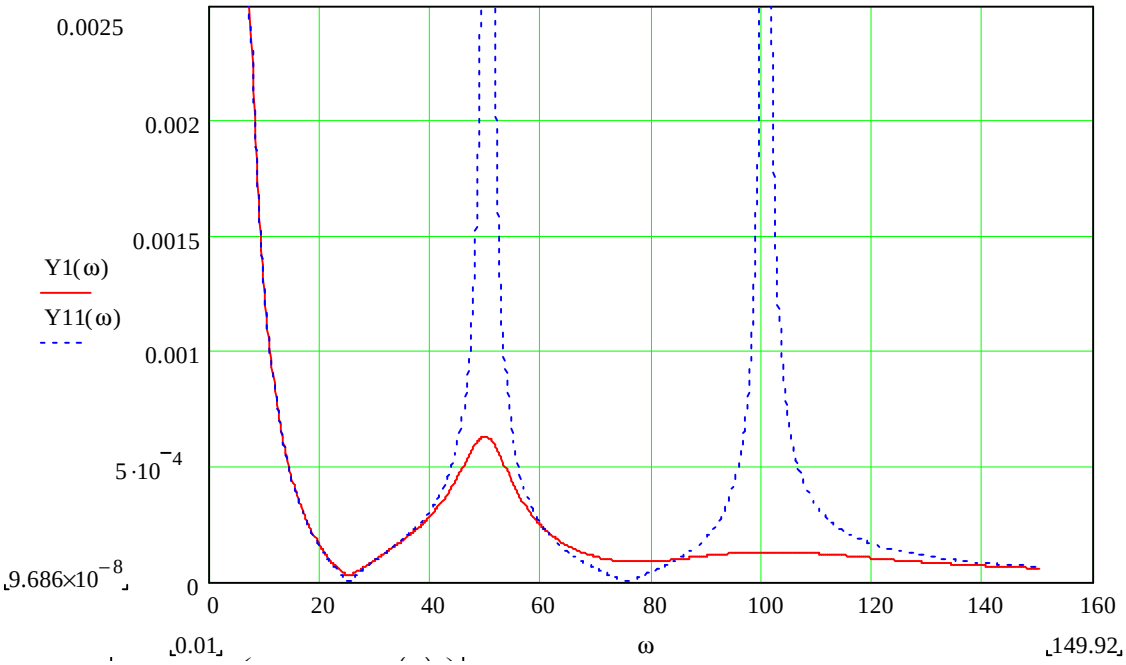
Rys. 1. Struktury zsyntezowanych układów napędowych maszyn

Otrzymane modele stanowią podstawę do dalszej weryfikacji modeli złożonych, jak i są punktem wyjścia do optymalizacji własności dynamicznych układów napędowych. Wstępem do badań optymalizacji jest analiza wrażliwości [2]. Na jej podstawie można dokonać oceny wpływu parametrów na zmianę charakterystyki dynamicznej układu.

Wybór modelu z grupy zsyntezowanych zależy od warunków pracy maszyny. Praca maszyny w pobliżu stanu rezonansowego jest możliwa tylko wtedy, kiedy wartość tłumienia wewnętrznego układu jest wystarczająco duża, ze względu na największe naprężenia. Tłumienie odgrywa w tych przypadkach rolę decydującą, ponieważ obniża w sposób istotny amplitudę drgań. Innym sposobem poprawy działania maszyny jest odpowiedni dobór częstości naturalnej układu lub częstości wymuszenia. Wyjście ze strefy rezonansu jest podstawowym warunkiem pracy urządzenia, lecz nie eliminuje całkowicie problemu drgań. Jeśli jednak maszyna pracuje poza obszarem rezonansu, to obliczenia dynamiczne mogą być w wystarczający sposób zrealizowane dla układów z pominięciem wpływu tłumienia.

Zadanie syntezy, umożliwiające otrzymanie parametrów i struktury układów ze względy na charakterystykę dynamiczną, może być więc wykorzystane jako narzędzie wspomagania projektowania dla każdych warunków pracy urządzenia. A jednocześnie duża liczba otrzymanych w wyniku syntezy układów i parametrów, które spełniają te same własności dynamiczne w postaci drgań, mogą wpłynąć znacząco na racjonalny dobór parametrów rozpatrywanego obiektu (urządzenia). Jednocześnie należy zaznaczyć, iż metody syntezy umożliwiając otrzymanie parametrów i modeli układów napędowych wieloosiowych.

Problem analizy wyznaczonej klasy drgających skrętnie mechanicznych układów napędowych sprowadza się do wyznaczenia zer i biegunów tych układów oraz przebiegów charakterystyki w postaci wykresu podatności dynamicznej (rys.2).



Rys. 2. Wykres podatności zsyntezowanego układu napędowego z uwzględnieniem tłumienia

Część badań sfinansowano w ramach projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych nr 4 TO7C 01827.

Literatura: 1. Buchacz A., Dymarek A., Dzitkowski T., Synthesis of discrete, continuous and discrete-continuous vibrating systems represented by graphs. Sixth International Scientific and Engineering Conference - Machine-Building and Technosphere on the Border of the XXI Century, Donetsk 1999,Vol. 3, p. 243-245. **2.** Buchacz A., Dymarek A., Dzitkowski T., Projektowanie i badanie wrażliwości ciągłych i dyskretno-ciągłych układów mechanicznych o żądanym widmie częstości w ujęciu grafów i liczb strukturalnych. Monografia z. 88, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005. **3.** Dymarek A., The Sensitivity as a Criterion of Synthesis of Discrete Vibrating Fixed Mechanical System. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 157-158, Complete 2004, p.138-143. **4.** Dymarek A., Dzitkowski T., Modelling and synthesis of discrete – continuous subsystems of machines with damping. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 164-165, Complete 2005, pp.1317-1326. **5.** Dymarek A.: Odwrotne zadanie dynamiki tłumionych mechanicznych układów drgających w ujęciu grafów i liczb strukturalnych. Praca doktorska, Gliwice 2000. **6.** Dzitkowski T., Computer aided synthesis of discrete – continuous subsystems of machines with the assumed frequency spectrum represented by graphs. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 157-158, Complete 2004, pp.144-149. **7.** Dzitkowski T., Odwrotne zadanie dynamiki dyskretno-ciągłych układów mechanicznych w ujęciu grafów I liczb strukturalnych. Praca doktorska, Gliwice 2001. **8**. Dzitkowski T., Dymarek A., The synthesis of machine driving systems. Twelfth International Scientific and Engineering Conference - Machine-Building and Technosphere on the Border of the XXI Century, Donetsk – Sevastopol 2005,

Vol. 5, pp. 66÷70. **9.** Świtoński E. [red], Modelowanie mechatronicznych układów napędowych. Monografia z. 70, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.

THE PROJECT OF AN OFF-LINE, REMOTE PROGRAMMING SYSTEM FOR MITSUBISHI MOVEMASTER INDUSTRIAL ROBOT

Foit K., Świder J., Mastrowski D.[*] *(Silesian University of Technology, Gliwice, Poland)*

Modern robotic systems are often equipped with dedicated off-line programming software. These applications are specific and dedicated to the one robot type or family of types. The disadvantage of such systems is relatively high price. In the paper a project of a platform-independent, remote off-line programming system is being discussed, evolved and tested on a Mitsubishi Movemaster series industrial robot, which is available in an Institute's laboratory. Until now it has been dedicated to this type of robot and used for educational purposes, but it is still in development phase, being intended to support other types of robots in the future.

Introduction

Many of modern robotic systems are equipped with dedicated off-line programming software packages. These applications are often dedicated to the specific robot type or family of types. Moreover, the package is designed for a given operating system version, what makes it hard to use on any computer system. Another problem is the lack of possibility of remote programming and supervision of the robotic system. To avoid mentioned disadvantages, designed system should has following properties:

- it should be platform independent – using the Intranet/Internet techniques,
- it should provide remote programming and supervision,
- it should be flexible by providing easy reconfiguration for given type of robot.

Some similar projects have been realised, like JRobot [3] or „Virtual User Interface for Programming Robotic Arm" [2], but they have been dedicated to one robot system and concrete programming and operating system environments have been used. These limitations can be omitted by evolving an idea of platform-independent, remote off-line programming system, which has been elaborated and is realised as an open project in cooperation with students [1]. Although this system is intended to be functional for wide range of robotic systems, it is evolved and tested on the Mitsubishi Movemaster RV-M1 industrial robot, due to its availability in department's laboratory.

The evolution of the system proceeds in several stages. The first one is to elaborate the general idea of a translating system based on a flexible dictionary, the second is to develop the client-server platform for remote program transmission. The last step is to evolve platform independent system controlled from any software platform without needs of installing specialised application. Further, the conception of the system will be presented in details.

The short characteristic of a Mitsubishi Movemaster industrial robot

The Mitsubishi Movemaster RV-M1 industrial robot [4] has five axis. It is compact type system, driven by DC servomotors, with 1,2 kg lifting capacity. Though it has small dimensions, it is a fully functional industrial machine, equipped with overload sensors, resistant to environmental influences, mechanical stresses and shocks etc. The control unit of the robot

[*] MSc student at Institute of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems, Silesian University of Technology

contains parts of controller system and power electronics. It is connected to the robot via two cables. The control unit has also I/O ports for communicating with external devices and interfaces for connection with PC computer (Centronics and RS-232C ports). Inside an EEPROM programmer is mounted as standard equipment. The robot can be programmed via teachbox or from PC computer with PTP trajectory planning. There can be up to 629 positions stored in the memory. Communication with external devices can be done through I/O ports with 16 inputs (where three of them can be configured for interrupts handling) and 16 outputs. Programming the robot from PC system is quite an easy task due to the simple programming language – MELFA BASIC. By dint of having standard communication interfaces, mounted in the control unit, the transmission of data between the robot and the computer proceeds without the use of special protocols. This allows the simple development of own applications, without needless effort. These advantages and availability of the network connections and the robot in Institute's laboratory have been decided about selecting this type of robotic system for tests. The sketch of the robot with marked workspace is shown in Figure 1.

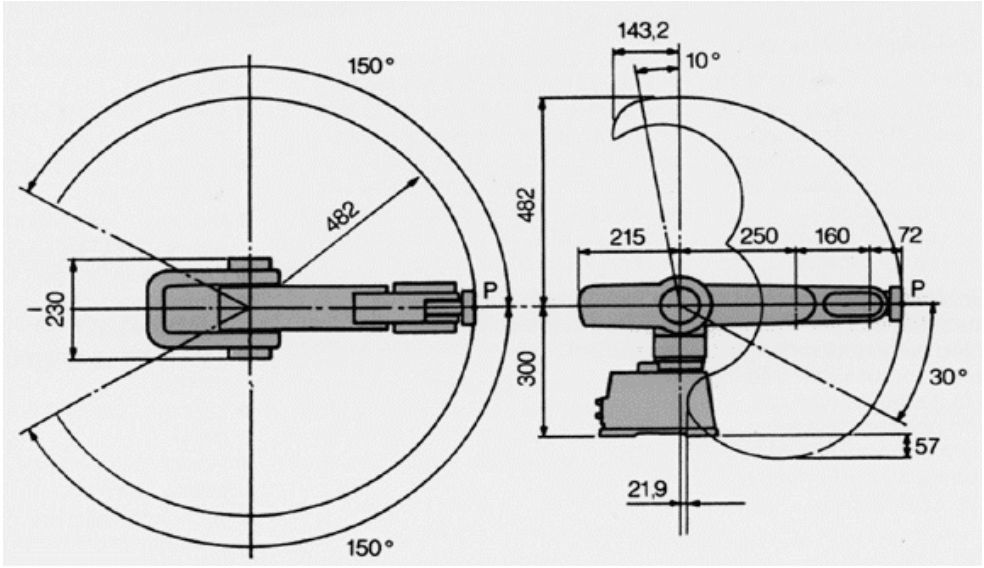


Fig. 1. Workspace of the Mitsubishi Movemaster RV-M1 robot in relation to the wrist tool plate [4]

Current stage of the project

The project has been divided into smaller parts due to its complex form. First of all a small application has been developed, which provides translation of trajectory coded in visual manner in a DXF file format to the MELFA BASIC commands [1]. DXF is a standard supported by almost every CAD program, so the trajectory can be drawn using line and point entities to code a path of a wrist and a gripper status. Code in a robot programming language is obtained by conversion of the DXF entities using a dictionary file. The dictionary contains pairs of source and adequate destination commands. After conversion user can edit program and/or send it to the robot. The general idea of application is shown in Figure 2.

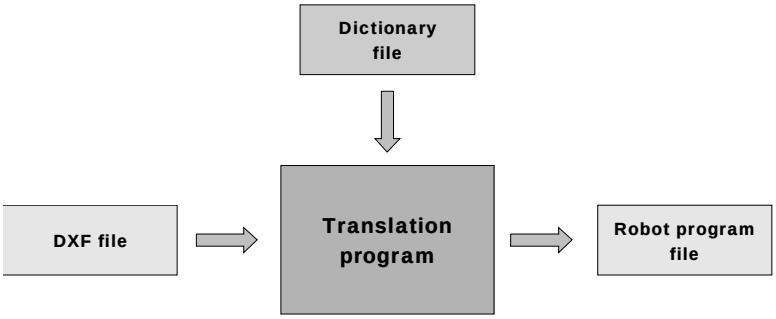


Fig. 2. The general block scheme of translation program

The next stage of the project has been development of network communication. The control unit of the robot has not a network interface, therefore a computer is needed, which acts as a server. The server gathers informations from clients and sends them to serial port, where the control unit of the robot is connected. The application can serve more than one client at time using FIFO queue for commands collecting. The server has also possibility to send video stream from an Internet camera to clients. The camera is connected to the server computer and used to supervision of robot environment. In order to provide communication between clients and the robot two applications must run on a server side. The first one is a network communication server and the second is *KamRob* – the application used for communication with robot's control unit and sending video from camera. The partition into two applications is only a result of project development and both programs may be combined into one in the future. In Figure 3 windows of the applications are shown.

a) b)

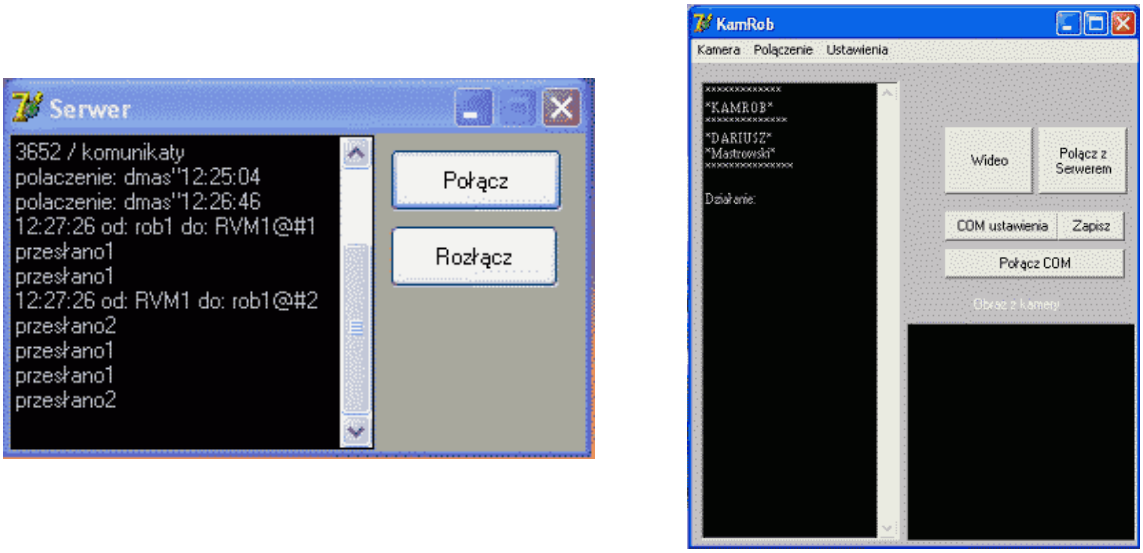


Fig. 3. The Server program window (a) and the KamRob program window (b)

On the client side it is needed to execute *Robo* application. It is used for off-line robot programming, visualisation of environment and simulation of program execution. It has the ability to import trajectory from DXF file using dictionary, possibility to use object for manipulation and multiple robots configuration on the scene (included for further use in order to achieve more flexibility). Another useful feature is a cooperation with another copy of *Robo* program, running on the other computer, using network communication: it is possible to

applicate a remote control unit of the virtual model of the robot. After doing virtual tests, application can link to the server in order to send the program to the real robot and execute it remotely. Execution of the program can be inspected through a video module of the application using video stream transmitted from the server. In Figure 4 the main window of the *Robo* application is shown.

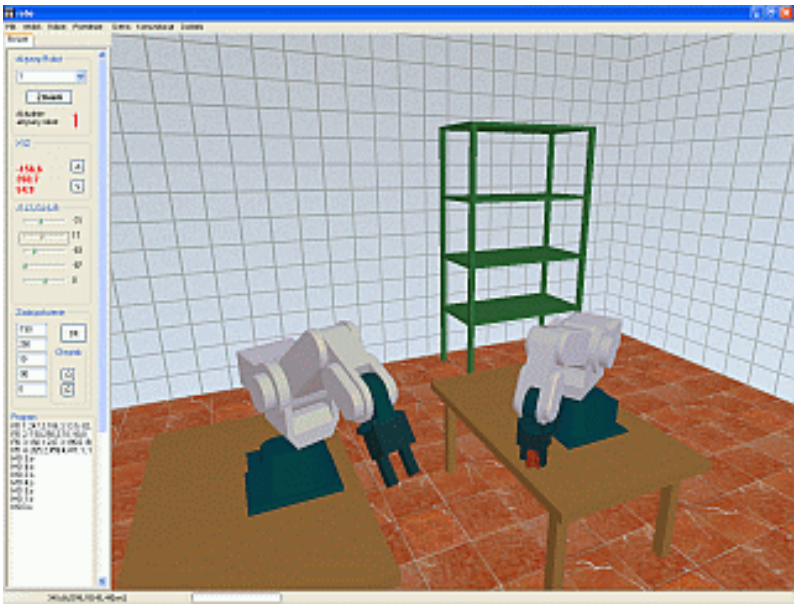


Fig. 4. The main window of the Robo application with two RV-M1 robots in the virtual environment

Conclusions and plans for the future

Described application has been intended for non-commercial, educational use. The final look and functionality of the program is an open question. In the next stage communication issues will be revised and improved. The future plans also include rewriting all applications and adapting them to use as WWW browser applets. Further, more features will be included in *Robo* application as for example possibility to control other types of robots and more flexible configuration of robot workspace (different rooms).

This work has been conducted as a part of the research project No. 4 T07C 01827 supported by the Committee of Scientific Research in years 2004-2007

References: 1. K. Foit, J. Świder: The project of a platform-independent, off-line programming system for industrial robots. The 7th International Scientific Conference on "Computer Integrated Manufacturing - Intelligent Manufacturing Systems CIM'2005", pp. 62-65. **2**. Virtual User Interface for Programming Robotic Arm. http://www.public.iastate.edu/~terlemei. **3**. Jrobot. A Java interface for Mitsubishi RVM1 Robot. http://jrobot.sourceforge.net. **4**. Mitsubishi Movemaster RV-M1 User's Manual.

CONTRIBUTIONS TO ESTABLISHING THE OPTIMUM WORKING CONDITIONS FOR FINISHING FACE MILLING

Gherghel M., Raveica I.C., *(University of Bacau, Romania)*

The applied purpose of this work is to determine the radial and axial static stiffness for, vertical mill heads on the longitudinal milling machine F.L.P.1000, as a matter of research. This is used in establishing the extent to which these machines are suitable for the flat finishing milling of surfaces such as the passage area of the machine tools.

The last part of this work presents the solutions applied for ensuring an adequate stiffness for this type of milling.

1. Requirements for the machine tools used for face finishing milling.

Along with the tool, the machine tool represents a determining factor in achieving the accuracy and quality of the machined area. Beside the geometrical precision, significantly important for the machining quality are the elastic distortions of the M.U.S.D.P. technological system, which vary with the system stiffness.

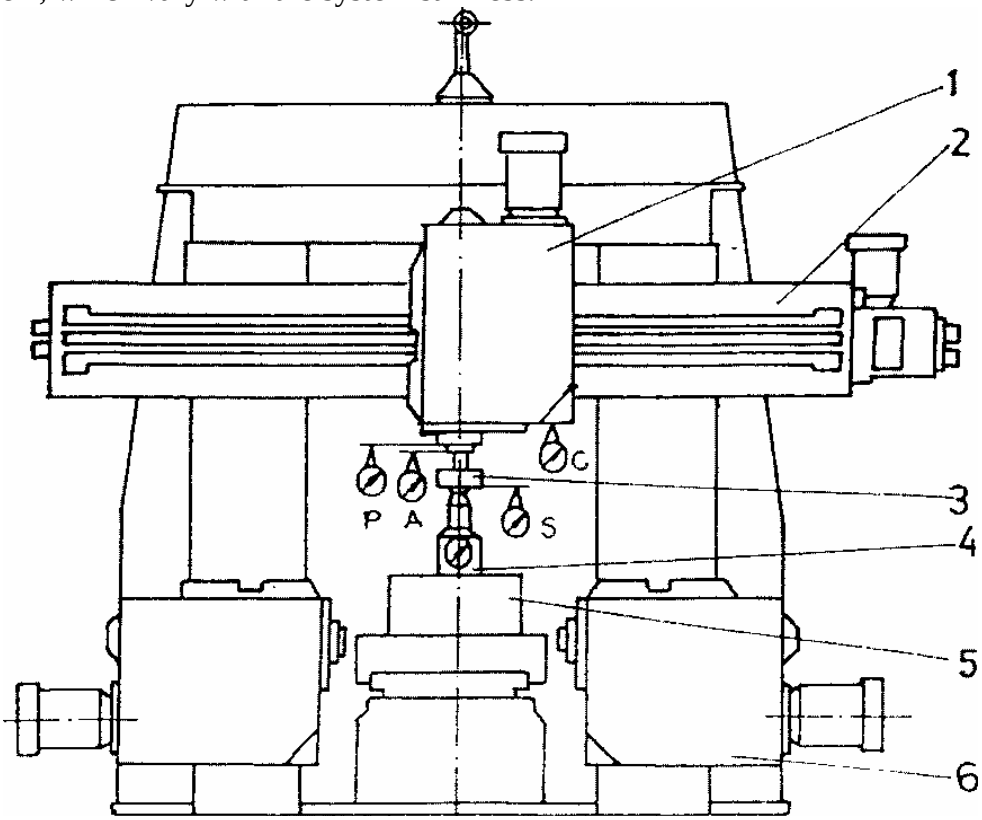


Fig. 1

For effectiveness, and out of economical reasons, it was decided to determine the static stiffness on a machine tool in idle condition, the results of this method being valued as much as those obtained on the machine tool in operation during the cutting process.

In case of the face finishing milling, the machining precision is highly influenced by the axial and radial static stiffness of the cutter.

Taking into consideration the above-mentioned, we determined the axial and radial static stiffness curves for the vertical milling heads on two longitudinal milling machines with saddles, F.L.P.I600 and F.L.P.I000 respectively, examined within the experimental test program.

Thus, the machine subassemblies were moved so as to successively reach the necessary measuring positions.

To determine the axial static stiffness, figure 1, the vertical milling head 1 and the

mobile cross rail 2 were moved so as to have tool 3 with the face working area above the machined area, in the central zone of the machined part 5, directed and fastened accordingly on the machine table.

To determine the radial static stiffness, figure 2, the vertical milling head 1 was moved to the right, and the mobile cross rail 2 was lowered so as to allow the mounting of the loading jig. The horizontal heads 6 were lowered to maximum so as to allow measurements, while the spindle of the milling head was completely withdrawn.

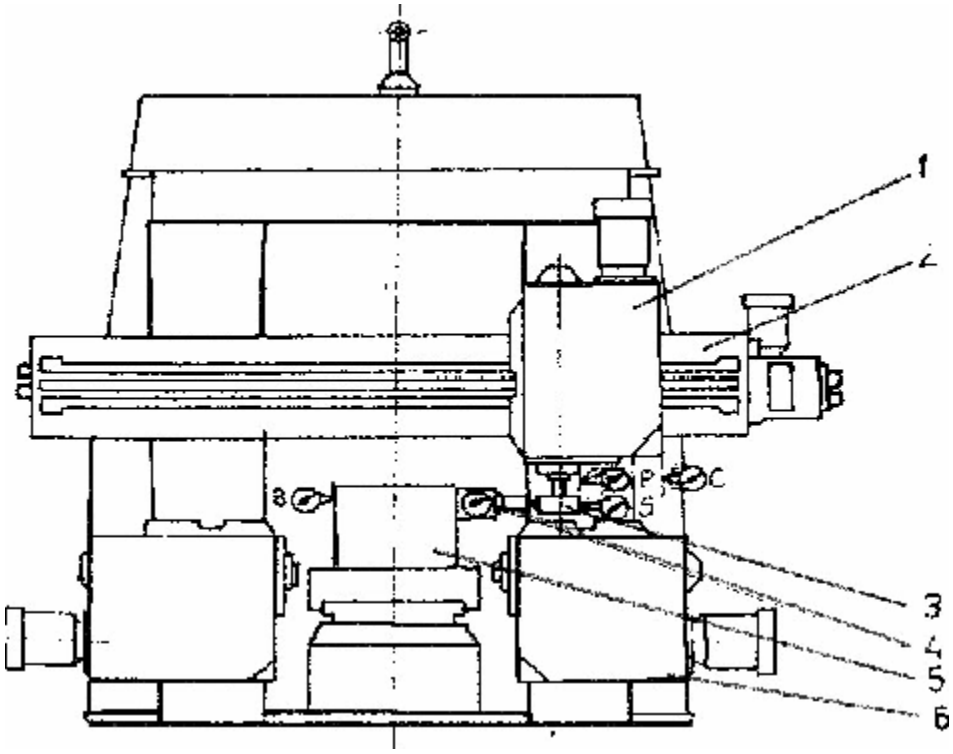


Fig. 2

A simulation of system stress by the axial and radial components of the cutting force was performed y means of a loading jig 4, consisting of a hydraulic lever with a maximum force of 20 KN and a gauge to measure the force.

The distortions were measured by mean of comparators of 0.001mm accuracy, installed on adequate holders. Both the front and radial travels were measured, of the tool (comparator S in figures 1&2), of the main spindle (comparator A), of the spindle (comparator P) and of the vertical milling head housing (comparator C).

By measuring the system distortions it was possible to draw the axial and radial static stiffness curves shown in figures 3 and 4

Since it was not possible to progressively unload the system (due to the design of the loading iig) in order to measure the distortions corresponding to the same forces in case of unloading, as well, only the loading static stiffness curves were drawn, without showing the hysteresis caused by the action of Coulomb abrasion forces at the joints.

However, taking into account the fact that in case of face finishing milling, the cutting forces are low, the hysteresis value of the corresponding distortions is negligible, and the stiffness value can be calculated with enough accuracy by using the loading curve. In the previous graphic it can be seen that the variation of distortions with the applied forces is not always linear, due to the contact stiffness of the main arbor ball bearings, which varies

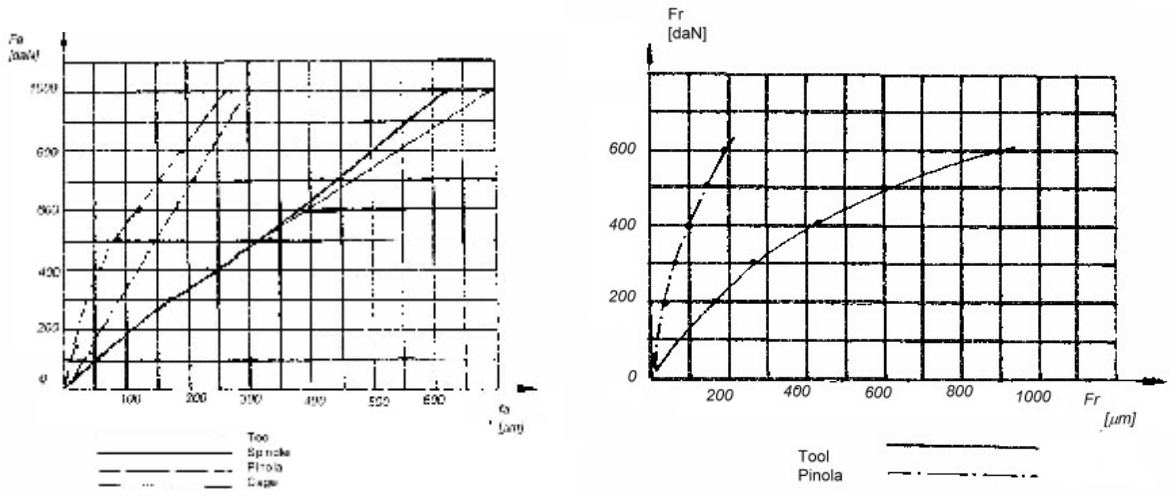


Figure 3

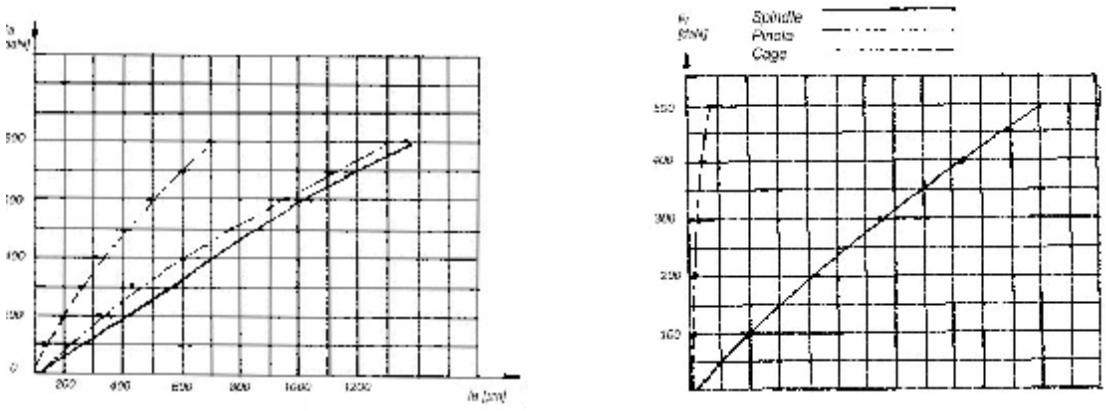


Figure 4

as illustrated in the graphics.

Conclusions

The analyses of the measured results lead to the following conclusions:

- on the F.L.P.I000 machine, the axle travel inside the spindle under the effect of some forces comparable to those occurring during fine milling is negligible, yet high spindle travels were noticed with reference to the housing, on both axial and radial directions, as well as significant housing travels with reference to the machine table;
- on the F.L.P.I600 machine, where significant axle travels were noticed in relation to the spindle, as well as spindle travels with reference to the machine table on axial and radial direction, and housing travel with relation to the machine table on axial direction, it can be asserted that no axial and radial stiffness is adequately ensured for the finishing milling.

With a view to ensure appropriate axial and radial stiffness, the following steps were taken:

- the axial ball bearings and the main axle of both machines were pre-stressed;
- the guiding wedges in the vertical milling head and mobile cross rail were adjusted;
- the clearance transfer jigs and locking jigs for the milling head and mobile cross rail were revised;
- to ensure the contact stiffness tool-main axle, a inspection was carried out on the condition of the tapered joint areas between the tool ends and the main axle.

As soon as all these steps were adopted, by rechecking the static stiffness of the two ma-

chines, a significant improvement was noticed, which allowed their use for face finishing milling operations.

References: 1. ENACHE ST. Calitatea suprafetelor prelucrate, E.T. Bucuresti 1966 2. GHERGHEL M. Cercetari privind optimizarea constructive si a geometriei frezelor frontale de finisare. Contract de cercetare 3013A4/1994 3. GHERGHEL M. Contributii teoretice si experimentale privind optimizarea constructive geometrica si functionala a frezelor frontale de finisare cu placute interschimbabile PHD Thesis

SOLVING TECHNIQUES FOR SIMPLER FLUXES AND THE REASONS OF THEIR APPLICATION IMPOSSIBILITY IN EULER/NAVIER-STOKES EQUATIONS

GHERGHINA Aurel *(UM 02515 P, Izvor 5, Bucharest, ROMANIA)*

To explain why the classical methods used in solving of supersonic or subsonic potential constant equations don't give a result when are applied to the Euler/Navier-Stokes equations, first it is necessary a short evaluation of these techniques. Let's suppose that we have to calculate inviscida 2D constant and the derivational flux (potential flux).

The solving technique for the constant subsonic potential flux

This flux completely described by the continuity equation because the moment and the energy equations can be integrated as follows (1):

$$H = h + \frac{u^2 + v^2}{2} = H_0 = c_p T_0$$

where p_o, p_o, T_o, H_o are the integration quantities, called stagnation pressure, density, temperature and enthalpy.

In this way, p can be set in relation with Φ by equation, where the exponents represent derivates which have values in space variables x or y.

When the equation is applied in a space with central differentiation, the system is usually solved by the relaxing methods (Sacobi, Gauss-Seidel). In this case, there are adaptations at a system of un-linear methods developed for linear systems. Let's see, further below, why these relaxing techniques are working. The theory of relaxing methods for linear systems tells us

$$\frac{\partial(ru)}{\partial x} + \frac{\partial(rv)}{\partial y} = 0 \qquad u = \frac{\partial f}{\partial x} \qquad r = \frac{\partial f}{\partial y} \tag{2}$$

they converges whether the linear system matrix is diagonal dominated (Hadaward-Gerschgorin theorem). Let's consider we are in conditions when we want to calculate a subsonic potential flux. To simplification, let's consider the limit case where p=ct. (uncompressible flux). Then, the equation has Laplace shape. Let's suppose this have to be solved on a rectangular grid. In this case, the minimizations are:

In addition, we suppose $\Delta x = \Delta y$. To prove that the potential equation is elliptic, the obtained equation has to be developed.

Inserting the quantity $C^2 = (y-1) + H_o$, we obtain:

If :

$\Delta x = \Delta y$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \frac{f_{ij+1} - 2f_{ij} + f_{ij-1}}{\Delta y^2} + 0\left(\Delta y^2\right) \tag{3}$$

Were presented above the minimizations used in this case.

The stability features of ODE integration methods

The stability features of ODE integration methods are generally studied taking in consid-

$$\frac{du}{dt} = qu \qquad u(o) = 1 \qquad\qquad r = r_0\left(1 - \frac{f_x^2 + f_y^2}{2H_0}\right)^{1/(g-1)} \tag{4}$$

eration the devising equation 4.

The analytical solution is $u = e^{2t}$. When is applied at this problem a numerical method, the solution can be always written:

when g is called amplification factor.

Then, the stability condition requires that numbers [g (q. Δt)] to be uniform arranged for $0 < \Delta t < t$, $0 \le n\Delta t < T$.

An essential condition for this is:

$$|g(q,\Delta t)| \le 1 + 0(\Delta t) \qquad |g(q,0)| \le 1 \qquad u_{n+1} = [g(q,\Delta t)]^n u_1$$

$$0 < \Delta t < t, 0 \le n\Delta t < T$$

Particularly $|q\ (q,0)| \le 1$

Let's consider few examples.

The fourth method Runge-Kutta is transposed through the testing equation.

Thus $|q| \le | + 0\ (\Delta t)$, $|q\ (q,0)| = 1 \le 1$ and the method Runge-Kutta is stabilized.

Another example is the explicit method in two stages what is transposed through 5.

$$k_2 = \Delta t q\left(u_n + \frac{1}{2}k_1\right) = q\Delta t\left(1 + q\frac{\Delta t}{2}\right)u \tag{5}$$

$$k_1 = \Delta t q u_n \quad = q\Delta t(1)u_n$$

$$k_3 = \Delta t q\left(u_n + \frac{1}{2}k_2\right) = q\Delta t\left(1 + q\frac{\Delta t}{2} + q^2\frac{\Delta t^2}{4}\right)u_n$$

$$k_4 = \Delta t q\left(u_n + \frac{1}{2}k_3\right) = q\Delta t\left(1 + q\frac{\Delta t}{2} + q^2\frac{\Delta t^2}{2} + q^3\frac{\Delta t^3}{4}\right)u_n$$

Consequently, q has to be a root.

The expression is $|q| \le | + 0\ (\Delta t)$, $|q\ (q,0)| = 1 \le 1$ and the method in two stages is stabilized (7).

$$u_{n+1} = gu_n = g^2 u_{n-1} \qquad g^2 - 2q\Delta t g - 1 = 0 \qquad g = q\Delta t \pm \sqrt{1 + (q\Delta t)^2}$$

The weak instability.

Being consistent and stabile, let's apply the explicit method in two stages at the testing equation, defined above, with q = 1 and Δt = 0.1.

Because is a two-stage method, are required two initial values. One of them is given by the initial condition of the issue: $u_0 = 1$.

The calculation was made with two approximations of the exact solution e = 0,90484, meaning $u_1 = 0{,}85$ and $u_1 = 0{,}9$.

Is noticed that the perturbation on u1 generates amplified oscillations.

Actually, how small could be the initial perturbation, it will always exists, due to the rounding errors what entails, finally, a "explosion" of the numerical solution. This phenomenon is called weak instability.

Before advancing, let's find out the causes of this phenomenon. Was observed in the previous section that the explicit method in two stages permitted solutions by shape u_{n+1} With two possible values for q, let's specify q1 and q2 an expression having the form:

$$un = C_1 q_1^n + C_2 q_2^n \quad (7)$$

$$q = 1 \qquad \Delta t = 0.1 \quad (8)$$

$$u_{n+1} = g u_n = g^n u_1$$

we satisfy also the difference equation, and the constants C1 and C2 are determined by the initial values.

Consequently, the observed oscillations are explained by the next factor q_2^n

what oscillates due the factor $(-1)^n$ and is amplified as e^1. This term hasn't any relation with the accurate solution but is only a numerical result. How much u_1 is closer by $q_1 u_0$, the coefficient C1 is smaller, this delaying the observation of the amplifying oscillations, but will be always impossible to have C2 = 0, what would avoid the instability (9).

The reason of this fact is that the definition of the stability presents information only in the

$$u_{n+1} = g u_n = g^2 u_{n-1}$$

limit case $\Delta t \to 0$ not for the calculations with finite Δt. This result leads to introduction of a new concept, called stability area (absolute).

The calculations were made to obtain a solution with two approximations:

We took into consideration that (10):

$$u_n = c_1 g_1^n + c_2 g_2^n$$

The sequence u_2 of numerical values remains connected by $\eta \to \infty$. As the previous definition of stability was requiring the sequence u_n to remain in $\eta \to \infty$, $\Delta t \to 0$, is the same with saying that the origin is in stability area (absolute).

$$[\Delta t \to 0 \text{ supposes } q\,\Delta t \to 0]$$

With this definition we can demonstrate that the stability area of the explicit method in two stages is the segment of imaginary axe between –1 and +i. As a result, isn't surprising that in conditions of calculation with q –1, Δt 0,1 results an explosion of the calculation because z –0,1 is outside of the stability area (absolute) for this scheme.

$$u_0 = c_1 + c_2 \quad u_1 = c_1 g_1 + c_2 g_2 \quad (11)$$

$$u_{n+1} = u_{n-1} + 2q\Delta t u_n \qquad (q = -1)$$

References: 1. TORO, E.F., "Riemann Solvers and Upwind Methods for Fluid Dynamics", Germany, Springer-Verlag, 1997. **2.** HIRSCH, C., "Numerical Computation of Internal and External Flows", New York, John Wiley & Sons, 1988. **3.** GODUNOV, S.; ZABRODINE, A.; IVANOV, M.; KRAIKO, A.; PROKOPOV, G., "Resolution numerique des problemes multidimensionnels de la dynamique des gaz". Moscou, Editions MIR, 1979. **4.** LIANG, S.M., CHEN, H., "Numerical simulation of Underwater Blast-wave Focusing using a High-Order Scheme", AIAA Journal, 37, 8, 1999. **5.** FRINK, N.T., "Upwind Scheme for Solving the Euler Equations on Unstructured Tetrahedral Meshes", AIAA Journal, 30, 1992.

SOME ASPECTS REGARDING THE USE OF PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS FOR MEASUREMENT OF PROPELLANT GAS PRESSURE DURING WEAPON'S FIRING

Gheorghian S., Jula N., Cepişcă C. (*MTA, Bucharest, Romania, UPB, Bucharest, Romania*)

The measurement of propellant gas pressure during weapon's firing is vitally important for the correct functioning of the weapon and for the safety of the crew. The paper presents two different schemes for accurate measurement of propellant gas pressure, using a piezoelectric measuring system, according to the weapon's caliber and experiment's goal. For each scheme, the position of the piezoelectric high pressure transducer and typical pressure vs. time curves are presented.

Introduction

Nowadays, the piezoelectric measuring system is the most used system for pressure measurements in weapon interior ballistic tests. Piezoelectric high pressure transducer transform the propellant gas pressure inside the weapon's barrel into a charge signal, which is converted into a voltage signal by means of a charge amplifier (Fig. 1).

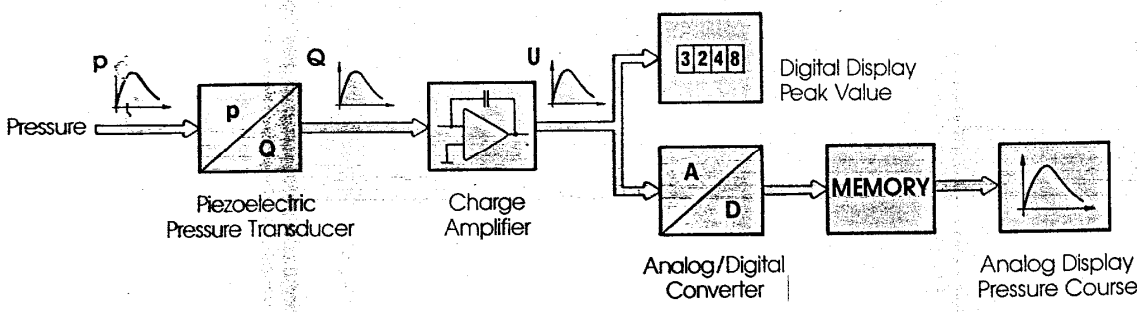


Fig. 1 Schematic of a piezoelectric measuring chain for pressure measurements [1]

The most important component of the piezoelectric measuring chain is the high pres-

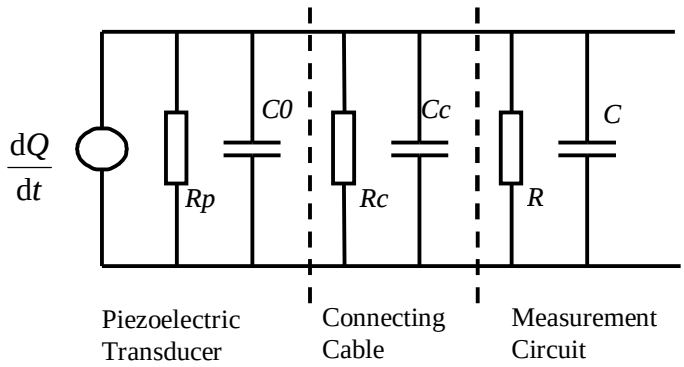


Fig. 2 The equivalent scheme of the piezoelectric transducer connected to the measuring circuit [2]

sure transducer. The aspect and the overall dimensions of two typical transducers are presented in Figure 3.

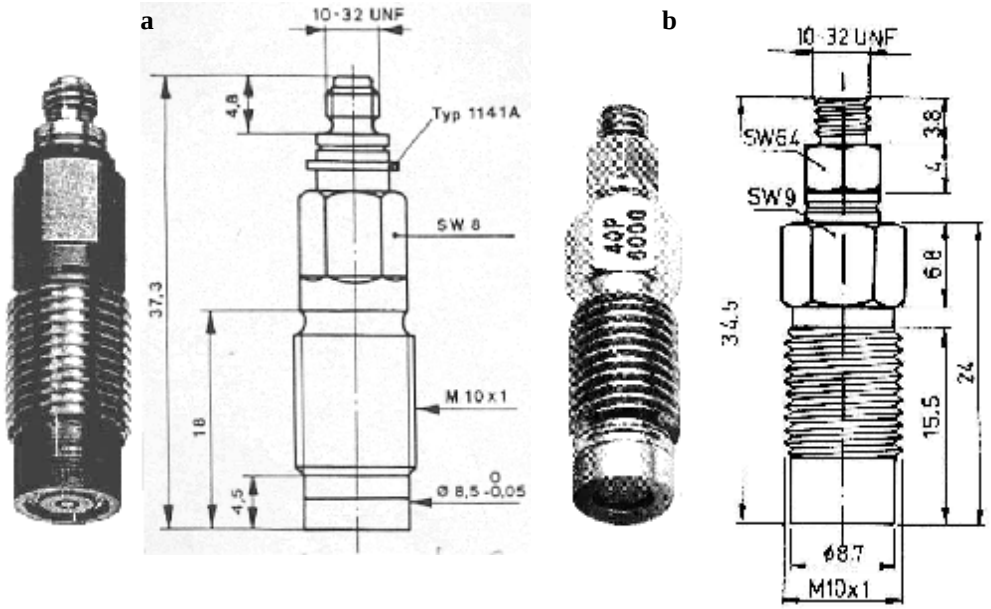


Fig. 3 The aspect and the overall dimensions of two typical transducers [3], [1]
a - KISTLER type 6215; b - AVL type 4 QP 6000

The main technical characteristic of the piezoelectric high pressure transducer is the sensitivity. It states the correlation between de input quantity (pressure *P*) and the output quantity (electrical charge *Q*):

$$S_Q = \frac{Q}{P} \text{ [pC/bar]}. \tag{2}$$

The sensitivity of the pressure transducer should be periodically checked. The mean value of the sensitivity of the KISTLER type 6215 transducer is 1,4 pC/bar while the AVL type 4 QP 6000 transducer has 2 pC/bar.

Pressure measurement inside the cartridge case

This scheme is used for pressure measurements within the small and medium caliber weapons. The piezoelectric pressure transducer is screwed into the weapon's barrel, perpendicular to its axis, in the chamber zone (Fig. 4).

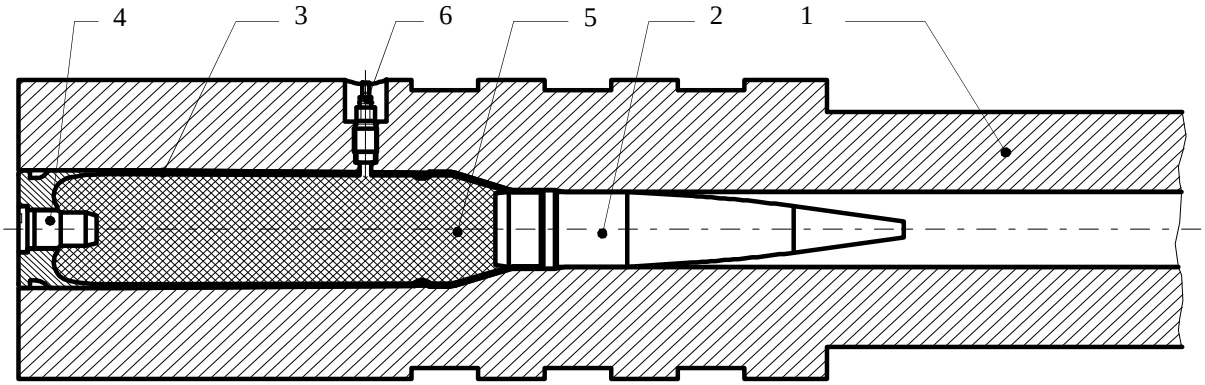


Fig. 4 Experimental setup for pressure measurement inside the 35 mm Oerlikon cartridge case
1 - barrel; 2 - projectile; 3 - cartridge case; 4 - primer; 5 - propellant; 6 - transducer

The measured pressure corresponds to the period between percussion of the primer device and projectile's exit through the barrel's mouth. From the pressure vs. time curve, the

following quantities can be determined: maximum pressure, delay of the igniter device, rise time of the pressure up to 10 % of the maximum pressure and action time [4]. As an example, Figure 5 shows a typical measured pressure vs. time curve.

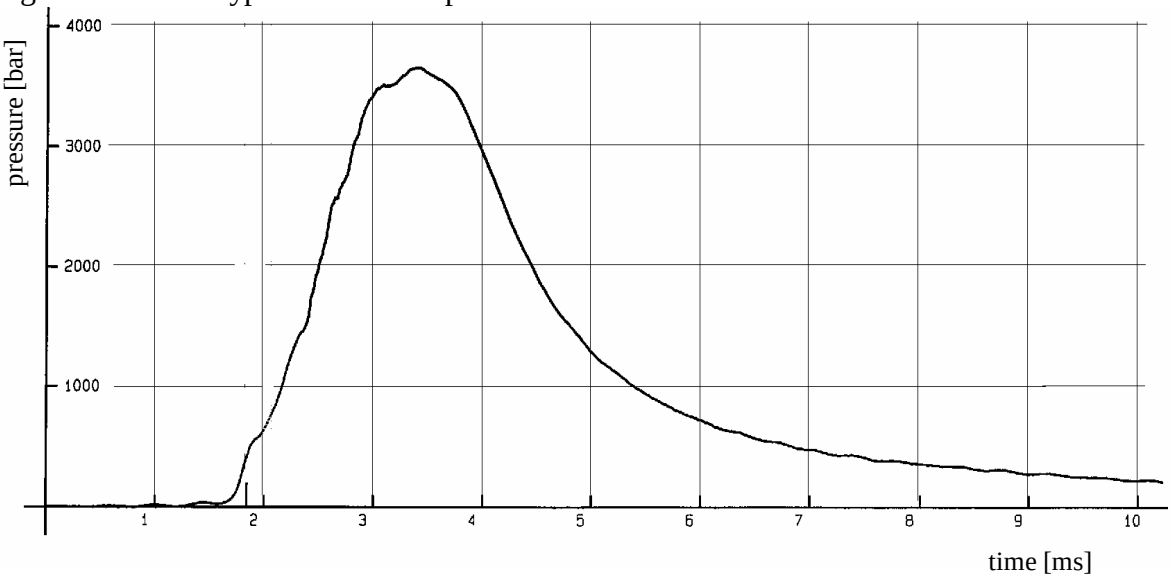


Fig. 5 Pressure vs. time curve measured inside the 35 mm Oerlikon cartridge case

Differential pressure measurement inside the cartridge case

The differential pressure measurement is required for the safety assessment of a medium and big caliber weapons to the ignition induced pressure waves. In order to do this type of measurement, two piezoelectric transducers are needed as shown in Figure 6.

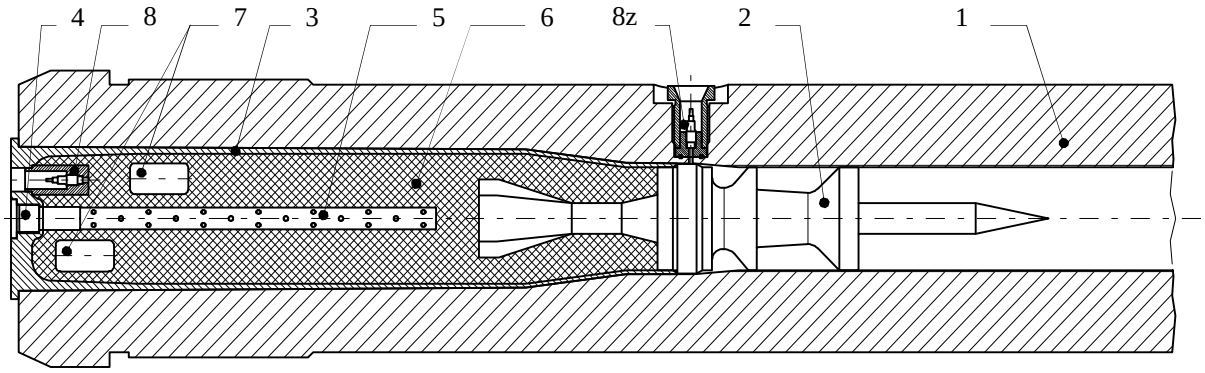


Fig. 6 Experimental setup for pressure measurement inside the 100 mm cartridge case
1 - barrel; 2 - projectile; 3 - cartridge case; 4 - primer; 5 - igniter tube;
6-propellant;7-crusher gauge; 8-pressure transducer

The first transducer is screwed into the barrel, near the mouth of the cartridge case, and second is mounted at the base of the cartridge case, into a special socket. Figure 7 shows the pressure vs. time curves measured by the pressure transducers as well as the resulted differential pressure vs. time curve. In practice, it is necessary for safety reasons that the maximum differential pressure not to overtake a certain value, specific for each weapon [5].

Conclusions

Metrology characteristics of the piezoelectric high pressure transducers correlated with the possibility of miniaturization of their construction, recommend the use of this transducers for propellant gas measurements in ballistic tests. For the measurement of the pressure inside the weapon's barrel, several methods can be used, according to the goals of the test. The piezoelectric method for propellant gas pressure measurements can be used both in R&D of new weapons systems and in acceptance of the existing ones.

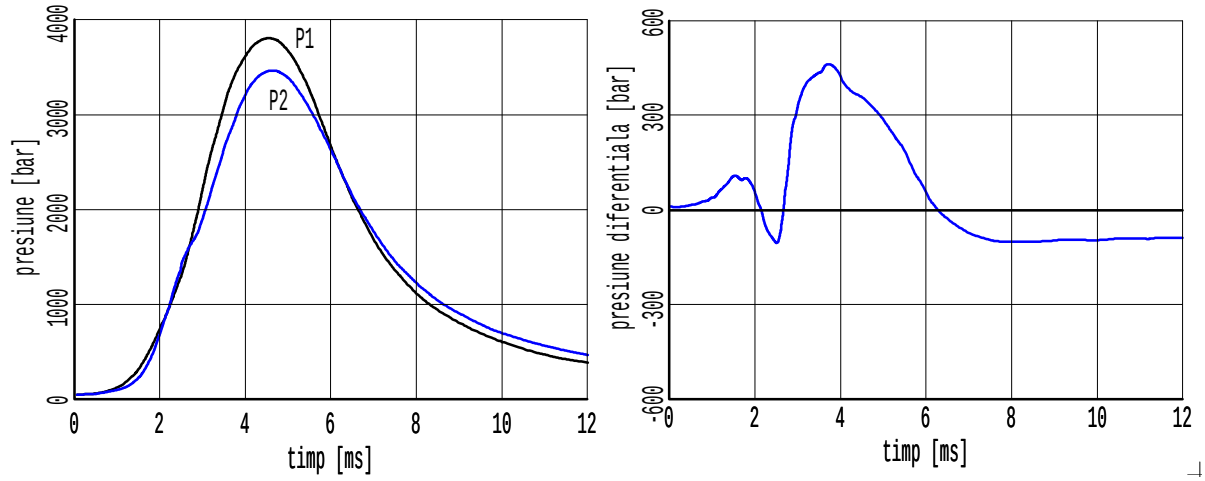


Fig. 6 Pressure vs. time curves measured inside the 100 mm cartridge case
P1 – pressure at the base of the cartridge case; P2 - pressure at the mouth of the cartridge case;
P1-P2 - differential pressure

References: 1. AVL Piezoelectric High Pressure Transducers, 1994 2. Cepişcă, C., Jula N., *Traductoare şi senzori*, Editura ICPE, Bucureşti, 1998, p. 212-217 3. Piezo-instrumentation KISTLER, Kistler Instrumente AG, Schweiz, 1994 4. Oerlikon pocket-book, Oerlikon-Buhrle AG, Zurich, 2nd, revised edition 1981 5. Stiefel, L., (editor),- *Progress in Astronautics and Aeronautics: Gun Propulsion Technology*, Vol. 109, AIAA, Washington, DC, 1988, pp. 75-80

THE STUDY OF INTEGRATING PART DESIGNS CATALOGUES IN CAD SYSTEMS USING PARTSOLUTIONS PROVIDED BY CADENAS

Ghiorghiță S.-C., Acatrinei I.-A., Iuraş, E., Duşa P. ***("Gh. Asachi" Technical University of Iassy, Romania)***

The subject of this paper is the study of imported parts in CAD solution SolidWorks 2006 from part designs catalogues using PartSolution provided by CADENAS.

Introduction

Current trend in CAD solutions field is to transfer as many processes in an early stage of designing, processing and/or testing the prototype into a virtual environment. It means that it is required to have 3D models/parts of corresponding pieces, products or assemblies.

Assembling strategy and relative positions or mates can be created and tested upon the geometric 3D model of the entire assembly.

3D models of the components that ar to be aquired from different suppliers can be easily obtained using a digital library of geometric models. [2]

CADENAS products proposed a solving of this problems by creating catalogues of parts and assemblies in different CAD solutions. This allows the exporting of models in most of the CAD solutions like Catia 2D/3D, SolidWorks 2D/3D, SolidEdge 2D/3D, AutoCad 2D/3D, Pro / E 3D, I-DEAS Artisan 2D/3D, I-DEAS Master 2D/3D, Unigraphics 2D/3D, etc. The file formats of obtained models are specific to each CAD environment, but also can be neutral formats like: ACIS SAT 3D, DWG 2D*, DXF 2D, IGES 3D, MI 3D, Parasolid 3D*, SAT 3D, STEP AP203/214 3D, STL 3D, VDAFS 3D, VRML 3D. [1]

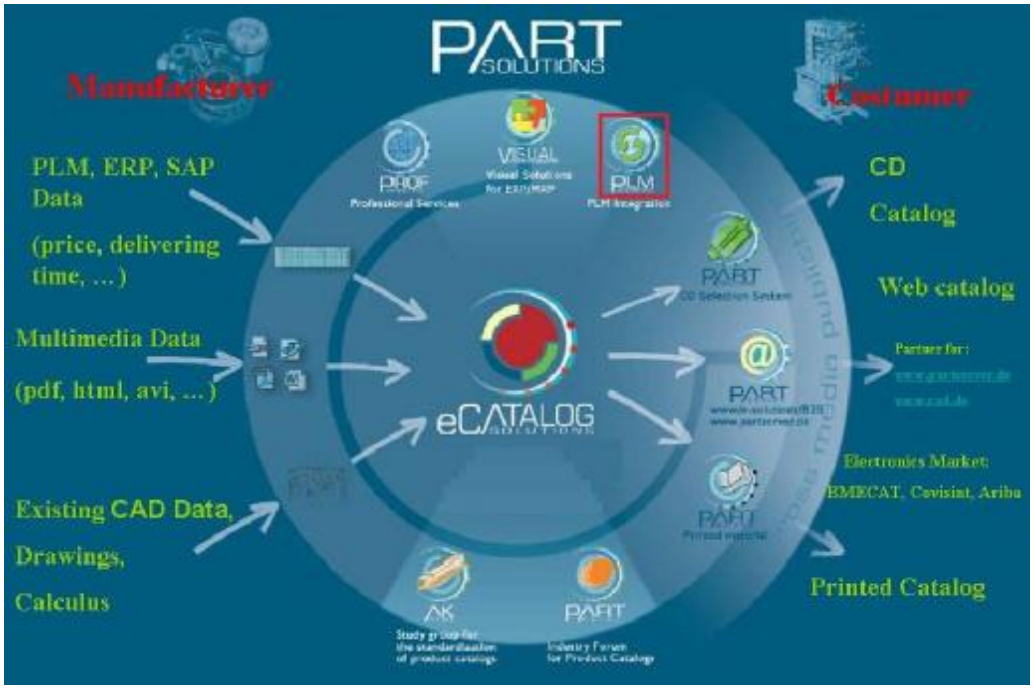


Fig.1. Prezentation of CADENAS applications

The main components of CADENAS applications are: eCATALOGsolutions (to creat digital catalogues containing models of the parts), PARTsolutions (choses the required part and also can link to PLM/ERP applications), integrates most CAD systems (GUI with CAD systems like Catia 2D/3D, SolidWorks 2D/3D, SolidEdge 2D/3D, AutoCad 2D/3D, Pro / E 3D, I-DEAS Artisan 2D/3D, I-DEAS Master 2D/3D, Unigraphics 2D/3D).

Statistics show that design engineers all over the world look for components using characteristics and clases instead of components suppliers (source: CIRIN). In CADENAS applications, the place of a product in a listing is established using PARTproject, included in applications package eCATALOGsolutions, and presents the next advantages for the customer: lower transaction costs, more clear orders, no language incompatibilities, easely reviewing of different suppliers and their offers, finding new suppliers, concentrating the volume of aquired components. Advantages for the supplier are presented as: only one structure designing of the digital catalog, lower costs for publishing the offer, opportunity to acces new markets, better comunication with the client.

Building the components library is made using the PARTdesigner module. It si a 3D design software from last generation based on "features". A 3D model created with PARTdesigner starts from profiles. On profiles there are applied dimensional constraints of which values refer to defined variables, and having as base the created profiles, parts are created by extruding or by revolving.

3D models created in this software present the next advantages: small file size, using the PARTsolutions interface, *models created in PARTdesigner are fully compatible with most of the CAD solutions and have a large functionality in the specific format of the current in use CAD software..*

Chosing the required component for importing it into the current CAD application is made using the next modules:

1. PARTdataManager is a CADENAS module that helps chosing standard component models from catalogs of different suppliers. Searching for the components can be made by using different keywords like:dimension, tolerance, date, keyword, part identifier, part comparison, geometric comparison.

2. PARTconnection include the next modules: screw thread connections and finit element analysis.

How to use PARTconnection: in CAD application the user enters the thickness of elements to mate, PARTconnection proposes a assembling solution and automaticaly sets the thickness of the plates (N and B values); the user choses fasteners or clamps: washers, safety elements, etc. The clamp or the fastener is exported to CAD application from which PARTconnection was appealed, the connection is placed as a whole and there are created the holes in the elements to be connected.

3. PARTshaft is a module used to generate assemblies from parts created by revolved sketches. The number of components possible to add to the main revolved part is 99 (bearings, keys, gears,. …). This module allows us to save created shafts as templates for future use. A number of 12 shafts can be loaded in PARTshaft.

The study of a part/assemblyimported from a CADENAS part library using the *PARTdataManager* module

The study in this paper is the importing into SolidWorks a part from a CADENAS data library using the ***PARTdataManager*** module**.** Element subject of study are:the design tree, keeping relations when importing assemblies and mating in assembly mode.

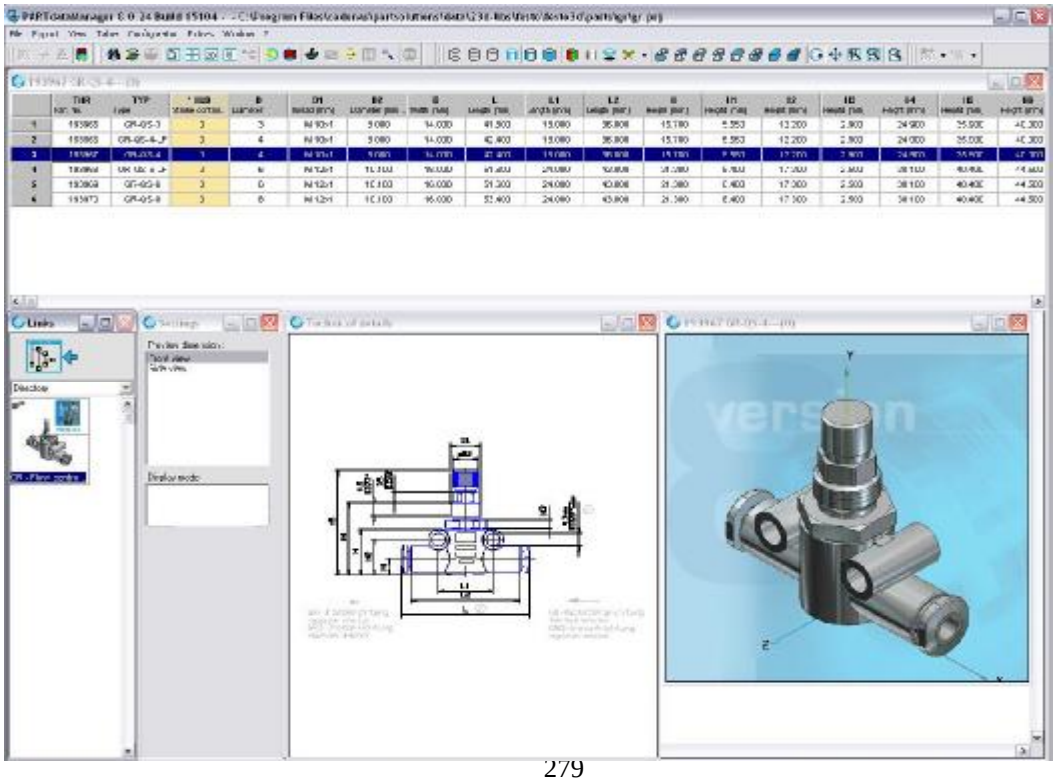


Fig. 2. How to insert a part from a library using the PARTdataManager module

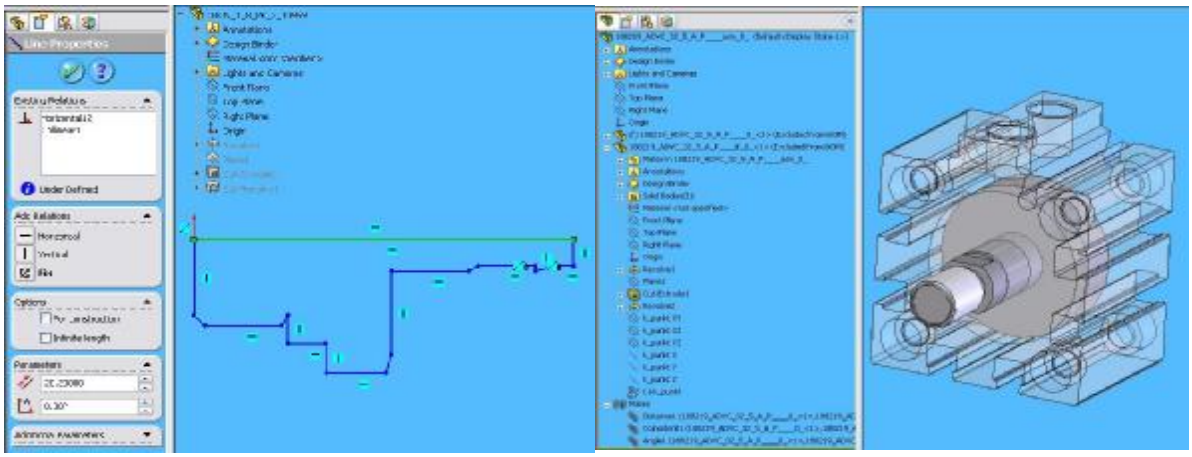


Fig. 3. Keeping the design tree and and relations between the components of an assembly

When importing a part from ***PARTdataManager*** module it can be observed that the names of the components in library are labeled as cods, leading to a better search in tha database.

When inserting a part into a CAD application, in this case SolidWorks, the design tree is inserted too (Fig. 3), and for sketches, it can be seen that elements are not restricted, so that it is possible to modify or to edit the part or the sketch after being imported.

When creating assemblies mates can be made between components designed in specific CAD application and components imported from libraries as they were designed in the same application.

When importing assemblies the application into which components are imported, opens first each part and later opens the assembly, and keeps the design tree of all the parts and the restrictions and mates between features..

Parts/assemblies are standards and therefore are defined only by volume dimensions.

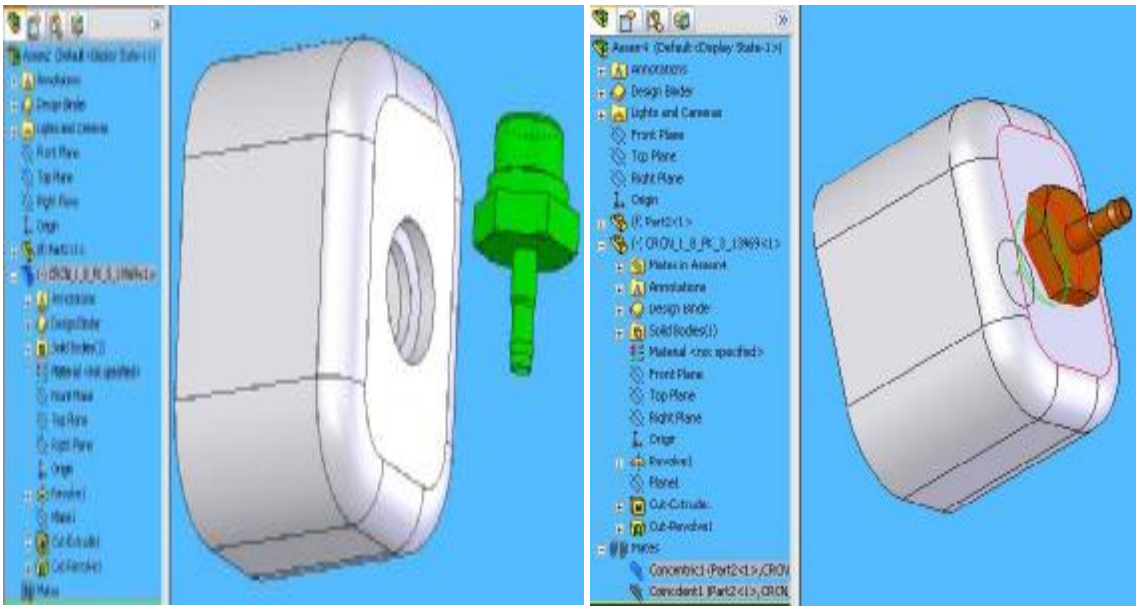


Fig. 4. Defining mates between a part designed in SolidWorks and a part imported from a CADENAS library to create an assembly

As a conclusion, on imported parts from CADENAS libraries editing is allowed as if parts were created in CAD application in current use (in this case SolidWorks 2006). [3]

Conclusion:

- because parts (assemblies) imported from PARTsolutions are standard, most of them are only defined by volume dimensions.
- the sketches of the imported parts from PARTsolutions can be fully edited of modified;
- after parts (assemblies) integration within an assembly, the design tree and operations tree are available;
- in importing an assembly into a CAD application, the programme first opens each part in the specific application followed by the opening of the assembly.
- in importing subassemblies from PARTsolutions into assemblies, restrictions (mates) between imported components and subassemblies are still active;
- designing 3D models using PARTdeveloper and the including it in digital catalogues provided along with PARTsolution products are a powerful marketing tool, large promoting CADENAS products.
- PARTsolutions products can be succesfully used by students in projects and applicationpot fi utilizate cu succes de catre studenti in activitati de proiect si laborator.

References: 1. *** CADENAS, Online Help, CADENAS GmbH, PARTsolutions LLC, Cincinnati, Ohio, USA **2.** *** CADENAS Home page, PARTsolutions LLC, Cincinnati, Ohio, USA, available on: http://www.part-solutions.com/index_main.asp , consulted on 09 iulie 2006 **3.** *** PARTsolutions Home page, available on: http://www.partsolutions.ro/ , consulted on: 09 iulie 2006; **4.** *** SolidWorks, Online Tutorial, SolidWorks Corporation U.S.A. **5.** *** SolidWorks Home Page, available on: http://www.cadworks.ro/ , consulted on 04 march 2006.

ASPECTS OF CONTROL SYSTEMS OVER NETWORK

Giurgiu L., Demeter Ş., (*A.F.T. Sibiu, Romania*)

This paper studies a Networked Control System model consisting of time-driven sensors and event-driven controllers and actuators. Computer-controlled systems are distributed systems consisting of computer nodes and a communication network connecting them. The sensor, the actuator and the control calculation reside on different nodes and this aspect gives rise to network control loops. The controllers are implemented within the individual nodes as tasks on a microprocessor with a real-time operating system that uses multiprogramming to multiplex the execution of the different tasks. The model is simulated in MatLab/Simulink environment.

Introduction

The knowledge domains of computer networks and traditional control systems are united by the study of networked control systems. A networked control system (NCS) is a feedback control system where the feedback loops are closed by means of an electronic network [1]. Figure 1 illustrates a typical networked control system.

Reduced cost, wiring, and system maintenance are the principal benefits of an NCS. Networked Control Systems are not subject to the same design assumptions as non-networked continuous and discrete-time systems, including fixed transmission period, fixed or no delay, and no data loss. The design of the control system and the design of the network are insepara-

ble, and therefore should be analyzed and simulated together [3]. Co-simulation is the act of simulating the continuous and discrete dynamics of the control system simultaneously with the discrete events of the computer network. Co-simulation results can be used to improve and educate the decision-making process of system design for both the control system and the computer network. Using local area network-based control architecture has many advantages than a traditional point-to-point design including low cost of installation, ease of maintenance, greater flexibility. For these reasons, the network-based control architecture is already used in

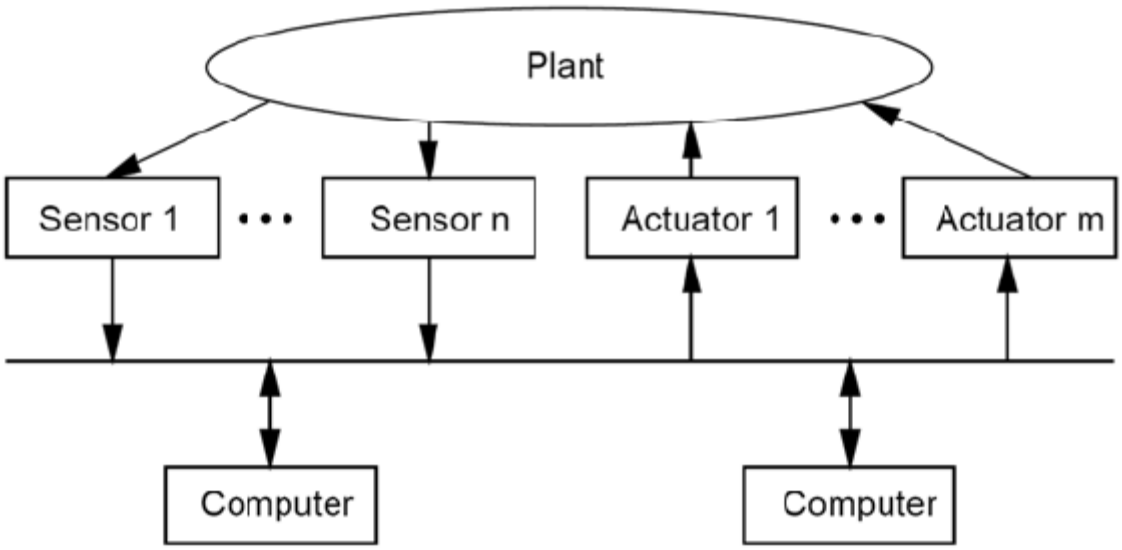


Fig. 1. Networked Control System.

many applications, for example in automobiles and aircraft.

II. NCS issues

In order to be applied to NCS, conventional control theories with assumptions like equal distance sampling, synchronized control, and non-delayed sensing and actuating, must be reevaluated [5]. The insertion of the communication network in the feedback control loop makes the analysis and design of the NCS more difficult. The following issues are of concern:

· The first issue is the NCS with time-varying transmission period. Because of the nondeterministic factors during a transmission process, equal distance sampling cannot be guaranteed. This results in a time-varying system model, which makes stability analyses difficult.

· Another issue is network scheduling when a set of plants are connected to the network. Concurrent transmission will occur and someone has to back off, resulting in transmissions of real-time data being delayed or missing their deadlines. Control scheduling algorithms will try to minimize these effects.

· Network-induced delay (sensor to controller delay and controller to actuator delay) is also an important issue. This delay occurs when exchanging data among devices connected to the shared medium. Constant or time-varying, it can degrade the performance of control system designed without considering it and can even destabilize the system.

· One more issue is that networks can be considered and viewed as a web of unreliable transmission path and some packets not only suffer transmission delay, but can be lost during transmission. This, how such packet dropouts affect the performance of an NCS must be considered.

III. NCS model

The true effects of timing non determinism [6], on control performance are, however, often very hard to investigate analytically. A natural approach is then to instead use simulation. The Simulink model presented contains the system under control (the plant) and four computer nodes connected by the network block (fig.2). The time driven sensor node contains a periodic task, which periodically samples the process and transmits the sample package to the controller node. The controller node contains an event driven task that is triggered each time a sample arrives over the network from the sensor node. Upon receiving a sample, the controller computes a control signal, which is then sent to the event driven actuator node, where it is actuated. The model also contains an interference node with a periodic task generating random interfering traffic over the network.

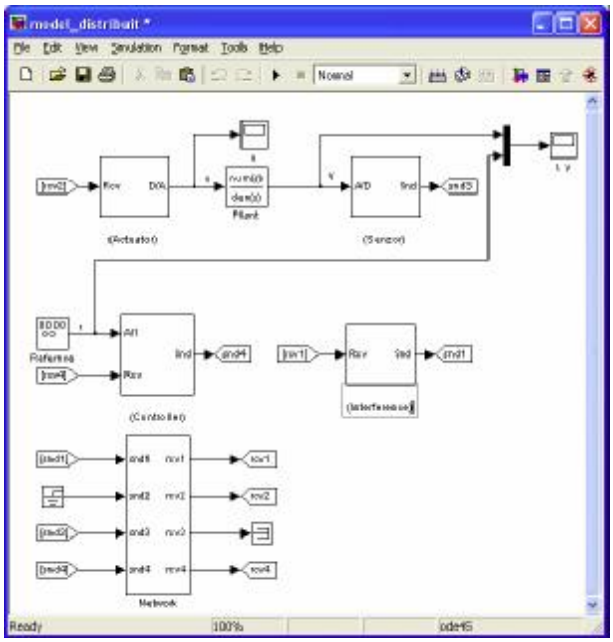


Fig. 2. Simulink model of NCS.

The simulation of the distributed control system will consider the effects of scheduling in the CPUs and simultaneous transmission of messages over the network. The four computer nodes are computer kernel blocks of the TrueTime Simulator, and simulate computers with real-time kernel, A/D and D/A converters, a network interface, and external interrupt channels. The kernel block executes user defined tasks and interrupts handlers representing, e.g., I/O tasks, control algorithms, and network interfaces. Tasks are used to simulate both periodic activities, such as controller and I/O tasks, and aperiodic activities, such as communication tasks and event driven controllers. Aperiodic tasks are executed by the creation of task instances (jobs). All pending jobs are inserted in a job queue which is sorted by release time. For periodic task, an internal timer is set up to periodically create jobs for the task. The network block is event driven and executes when messages enter or leave the network. When a node tries to transmit a message, a triggering signal is sent to the network block on the corresponding input channel. When the simulated transmission of the message is finished, the network block sends a new triggering signal on the out port channel corresponding to the receiving node. The network block simulates medium access and packet transmission in a local area network.

IV. NCS Simulation

Before a simulation can be run, it is necessary to initialize kernel blocks and the network block, and also to create tasks, interrupt handlers, timers, events, monitors, etc, for the simulation. The initialization code as well as the code that is executed during simulation may be written either as C++ code or as MATLAB m files.

The initialization script of the controller node is given in the following listing:

```
function init_controller
% NCS: controller node
% Receives messages from the sensor node, computes control signal and sends it to the
% actuator node. Contains also a high-priority disturbing task.
```

```
% Initialize TrueTime kernel
ttInitKernel(1, 0, 'prioFP'); % nbrOfInputs, nbrOfOutputs, fixed priority
% Controller parameters
h = 0.005; N = 10; Td = 0.03; K = 2.5;
% Task data (local memory)
data.u = 0.0;
data.K = K;
data.ad = Td/(N*h+Td);
data.bd = N*K*Td/(N*h+Td);
data.Dold = 0.0;
data.yold = 0.0;
% Controller task
deadline = h;
prio = 2;
ttCreateTask('pid_task', deadline, prio, 'code_ctrl', data);
% Disturbance task
offset = 0.0001;
period = 0.003;
prio = 1;
ttCreatePeriodicTask('dist',offset,period,prio,'disturbance')
% Initialize network
ttCreateInterruptHandler('handler', 1, 'mesRecControl');
ttInitNetwork(n, 'handler'); % node #n in the network
```

V. NCS obtained graphs

Several different output graphs are generated by the TrueTime blocks. Each kernel block will produce two graphs, a computer schedule and a monitor graph, and the network block will produce a network schedule. The computer schedule will display the execution trace of each task and interrupt handler during the course of the simulation.

In the following simulations, a CAN type network will be assumed, where transmission of simultaneous messages is decided based on package priorities. The controller node contains a PID controller task designed for a 5 ms sampling interval. The sampling interval is enforced by the time driven task in the sensor node sending samples periodically to the controller node.

First, the ideal case is simulated when no disturbing traffic and no interference task in the controller node are present. The performance of the NCS is shown in Figure 3.

The graph of Network Schedule is shown in Figure 4. The transmitting nodes in the network are the sensor node (green) and the controller node (magenta).

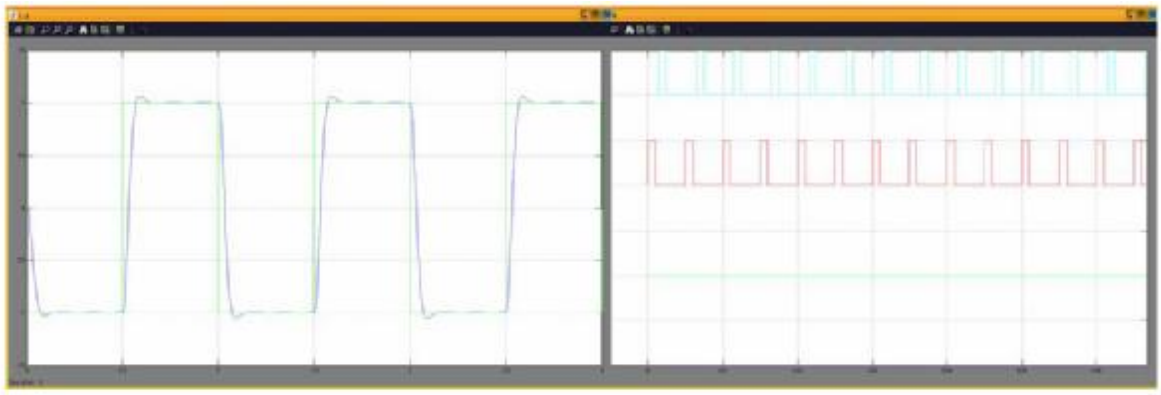


Fig. 3. Reference signal (green) and plant output (blue) in simulation with ideal conditions.

Fig.4. Network Schedule – ideal case.

Second, real case is simulated when a disturbing node is present in the network and also an interfering task in the controller node; these non-ideal conditions will affect the control performance, as seen in Figure 5.

The new graph of Network Schedule will present this time the transmitting interference node (blue), Figure 6.

Fig. 5. Affected performance of the NCS (plant output – blue, reference -green).

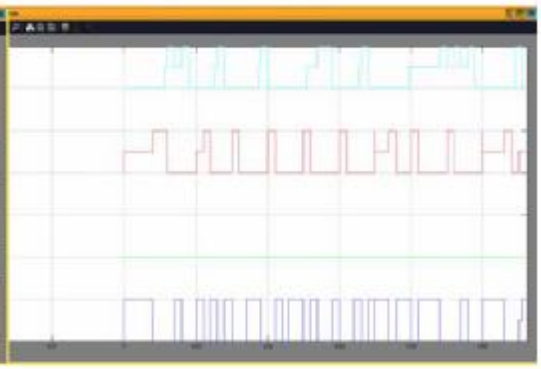


Fig. 6. Network Schedule: sensor node (green), controller node (red), interference node (blue).

Experimenting with different networks protocols and different scheduling policies in the controller node, better results can be achieved [4]. Changing also the sampling interval can demonstrate bounds in the stability of the system.

References: 1. Mo-Yuen Chow and Y. Tipsuwan, "Network-Based Control Systems: A Tutorial," presented at The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON' 01, Denver, CO, 2001 **2.** Y. Halevi, and A. Ray, "Integrated communication and control systems: Part I - Analysis," Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, vol. 110, pp.367-373, 1988 **3.** Yodyium Tipsuwan, Mo-Yuen Chow, "Control methodologies in networked control systems", Control Engineering Practice 11 (2003) 1099–1111, Raleigh, USA **4.** Paul Otanez, "Performance Optimization in Networked Control System", IEEE Control Systems, february 2001 **5.** K.J. Astrom, B. Wittenmark, Computer-Controlled Systems: Theory and Design, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 1997, Third Edition **6.** J. Nilsson, Real-Time Control Systems with Delays, Ph.D. thesis, Lund Institute of Technology, Dept. of Automatic Control, February 2000.

SCHEDULING EFFECTS ON EMBEDDED CONTROL SYSTEMS

Giurgiu L., Demeter Ş., (*A.F.T. Sibiu, Romania*)

This paper demonstrates the effect of the scheduling policy on the global control performance in the case of three tasks running concurrently on the same CPU and controlling three different dynamic systems. The simulation is realised in the TrueTime MatLab toolbox environment. The advances obtained in micro-electronics have led to the situation where almost all control algorithms are realized by computers. More than that, the controllers are often implemented as one or several tasks on a microprocessor with a real time operating system. The operating system uses multiprogramming to multiplex the execution of the various tasks. This

is why embedded control systems are most often subject to limited computer resources that can be viewed as shared resources for witch the tasks compete. Tasks interfere with each other through preemption and blocking when waiting for common resources.

I. Computer based control implementation

The basic structure of a computer based control system is shown in Figure 1.

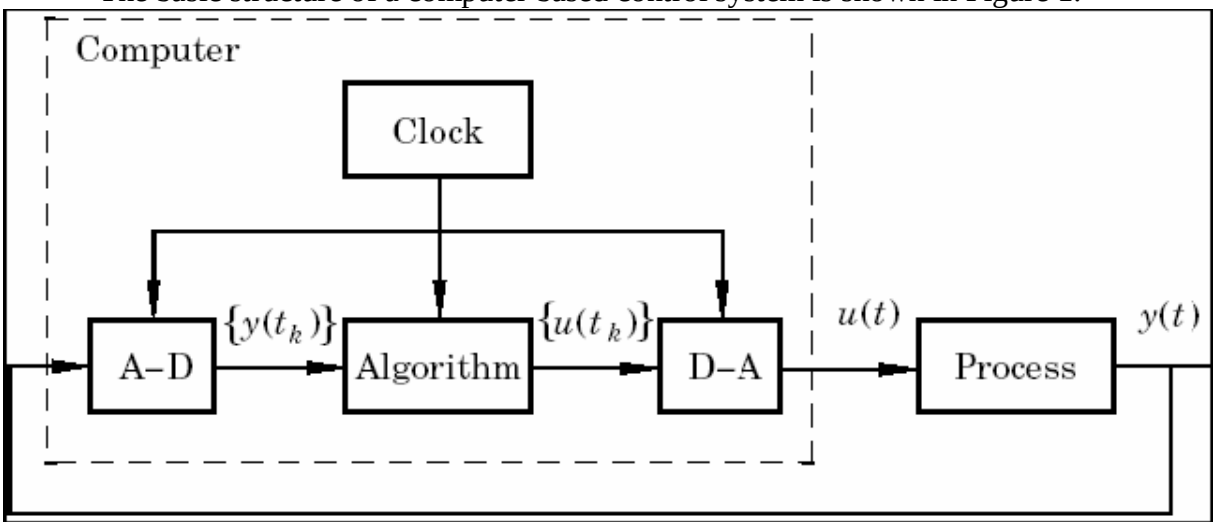


Fig.1. Diagram of a computer controlledsystem.

The continuous process output is sampled at regular time intervals and converted to digital form by an A/D converter. The control algorithm reads the sampled process output and computes a control signal that is converted back to analog form by a D/A converter. The D/A conversion is usually performed by keeping the output constant between conversions, so called zero order hold. A periodic control loop is implemented by the pseudo code in Listing1. The reading of inputs and writing of output signals correspond to direct calls to external A/D and D/A conversion interfaces. It is also possible to have the sampling and actuation being performed by dedicated tasks, when buffers are used to communicate the values between the tasks. In the case of a networked control system the reading and writing of signals also involve communication with other nodes in the network.

In order to minimize the input output delay, the control algorithm is divided into two parts, where the first part computes the control signal based on current measurements and previous states, and the second part then updates the internal states of the controller for the next sample.

Listing 1

```
t = currentTime();
LOOP
        Read Inputs;
        Control Calculation;
        Write Outputs;
        Update Internal States;
        t = t + h;
        waitUntil(t)
END
```

II. Real-time scheduling

Real time scheduling theory is concerned with the problem of, given a set of tasks, finding an execution order that guarantees that all tasks meet their timing constraints. Real time scheduling algorithms fall in two basic categories: static and dynamic scheduling.

Static scheduling is an offline approach, where an optimized execution order is determined once and for all before the system is commissioned. This execution order is then repeated cyclically at runtime.

In dynamic scheduling schemes, the decision of which task to run is taken at runtime. The schedulability theory is based on a task model where all tasks are periodic and where each task, *i*, is characterized by the following parameters: a fixed period, *Ti*, a hard deadline, *Di*, and a fixed and known worst case execution time (WCET), *Ci*.

Preemptive fixed priority scheduling is the mechanism supported by all major commercial real time operating systems. Using this approach, each task is assigned a fixed priority value. During runtime, the ready task with the highest priority gets access to the CPU. If a task with a lower priority is currently running, this task is preempted by the higher priority task.

For control tasks it is natural to assume that the relative deadlines, *Di*, of the tasks are equal to their periods, *Ti*. In this case the most common priority assignment is the rate monotonic assignment, where the priorities are set according to the periods of the tasks: the shorter the period, the higher the priority.

Assuming a set of *n* tasks, a sufficient condition for schedulability using the rate monotonic priority assignment is that the utilization factor *U* satisfies the condition:

$$U \quad \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} \leq n(2^{\frac{1}{n}} \quad 1) \tag{1}$$

In the more general case where $Di < Ti$, deadline monotonic priority assignment is optimal [Liu and Layland, 1973]. Here the priorities are assigned according to the relative deadlines of the tasks.

For any fixed priority scheduling assignment, an exact schedulability analysis may be performed by computing the worst case response times, *Ri*, for each task, see [Joseph and Pandya, 1986]. Using fixed priority assignment the priorities of the tasks are static and not changed during runtime.

An alternative approach is earliest dead line first (EDF) scheduling which exploits dynamic priority assignment based on the absolute deadlines of the tasks. At any point in time, the task with the shortest remaining time to its deadline will get access to the CPU. EDF is more resource effective than rate monotonic scheduling and a necessary and sufficient condition for schedulability (given $Di = Ti$) is that the utilization factor is below one:

$$U = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{T_i} < 1 \tag{2}$$

A benefit of dead line based scheduling over priority based scheduling is that it is more intuitive to assign deadlines to tasks than to assign priorities. Global information about the relative importance of all tasks in the system is needed in order to assign priorities, which is not required to assign deadlines. The main drawback with EDF is that it offers no guarantees at all during overload. In that case all tasks will miss their deadline, which is known as the domino effect [Stankovic et al., 1998]. For hard real time systems this may be fatal. However, the result during overload under EDF is that the effective periods of the tasks will be scaled in such a way that the utilization of the system is still 100 per cent [Cervin et al., 2002].

Under reasonable overload, this fair distribution of resources will, for most control systems, still give reasonable performance for all loops.

III. True time simulation tool

There are numerous tools that support simulation of control systems or simulation of real time scheduling, but very few tools support co-simulation of control systems and real time scheduling. The True Time simulator is a complete co simulation tool based on MAT-LAB/ Simulink and in its current version it supports task scheduling by arbitrary scheduling policies, network simulation by standard MAC layer protocols, and a variety of real time primitives used for experimentation with flexible scheduling and compensation schemes.
The case under study takes three PID tasks running concurrently on the same CPU, control-ling three different systems. The TrueTime blocks are connected with ordinary Simulink blocks to form a real time control system, see Figure 2.

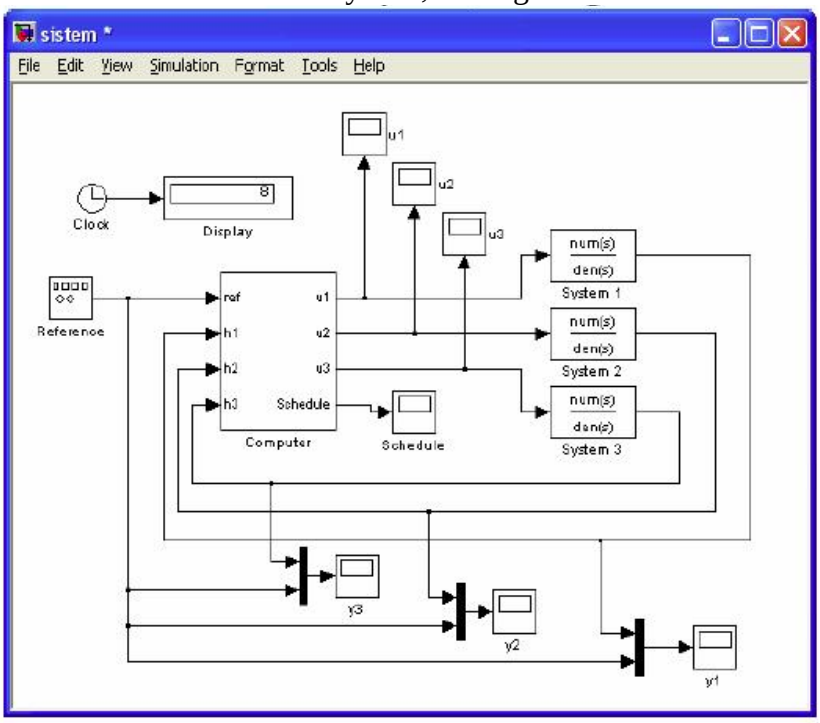


Fig. 2 The control system

The three systems are controlled by controller tasks implemented in a TrueTime kernel block. Before a simulation can be run, it is necessary to initialize kernel blocks and to create tasks for the simulation. The execution of tasks is defined by code functions. A code function is further divided into code segments according to the execution model. All execution of user code is done in the beginning of each code segment. The execution time of each segment should be returned by the code function.

The kernel is initialized by the initialization script, providing the number of inputs and outputs, the scheduling policy and creating periodic tasks that uses defined code functions. In the initialization script the rate-monotonic scheduling is specified by the function ttinitkerenel and the task are created with ttCreatePeriodicTask function who specifies the name of the as-sociated code function. The code function is given in Listing 2.

Listing 2

```
function [exectime, data] = code_f(seg, data)
switch seg,
case 1, r = ttAnalogIn(data.rChan); % read reference
```

```
y= ttAnalogIn(data.yChan); % read process output
data = calc(data, r, y); % calculate PID action
exectime = 0.002;
case 2, ttAnalogOut(data.uChan, data.u); % output control signal
exectime = -1;
end
```

Running the simulation of the control system, seven graphics are obtained: three graphics for the control signals, three graphics for the reference and outputs signals and the schedule graphic of the tasks during the simulation. Studying the computer schedule and the control performance it is noticed that task1 will miss all its deadlines (see figure 3) and the corresponding control loop is unstable (see figure 4).

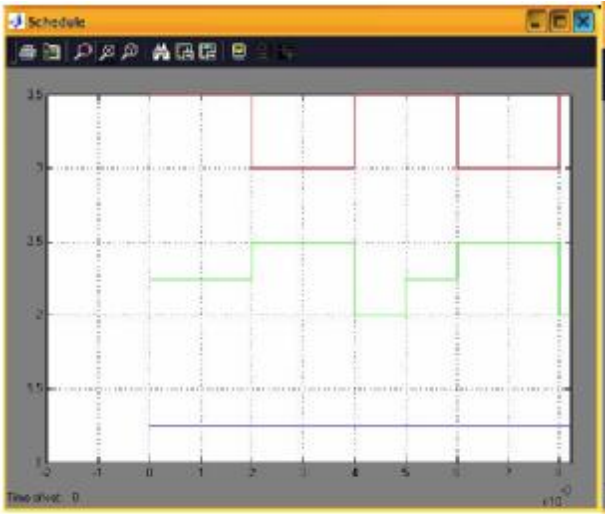


Fig. 3 Computer schedule (RM case): task1 (blue), task2 (green), task3 (red)

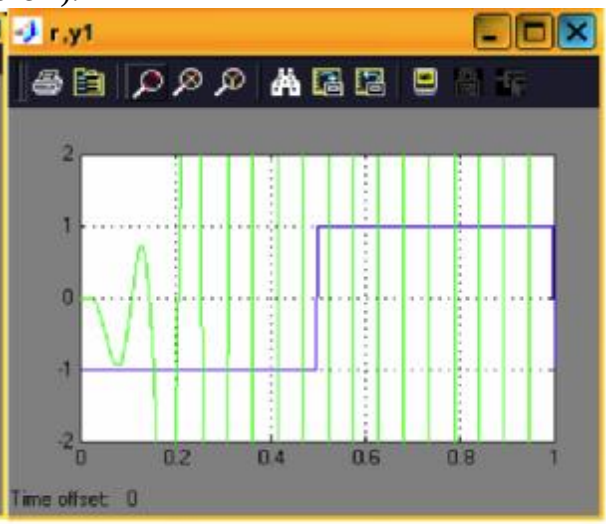


Fig. 4 Control loop associated with task1 (reference blue, output signal green)

By changing the scheduling policy to earli est-deadline-first and running a new simulation it is noticed that after an initial transient all task will miss their deadlines (see figure 5), but still the overall control performance is satisfactory (see figure 6).

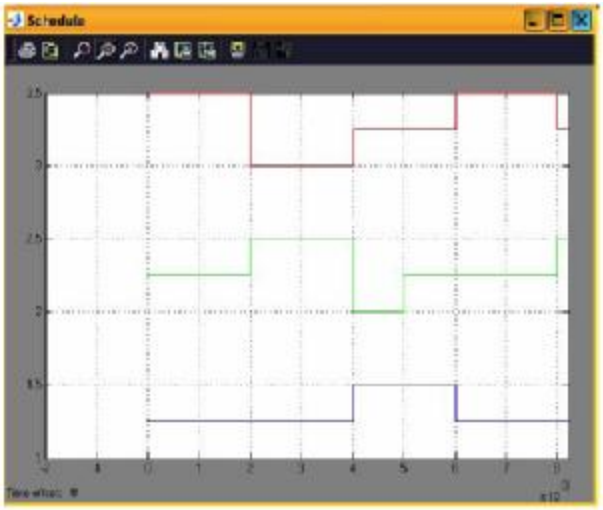


Fig. 5 Computer schedule (EDF case): task1 (blue), task2 (green), task3 (red)

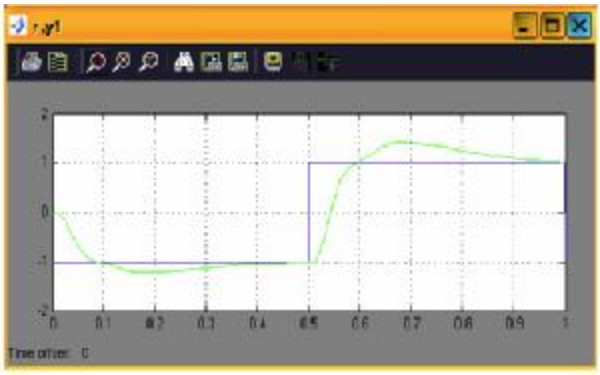


Fig. 6 Stable control loop associated with task1

IV. Conclusions: A priority based approach will favor high priority tasks over low priority tasks, with the possible consequence that low priority tasks may not execute at all, being starved. Using dead line based scheduling, the available CPU time will be distributed among the tasks in a more fair way and better results concerning the stability of the control loops will be obtained. Depending on the application this may or may not be a desired feature. The major drawback with dead line based scheduling is the lack of commercial products supporting it.

References: 1. Åström, B. Wittenmark, "Computer Controlled Systems", Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 1997 **2.** Årzén, K.-E., "Real-Time Control Systems", Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 2001.

ON-LINE QUALITY SUPERVISION OF ROTOR YARNS - A MECHATRONICAL DEVICE

Hanganu L. C. *(U.T."Gh. Asachi"Iaşi, Romania)*

By means of a systematic control of quality in spinning mills successful results could be achieved. Trials carried out on a worldwide scale for the purpose of setting out the different statistics have shown that mass variations in combed cotton yarn have decreased by approximately 20%. Mass variations in rotor-spun cotton yarn decreased by approximately the same amount. Spinning mill personnel working closely together with machinery manufacturers have been able during the last 20 years not only to increase spinning speed but also to improve the evenness of OE-rotor yarns.

During the early years of rotor spinning, electronic supervision of yarn production was not considered necessary. With increasing speeds of production, however, a supervisory system became more and more justifiable. Since 1985, therefore, the number of rotor spinning positions equipped with supervisory units increased considerably.

Accordingly, disturbing yarn faults could be eliminated during the spinning process. But this was not enough if one required to ensure that the quality of the spun yarn remained constant over many hours of production. The extraction of disturbing yarn faults is nothing more than the repairing of the product during manufacture at a machine which is not operating correctly.

OE-rotor yarns are used nowadays for purposes which were previously the domain of ring-spun yarns. This progress in rotor spinning has been possible as a result of a continuous improvement of the yarn quality characteristics. In order that these yarn quality characteristics wiLl be able to be kept at a constant high level, some form of active control system with alarm incorporated in the machine structure is necessary. Such a system can then indicate whether there has been any significant change of the mass variations, the frequency of thin places, thick places and neps, or any other quality parameter. References to significant changes in these quality characteristics, and indication by means of an active control system, will immediately result in corrective measures being undertaken at the responsible "rogue" rotor position.

For this purpose, the active control system has been developed , which is in a position to collect "on-line quality data" and to evaluate this data with reference to all the spinning positions of the rotor spinning machine. The purpose of this paper is to summarize the practical applications of this kind of systems in spinning mills operating with the rotor yarn supervisory installation equipped with mechatronics supervisors as mean active control device systems.

The active control system is an early warning system which provides immediate recognition of a rotor spinning position tending to produce quality-inferior material. Recognition can result in an alarm being actuated or the feed to the rotor position being stopped.

The system is a mechatronics device which can be applied to all types of rotor yam supervisory installations for the purpose of providing an "on-line" quality control system.

Until now, the control of each spinning position at the rotor spinning machine was the responsibility of the mill laboratory. In this respect, samples were periodically taken and tested in the laboratory. In each case according to the sampling frequency, a spinning position would only be checked 2 to 6 times per year.

As with all sampling systems, this method has the disadvantage of determining much too late those rotor spinning positions with out-of-tolerance conditions. With this cactive control system, the quality characteristics of every spinning position of a machine are checked within one day, and any "outsider" units immediately recognized. With rotor positions where "exception" conditions are determined, detailed tests can be carried out in the mill laboratory on the yarn being produced at these units or on the sliver feed to these units, and the cause of the downgrade material determined. The application of the active control system enables optimum spinning conditions to be achieved due to the fact that wear on the spinning elements can be controlled. Worn parts need only be exchanged when conditions, as indicated by the system, require it.

This paper refers to certain examples of the mill application of this system for the rotor yarn supervisory installation, and to certain special features which are incorporated into its design:

- The sensor for the actuve control system is the well-proved capacitive measuring unit. It is neither effected by dirt and dust, nor is it sensitive to colour variations in the yarn. It does not require an expensive measuring slot supervisory system or compressed air measuring slot clearing system.
- Faults in the feed sliver are detected as long thick or thin place faults in the spun yarn.
- Moire faults in the yarn resulting normally from dirt or dust in the rotor groove become "disturbing" with time. The alarm system can be set to the required sensitivity limits and will be activited as soon as these limits are exceeded.
- The fact that one can also set a lower limit forthe CV%-evenness alarm is particularly advantageous when a wrong spinning element has been fitted.
- With OFF-LINE testing in the laboratory, the spectrogram is of undisputed value for quality assessments. With ON-LINE quality supervision, it is of equal importance.

The application of a quality supervisory installation at rotor spinning is to ensure efficient operating conditions at all stages of subsequent processing, and an acceptable appearance of the woven or knitted fabric.

The active control system can provide a print-out of the more important quality characteristics of the yarn being spun at any particular rotor position. The evaluation cycle can be made continuous, i. e., a standard evaluation time for each spinning position, whereby an automatic switching from rotor to rotor takes place, or can be scheduled, e. g., once per week.

The quality characteristics determined are:

- yarn evenness (CV%)
- imperfection frequency (THIN PLACES, THICK PLACES and NEPS per 1000 m yarn)
- frequency distribution diagram of mass (histogram)
- spectrogram
- yarn fault classification.

The most important characteristics which should be measured on a day-to-day basis are the coefficient of variation (CV) of yarn evenness and the imperfection frequency.

Entering of all time schedules, sensitivity levels and the textile units, e. g., Nm, Ne_c, tex, is made via the keyboard of the central unit of each spinning machine, or centrally for all machines at the REMOTE-CONTROL. Print-out of data is available at each central unit or centrally at the mean display of the system.

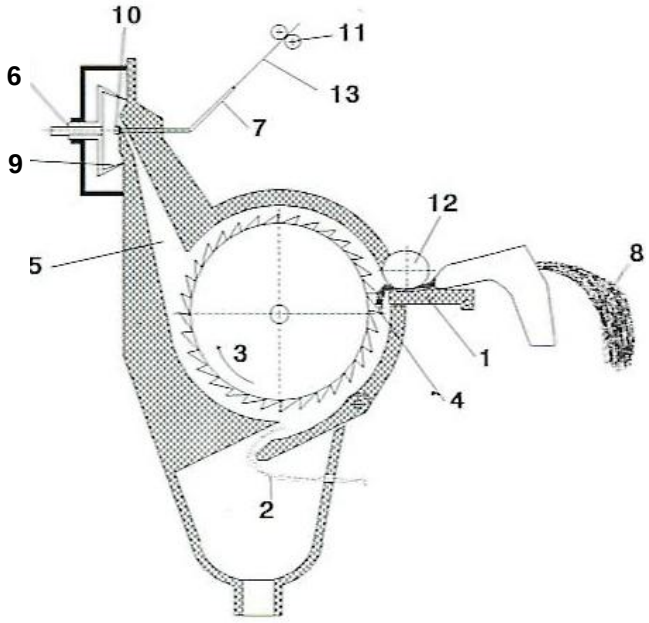
Yarn taken from the "rogue" rotors can be examined with the help of the mill laboratory, and the reason for the high CV value determined. Reasons for a high CV value could be:

- the evenness of the feed sliver,
- the rotor and rotor bearings,
- the opening roller,
- the doffing tube navel,
- the drawing-off rollers, etc.

Let's now see the elements of rotor spinning which can have a negative influence on yarn quality, and particularly on the evenness value.

The sketch – figure 1, shows a section view of a rotor spinning unit. Experience of mill conditions indicates that various elements of rotor spinning can influence the yarn evenness, and this with respect to the evenness value CV and the spectrogram. It has been determined that the CV evenness value is influenced by:

- the running path of the yarn through the various spinning elements,
- dirt and dust in the rotor groove,
- uneven feed sliver material,
- damaged or worn doffing tube navel,
- damaged or worn drawing-off rollers,
- damaged or worn opening roller.



1 - Presser and feed plate; 2 - Trash duct; 3 - Opening roller; 4 - Opening roller clothing; 5 - Fibre feed or transfer tube (air stream); 6 – Rotor bearing;7 - Doffing tube; 8 - Feed sliver; 9 - Fibre collection surface; 10 - Doffing tube navel; 11 - Drawing-off rollers; 12 - Feed roller; 13 - Yarn

Fig. 1 Section view of the elements of a rotor spinning unit

Furthermore, it has been determined that periodic variations as shown by the spectrogram are due to:

- dirt or dust in the rotor groove,
- damaged or worn opening roller,
- the drive of the feed elements,
- he presser and feed plate alignment,
- uneven feed sliver material.

The data is displayed and edited as requested by the user - figure 2. Thus, the three main components of the monitoring system can be summarized as follows: the sensors, the transmission network and the processing software.

Before following the monitoring system investigation, information required to control production has to be listed. Based on a rotor yarn machine, the required information can be split into three sets as follows: data pertaining to the rotor yarn machine, data pertaining to the spinning position, and data pertaining to the yarn being spun.

Frame data. The machine is running or is stopped. In the case of shutdown or downtime, the case has to be identified (breakdown, stop for maintenance etc.).

Spinning position data. The data entities pertaining to the spinning position are many and their acquisition is more difficult. Here are a few examples: rotation speed of rotor, delivery speed, spindle is running/stopped, yarn presence detection, sliver presence detection etc.

Yarn data. Data entities pertaining to the yarn include: produced yarn length and package weight, quality of produced yarns, number of defects etc.

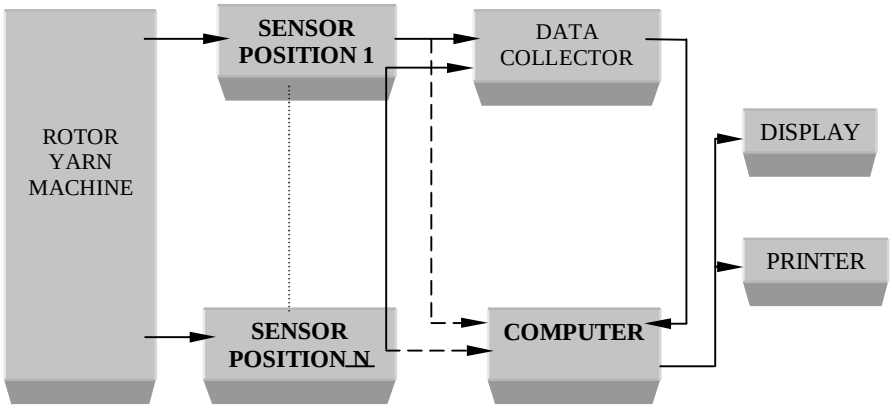


Fig. 2 General schema of an active control system for rotor yarn machine

The data acquisition from different position has a high efficiency if there are implemented the next two solutions:

- § data digital transfer from each position characterized by a specific address;
- § an analogic transmission for all signals.

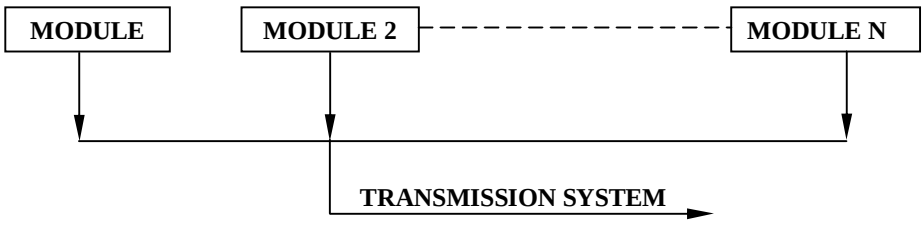


Fig. 3 The link connection for the active control system

The data acquisition system must be designed to receive all the information from sensors and converts it in a digital signal that is sent to the central computer.

In the same time, it is necessary to supervise a determination line for transmission priority. The link connection for this working module is shown in figure 3. The central computer receives all the information sent by the modules according with a communication protocol that indicates also the transmitter address.

References: **1.** Hanganu, L., C., Mecatronica utilajului textil – fundamente teoretice, Editura Tehnopress, Iaşi, 2005. **2.** Hanganu,L.,C., Bodi, Gh., Ianuş, G., Tudose Sandu-Ville, Fl., Aplicații mecatronice în industria textilă, Editura Tehnopress, Iaşi, 2005. **3.** Hanganu, L., C., Sisteme de control activ a subansamblelor specifice masinilor textile si implementarea acestora la masinile pentru filatura, Grant CNCSIS, Cod 518, Tema 41, 2006. **4.** Ianuş G., Olaru D., Hanganu, L., C., Fiabilitatea sistemelor de control activ la maşinile textile considerând fenomenele de macro, micro şi nanotribologie, Grant CNCSIS, Cod 490, 2006.

SPECIFIC ASPECTS ON MOBILE MECHATRONICS INTELLIGENT SYSTEMS WITH ECOLOGICAL IMPACT FOR TEXTILE EQUIPMENTS

Hanganu L. C. *(U.T."Gh. Asachi"Iaşi, Romania)*

The aim of this paper is to present some specific aspects concerning complex and intelligent mobile mechatronics systems which are able to communicate in different network topologies and to offer solutions concerning the environmental impact of the textiles technologies and their equipments. In this way applied researches are involved to enlarge the knowledge concerning nanosciences and integrated nanotechnologies for developing new intelligent systems for textile industry able to create significant improvements of textile production processes, with an important and direct impact on the working conditions which must be assured to the humans, regarding to increase their status of life.

The opportunity and actuality of this research field is sustained not only by the latest scientific papers published in the most important journals from Japan, Germany, UK, USA, but also by the importance of producing intelligent systems included in a new generation products based on new knowledge and creativity, which represents a main research direction recommended by the EU programs.

The theoretical and applied researches have the main focus to realize some important objectives such as:

- Design of new specific products and technologies;
- Testing of mechatronics systems performances;
- Products transfer as prototypes to beneficiary companies;
- Framing of technical solutions in specified standards by the protocols implicated in machine to machine technologies (M2M – Machine to Machine);

The research results will add value through:

- the achievement of new mobile mechatronics systems as intelligent systems and new integrated standard components for monitoring the specific textile processes and their equipments witch are considered transfer elements able to monitoring status and environmental pa-

rameters (temperature, humidity, carbon-monoxide, methane, etc.) witch are basic of M2M applications;

- the achievement of complementary structures for textile equipments able to realize an on-line and in-field control with the possibility of just-in-time adjustments for the manufacturing parameters and for the environmental convenience;

The mechatronics systems have a main impact in modern technologies of textile machine design, not only in textile equipment mentenance, but also in technological processes management specific for this industry. The textile machines with the most spreading in the whole industrial world represent complex structures in which are integrated clasical technologies such as mechanics, electrotechnics, materials science, textile technologies a.s.o. This univers is continue modified by the new interconections with computers, communications, senzors and actuators. The ensemble of these elements represents the main structure of mechatronics systems which are able to create new generations of textile equipments. Their working status is based, in the most significants part, on integrated computers with complex softwares which create the implementation of new functions for a large area of technological processes, achievment of low power cunsumtion, communication in different network topologies and a low impact of the environment. This type of machines is able to ajusted like classical computers in order to execute more opperations which are impossibile to be realised with classical structures. The main part of textile equipment producers has important reseach programs in order to realise new machines based on mechatronics structures. The most modern computers for control perocesses integrate in an only one circuit all the hardware components able to offer flash memory for complex software implementation too. With a low power consumption and a high reliability, these structures can be introduced in different types of equipments (embbeded) and in different types of networks with a great posibility for a large instalation expansion. The senzors and actuators domain has incresed too and has created a very large types of such devices which are alble to be integrated in textile mechatronics equipments. The IT univers has its main foccus to enlarge the microcomputers range able to opperate in hostile medium, to realize wireless communications, to achieve experience and to have small dimensions and low power consumptions. These microcomputers are able to communicate in standard networks too. In this way is generated M2M univers which creates the posibilities to supervize from a very log distance complex textile equipments with spacial tunning of technological parameters using Internet network elements. The calsical textile technologies have high power consumption, normaly for the midle of ´70s. In this way the power consumption for textile equipments is to high and has a significant negative impact on the environment. The new processes based on alternative energies permit a high economical efficiency, echological facilities and a great equipment mobility. The cost structures for textile products include an important component dued to the energetics costs. In this way the products could win the market if only the solutions are based on reduced power consumption and on the development of new processes supplied with nonconventional power (solar power, wind power). In today moderm world there is a lot of research work in this kind of energies, in order to be accumulated and to be developed in multinational energy power producers networks. Known as green-power-plants (solar power plants, wind-power plants). Based strictly on this world research areas the textile equipments producers have significant developing programs in order to obtain a new machines generation able to create low power consumption.

The textile equipments from the XXIst century are real complex systems based mainly on programmable mechatronics solutions which support software functions able to help a very large range of executions operations with superior conditions for cost/performance. In this

way there are a lot of examples for textile equipments realized by very known producers like Rieter, Trutzschler, Hollingsworth, Zinser, Uster, Murata, Toyota, Stoll, Shima Seiki, Brother, Jakob Mulller, Textile Machinery Division from Nissan Motor Co. The world globalization actions accelerate the trend of processes and equipments of standardization which create the possibility to develop applications in which are included subsystems located in different parts of the world such as with the complex communication structure could be realized different final products. In this way Nokia Company proposes to be realized a new structure M2M in order to be used in industrial machines interaction with the of GSM network. The great processors producers such as Intel, Motorola, Siemens, Microchip, realize devices as embedded computer to be used in industrial control applications. The new generation of sensors and actuators for industrial equipments represents the main activity of the German companies involved in high-tech domain.

In Romania there were not created yet mobile mechatronics intelligent systems with ecological impact for textile equipments which have in their structure integrated components for microcomputers and which are able to supervise the technological and environmental parameters. Therefore this research represents a new and original research area. On the international level there are well known the solutions realized by great companies of textile equipments based on recent researches developed inside the R&D universities and companies departments such as: Massachussets Institute of Technology, Loughborough University of Technology, Textile Institute of Manchester, Universiteit Gent, Technical University of Liberec, University of Hull, Georgia Institute of Technology, Tohoku University, North Carolina State University, Clemson University, The University of Birmingham, Institute of Robotics and Mechatronics Zurich, Ecole Nationale Superieure des Industries Textiles de Mulhouse, University of Florida, Dundee University, Universitatea tehnică RWTH Aachen, University Izmir, Academia de textile Ivanovo, University of Minho.

Potential users of mobile mechatronics intelligent systems with ecological impact for textile equipments will be:

- companies for textile industry which produce textile bands for special force applications and passementerie products;
- textile equipments producers from machine construction industry used for textile bands production;
- companies from electronic industry able to produce integrated electronics systems;
- companies interested on non conventional power supply;
- departments of textiles, computers, communications, electronics from universities;
- small and medium companies interested on ecological technologies.

The multidisciplinary character of the current research is sustained by multiple users. New production and market segments will appear in accord with the results of this project, where producers and potential beneficiaries will meet all together.

The researches developed in order to obtain new textile products used in critical applications for automotive safety bands, safety work equipments, mountaineering, specific apparatus of mobile ambulance station, military equipments a. s. o. had have realized that these bands could be obtained from textile fabrics. To obtain this kind of products it is necessary to use complex equipments able to realize significant different parameters than other parameters of common textile products in order to respect strictly the quality standards. In this way the project activities develop a new range of products consecrated with M2M. These are able to realize an extension of classical modulated GSM networks for data communications. Complex function of textile equipments realized in their most part with mechanical solutions could be redesigned for a total control by means of embedded computers. This solution offers the

possibility to develop equipments with: low power consumption, high degree of function universality, extension possibilities with complementary modules provided from multiple standard sources. The introduction of solar power supply systems creates the possibility to realize new technological processes with significant ecological efficiency and more less costs. The integration of sensors, actuators, signal processing units and GSM networks offer the possibility to realize complex operations, in industrial installation located on large geographical areas, and the human operators could be everywhere in the world, where exist an access to a GSM/network. This kind of systems had have presented by some companies, but a developing open standard for new applications was finalized in the last two years; the main promoters are the European companies agreed by Nokia Consortium (M2M-Machine to Machine). This project wants to include the solution implementation of the last sensors and computers generation able to support software. A general schema with the main functions modules of the proposal solution is presented in the next figure 1.

As it was mentioned above, the research intend to develop an equipment with embedded systems for the final processing of textile bands used in forced applications, as a system supllied with nonconventional solar power. The basic solution intend to realise:

- a high flexibility of all the equipment main functions including the communications functions in order to conrol the entire equipment with the help of GSM Network in the desin spirit of M2M products;
- the solution framing in the specific European research strategies included in TEXTILE & CLOTHING si ARTEMIS (Advanced Research and Technology for Embadded Intelligennce & Systems) platforms;
- the achievement of high quality parameters with significant impact on products competitivenes with low costs.

This system offers:

- the improvement of quality visual control;
- the achievment of significant power economy;
- avoiding the medium worming created by classical lights;

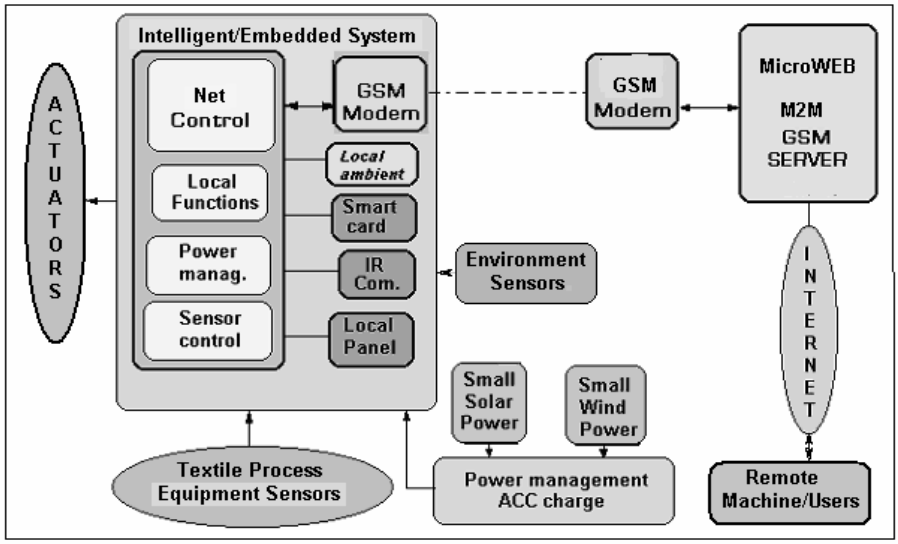


Fig. 1. General schema for a mobile mechatronics intelligent system with ecological impact for textile equipments.

The products and their technologies concerning ideas/conception/realization, have a high innovative and originality degree related to the connected national/European projects. The research and development studies will be realized at the frontier of the scientific and technical knowledge, combining the fields of IT, textiles and electrotechnics, contributing at the development of these prioritary domains of national economy. The originality degree of the proposed solutions results from the common exploitation of the effects of this type of mechatronics systems utilized for textile equipments.

Performance and quality parameter level of the proposed solutions distinguishes by: utilization of nanotechnologies and nanostructures in order to realize high-tech products able to monitorize the technological parameters of modern textile equipments - the essential condition for the product destination related to the European and international requirements, regulations and standards; application of some unpolluting high-technologies in the IT/textile/electrotechnic industries, at the sectorial and intrasectorial levels; the mobile mechatronics systems elaborated during the research will assure a better quality for the textile equipments in which are integrated due to the last generation of GSM network communications included in ensemble structures.

References: **1.** Hanganu, L., C., Mecatronica utilajului textil – fundamente teoretice, Editura Tehnopress, Iaşi, 2005. **2.** Hanganu,L.,C., Bodi, Gh., Ianuş, G., Tudose Sandu-Ville, Fl., Aplicaţii mecatronice în industria textilă, Editura Tehnopress, Iaşi, 2005. **3.** Hanganu, L., C., Sisteme de control activ a subansamblelor specifice masinilor textile si implementarea acestora la masinile pentru filatura, Grant CNCSIS, Cod 518, Tema 41, 2006. **4.** Ianuş G., Olaru D., Hanganu, L., C., Fiabilitatea sistemelor de control activ la maşinile textile considerând fenomenele de macro, micro şi nanotribologie, Grant CNCSIS, Cod 490, 2006.

ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Богуслаев А.В., Долматов А.И., Багмет М.Н., Мовшович А.Я.

Defects, which arise during forging, and kinds of a wear of dies are analyzed. The increase of a life of pressing rigging by detonation method is offered.

Введение.

Важной задачей, стоящей перед современным авиадвигателестроением, является повышение долговечности технологического оснащения и оборудования, поскольку их работоспособность определяет качество поверхностного слоя деталей авиационных двигателей и влияет на ресурс этих деталей.

Постановка задачи и цель исследования.

В настоящее время в двигателестроении одним из распространенных способов получения заготовок является литье и пластическое деформирование. Так, например, на двигателе ТВ3-117 литьем получают следующие детали (сопловой аппарат 4 ступени, корпус гидроцилиндра, нижняя часть блока корпусов откачивающих насосов, корпус привода регулятора оборотов свободной турбины (РОСТ), блок дренажных клапанов, корпус привода датчиков оборотов) и при этом в оснастке для литья во время работы возникает следующий брак, причины и методы устранения которого рассмотрены в работе [1].

Детали технологического оснащения (штампы, пуансоны, матрицы), а также детали оборудования (валы, коленвалы, шпиндели, оси, ролики) работают при значительных нагрузках и подвергаются различным видам износа и разрушения.

В настоящее время штампы восстанавливают механической обработкой или электродуговой наплавкой. Восстанавливать штампы механической обработкой можно 1-2 раза, стойкость штампов после восстановления ниже, чем новых при той же трудоемкости изготовления ручьев гравюры. Для восстановления штампов до исходной высоты наплавкой требуется наплавлять большой объем металла, поэтому этот процесс становится не экономичным. Процесс наплавки в основном применяют для легких ремонтных работ. Таким образом, проблема восстановления штампа является актуальной, а ее решение позволило бы значительно повысить эффективность работы кузнечно-штамповочного оборудования.

Нанесение детонационных покрытий позволит значительно повысить долговечность деталей технологического оснащения. Исследованию этого вопроса и посвящена данная статья.

Дефекты, возникающие при ковке.

Торцовые заусенцы возникают при небрежной рубке прибыльной и донной частей слитка или при горячей рубке заготовок на части. Оставшиеся торцовые заусенцы после рубки подлежат удалению, так как они при дальнейшей ковке вызывают образование зажимов (складок).

Зажимы возникают в случаях применения неправильных приемов протяжки и разгонки заготовки.

Вогнутые торцы (или голенище) возникают на концах поковки в результате активной протяжки заготовки с круглым поперечным сечением, недостаточного прогрева заготовки или малого веса падающих частей молота, а также недостаточной длины оттягиваемого конца.

Наружные трещины или рванины возникают вследствие ковки при низких температурах, быстрого охлаждения, недоброкачественного нагрева заготовки, вызывающего сильный перегрев или пережог поверхности, или при использовании сернистого топлива, недоброкачественности исходного слитка или заготовки. Наиболее подвержены поверхностным рванинам и трещинам при ковке инструментальная быстрорежущая сталь и легированная малопластичная сталь некоторых марок.

Трещины, замеченные в процессе ковки конструкционной стали, во избежание их увеличения в дальнейшем следует удалять в горячем (иногда в холодном) состоянии, даже с применением специального подогрева. В ряде случаев допускается в местах возможного образования трещин оставлять увеличенный припуск на обработку.

Внутренние разрывы (свищи расслоения) чаще всего возникают вследствие неправильного процесса ковки.

Свищи в центральной зоне сечения обычно имеют форму креста из-за разрыва по направлению диагоналей квадратного сечения при ковке с большими подачами.

Свищи некрестообразной формы могут появляться при обкатке круглой заготовки в плоских бойках.

Внутренние трещины, имеющие вид расслоений, наблюдаются при значительной осадке в плоских бойках, при больших размерах контактных поверхностей и малой высоте осаженной поковки.

Для выявления внутренних разрывов, свищей и расслоений наиболее эффективен метод ультразвуковой дефектоскопии [1].

Наклеп - состояние поверхностных слоев поковки в результате окончания ковки при низкой температуре. Наклеп, не устраненный термообработкой, может приводить к повышенному короблению и даже к поломкам при последующей обработке резанием.

Кривизна возникает при протяжке вследствие неравномерного охлаждения заготовки в процессе ковки и несоблюдения порядка кантовки, а также под действием собственного веса поковки при ковке длинных валов, при осадке вследствие неравномерного прогрева заготовки перед ковкой и чрезмерного отношения длины к диаметру или к меньшей стороне сечения.

Смещение осевой зоны слитка происходит от неравномерного прогрева, неравномерных обжатий во время кантовки вокруг продольной оси или от искривления его оси при осадке.

Основной признак недостаточной уковки - наличие в поковке крупной кристаллической литой структуры.

Вмятины - следы небрежной работы в виде ступенчатых переходов и вмятин от бойков, следы от вдавленной в тело поковки окалины.

Невыдержанные размеры - отклонения от заданных размеров и допусков, преувеличение или преуменьшение припусков и напусков, отклонения по длине, овальность, эксцентричность и перекос отверстий, завал радиусов отверстий, маломерностъ фланцев и выступов, отклонения угловых параметров.

Невыдержанные показатели механических свойств - отклонения от заданных ГОСТом и ТУ предела прочности, предела текучести, относительного удлинения или сжатия, ударной вязкости и твердости на образцах, отрезанных от поковок после того, как последние прошли термообработку.

Основные виды износа штампового инструмента.

Материал кузнечного штампа работает в условиях, которые складываются в результате взаимодействия многих факторов [2, 3]. Материал и температура исходной заготовки, технологическое оборудование, условия нагрева и охлаждения, темп штамповки, смазка являются одинаковыми для многих штампов в пределах одного цеха и даже сходных по условиям работы предприятий. В то же время геометрия поковки, ее масса, распределение деформаций по ручьям, конструкция ряда элементов гравюры и облойной щели, скорость скольжения материала поковки по поверхности гравюры, степень деформации, давление в полости штампа различаются для каждого конкретного процесса штамповки [1].

Удельная работа деформации, прямо пропорциональная действующим напряжениям и максимальной главной деформации, в большей мере определяет условия работы материала инструмента, а неравномерность распределения деформации и напряжений является основным фактором, определяющим стойкость штампов. Для изучения распределения степени деформации по объему деформируемой поковки применили метод объемной координатной сетки. В серийной заготовке в плоскости ее симметрии просверлили ряд отверстий; в отверстия по тугой посадке вставили стержни, изготовленные из той же стали, что и поковка, но предварительно хромированные. Отштампованную поковку обрабатывали на токарном станке. После каждой проточки на заданную глубину на поверхности поковки травлением выявляли в заданном сечении размеры деформированных координатных стержней. Полученные значения малых осей эллипса

корректировали, с тем, чтобы избежать искажений, связанных с наличием сдвиговой деформации.

Кривые распределения степени деформации по объему поковки за последний удар в чистовом ручье молотового штампа (рис. 1.10 [1]) свидетельствуют о крайне неравномерном распределении степени деформации в исследуемых поковках. Сравнение их с эпюрой износа штампа (рис. 1.11 [1]) показывает, что максимальное изменение размеров гравюры наблюдается на участках ее поверхности, где степень деформации максимальна. Этими участками являются бобышка и облойный мостик.

Таким образом, высокая неравномерность деформации снижает стойкость штампа.

Величина удельных усилий деформирования на поверхности штампа зависит от сопротивления деформированию штампуемого материала. Если при температуре начала штамповки (1150 °С) для большинства конструкционных сталей предел прочности колеблется в пределах 50-100 МПа, то к моменту конца деформации (около 800 °С) он повышается до 100-250 МПа. В полости штампа имеет место объемная схема напряженного состояния, что приводит к возрастанию сопротивления деформированию. Учитывая это обстоятельство, удельные усилия деформирования на поверхности гравюры могут повышаться до 250-450 МПа на облойном мостике и до 600-1100 МПа в полости штампа, а при деформировании легированных сталей даже выше.

Уменьшение размеров облойной щели (ее высоты) по сравнению с оптимальным значением приводит к существенному повышению удельного усилия деформирования и снижению стойкости штампов.

Необходимо учитывать также тепловой эффект повышенных скоростей деформации. Так, например, при осадке на 60% заготовки из малоуглеродистой стали с исходной температурой 1100 °С средняя ее температура повышается при деформации на молотах на 35-45 °С, на прессах - на 10-20 °С. В случае же ковки в штампах из-за неравномерности обжатия скорость деформации в отдельных зонах резко возрастает, что влечет за собой и повышение местного теплового эффекта. Увеличивается также скорость течения металла относительно поверхности гравюры, что также служит немаловажным источником локального повышения температуры.

Значения скорости получены с использованием метода поверхностной координатной сетки. Сопоставление скоростей течения с диаграммой износа штампа (рис. 1.12 [1]) показывает, что области максимальных износа и скорости течения совпадают в пределах облойного мостика.

На поверхности фланца и, особенно, в области облойной щели скорость деформации максимальна, что также является причиной ускоренного износа.

Рассмотрение схемы износа молотового штампа, представленной на рис. 1.12 [1], показывает, что существенное формоизменение гравюры отмечается не только в области выходной кромки и мостика, где максимальная скорость течения, но и у вершины бобышки, где скорость течения минимальная. Результаты обмера гравюры изношенного штампа свидетельствуют о том, что на отдельных участках имеет место не увеличение размеров полости, а их уменьшение.

Следовательно, за формоизменение гравюры кузнечного штампа ответственно не только истирание, но и смятие, т. е. пластическая деформация инструмента.

Таким образом, износ штампового инструмента может быть представлен как истиранием (уносом частиц металла с поверхности трения), так и смятием (деформацией инструмента и, в первую очередь, поверхностного слоя гравюры в процессе штамповки). Истирание наиболее характерно для таких участков как облойный мостик, выход на об-

лойный мостик, внешние скругления гравюры и переход от торцовой поверхности к боковой у бобышек.

Характер истирания - нормальный (окислительный), интенсивный с элементами схватывания и глубинного разрушения и промежуточный между ними - оказывает решающее влияние на состояние микрогеометрии рабочей поверхности.

Смятие, в первую очередь, свойственно для выступающих участков гравюры, бобышек, внешних округлений, облойного мостика, вертикальных стенок.

Прочность штамповой стали и размеры элементов инструмента таковы, что, за исключением отдельных аварийных случаев, однократное воздействие рабочих усилий не может привести к значительной деформации штампа. Однако при многократном повторении нагрузки небольшие пластические деформации отдельных элементов штампов накапливаются, вызывая искажение формы гравюры.

Рассмотрение кинетики изменения размеров гравюры показывает, что наиболее интенсивно элементы штампа искажаются в начальный период работы (600-1200 поковок). Учет кинетики формоизменения гравюры штампов позволяет выбрать их исходные размеры такими, чтобы обеспечить максимальный съем поковок.

Этого можно добиться назначением оптимального минусового допуска на определенные размеры. Однако это мероприятие может привести к повышению стойкости штампов на 30-40%.

Третьим видом износа кузнечных штампов наряду с истиранием и смятием является разгарообразование.

После появления разгарных трещин влияние термической усталости на износ инструмента проявляется наиболее заметно. Они облегчают истирание и смятие поверхностного слоя, подготавливают выкрашивание крупных участков поверхности.

В результате такого комбинированного воздействия резко увеличивается формоизменение гравюры, на поверхности образуются борозды значительного сечения или сетка трещин.

Характер воздействия рассмотренных факторов неодинаков на различных участках гравюры.

Способность материала штампа сопротивляться истиранию, смятию, разгарообразованию определяется его свойствами и особенно температурными изменениями этих свойств в процессе эксплуатации. Этим обстоятельством объясняется в первую очередь разница в износе, состоянии поверхности и, в конечном итоге, в стойкости верхнего и нижнего штампов при одинаковой их конфигурации.

Измерения, выполненные в процессе эксплуатации с помощью контактной термопары, показали разницу в температуре верхнего и нижнего штампов, равную 50-125 °С в зависимости от размера и формы поковки и вида оборудования. В связи с этим отмечается и различие в характере износа верхней и нижней гравюр.

У нижней гравюры отмечается более тяжелая степень повреждений из-за повышенной продолжительности контакта нижнего штампа с поковкой, а значит, и более высокой температуры нагрева.

В ряде случаев штамп выходит из строя из-за образования глубоких трещин, наблюдаемых в области перехода от вертикальной стенки к донной поверхности при относительно глубокой полости, а также у оснований бобышек и ребер. Эти трещины иногда называют термическими, чаще смешивают с разгарными, хотя они представляют собой особый вид разрушения.

Причинами появления таких «термических» трещин являются напряжения, вызванные распорным действием деформируемой заготовки, внезапное резкое изменение темпе-

ратуры рабочей поверхности штампа (термошок или тепловой удар), необратимые деформации, связанные с циклическим изменением температуры, и малоцикловая механическая усталость.

Резкое охлаждение поверхности гравюры вследствие длительного перерыва в подаче смазки или после заклинивания поковки в гравюре приводит к возникновению значительного градиента температур, высоких термических напряжений растяжения в поверхностном слое и возможности термошокового разрушения. Напряжения достигают максимальных значений у внутренних углов гравюры, особенно на переходе от стенок ко дну.

Чем выше способность материала штампа изменять свои размеры при циклических нагревах, и чем больше размеры поверхностей (стенка, дно), тем быстрее происходит накопление напряжений. Образованию трещин способствует наличие концентраторов напряжений, которыми являются, прежде всего, внутренние переходы поверхности гравюры. В ряде случаев возникновения трещин можно избежать путем увеличения радиуса скругления опасного перехода.

Как следует из изложенного выше, основными причинами износа наряду с истиранием являются смятие и разгар. К ним следует отнести также усталостное разрушение в местах наибольшей концентрации напряжений, термошоковое разрушение в условиях особенно резких теплосмен и окалинообразование (угар) поверхностного слоя.

Все перечисленные факторы в большей или меньшей мере взаимодействуют в процессе износа штампа.

Производственные эксперименты и наблюдения показывают, что для каждого штампа, даже для каждого определенного участка гравюры, выделяется в качестве основного один из перечисленных факторов. Тот же из них, который является непосредственной причиной выхода инструмента из строя, может быть назван преобладающим видом износа.

Технология упрочнения рабочих поверхностей штампов детонационным методом.

Перспективным методом повышения надежности и долговечности рабочих поверхностей штампов, в частности гибочных, является упрочнение детонационным методом [1].

Детонационно-газовый метод напыления позволяет наносить на поверхность деталей очень плотные покрытия из материалов, твердость которых составляет более 70 HRCэ. Метод позволяет напылять покрытия на окончательно обработанные детали, не нарушая их геометрии и механических свойств.

Технологию напыления разрабатывали для матриц и пуансонов гибочных штампов. Эти детали изготовлены из инструментальной стали и после закалки имеют твердость до 57-60 HRCэ. Напыляемые кромки образованы плоскостями, расположенными под углами 112,5°-150° друг к другу.

Для обеспечения равномерности толщины покрытия предпочтительно напылять обе плоскости кромок за один проход.

Была разработана концепция поиска оптимальной технологии.

Для напыления применен порошок ВК20. Режимы напыления отрабатывали на образцах из стали У8, закаленных до твердости 55-58 HRCэ, 50-53 HRCэ, и 45-48 HRCэ, (при такой твердости сохраняется необходимая конструктивная прочность детали). Образцы представляли собой конический штифт диаметром 1,5-2 мм, закрепленный в специальной втулке. Угол атаки α варьировали от 56 до 90° (для матрицы с углом гибки 45°). Напыляли покрытие толщиной 0,4-0,45 мм.

При напылении использовали газовую смесь ацетилена и кислорода в соотношении C_2H_2:O_2 = 1:1,1. Напыление осуществляли на детонационной установке «АДУ-Обь».

Анализ результатов отработки режимов показывает, что при α = 56° требуемое значение адгезии (не менее 150 МПа) достигается только на подложке твердостью 45-48 HRCэ. Значение твердости самого покрытия удовлетворительно на всех подложках и практически не зависит от их твердости. Производительность напыления (толщина за выстрел) также выше на подложке с твердостью 45-48 HRCэ.

Толщина покрытия после шлифования – 0,2-0,25 мм. Выбор такого припуска под шлифование обусловлен особенностями установки и закрепления на станке деталей сложной формы, отсутствием надежных технологических баз.

Учитывая высокую твердость покрытия, применена технология алмазно-абразивного шлифования. Режимы шлифования отрабатывались на плоскошлифовальном станке мод. 3Е711. При алмазном шлифовании на оптимальных режимах получены остаточные сжимающие напряжения, что положительно сказывается на прочности покрытия.

Заключение.

В результате исследований разработаны конструкции гибочных матриц и пуансонов, упрочненных детонационным покрытием. Для напыления матрицы разработано универсальное поворотное приспособление, позволяющее наносить покрытия на кромки, расположенные под различными углами.

Список литературы: 1. Долматов А.И., Богуслаев А.В. Повышение жизненного цикла оснастки на основе защитных технологий. – Запорожье: ОАО “Мотор Сич”, 2000. – 294 с. 2. Богуслаев А.В. О необходимости нанесения защитных покрытий на рабочие поверхности оснастки для штамповок и литья // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. трудов. – Харьков, НАКУ «ХАИ». – Выпуск 23(6). – 2000.– 171 с. - с. 48-55. 3. Брюханов А.Н., Ребельский А.В. Горячая штамповка. Конструирование и расчет штампов. – М.: Машгиз, 1952. – 664 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ, КОНСТРУКТИВНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ДИСКРЕТНОЙ СТРУКТУРЫ НА ДЕТАЛЯХ МАШИН И ИНСТРУМЕНТЕ

Ляшенко Б.А., Соловых Е.К., Сорока Е.Б., Антонюк В.С. *(ИПП им. Г.С.Писаренко НАНУ, г. Киев, Украина, НТУ, г. Кировоград, Украина, ИПП им. Г.С.Писаренко НАНУ, г. Киев, Украина, НТТУ «КПИ», г. Киев, Украина)*

It is shown that tribotechnical properties of discontinuous coated working surface depend on coating parameters and turn into better as compared to continuous coated surface: friction coefficient reduces by a factor of 1,5...2,5; wear speed reduces by a factor of 1,16...1,4. The application of PVD discontinuous coatings on hard alloy surface allows increasing wear-resistance 2,5…3 times as compared to continuous coated surface.

На современном этапе роль упрочняющих покрытий на деталях машин, механизмах, устройств и конструкций сложно переоценить. Особое место в этом разнообразии деталей, элементов конструкций и технологического оснащения с модифицирован-

ными поверхностями занимают режущие и формообразующие инструменты с износостойкими покрытиями, а также детали машин, работающие в условиях трения.

Особенностью эксплуатации деталей пар трения и режущего инструмента является то, что потеря работоспособности происходит, в основном, вследствие изнашивания рабочих поверхностей. Поэтому эти объекты как нельзя лучше позволяют использовать поверхностное упрочнение и нанесение износостойких покрытий, что дает возможность повысить комплекс их эксплуатационных характеристик.

Известно, что в промышленности и исследовательской практике существует свыше 150 технологических способов нанесения упрочняющих покрытий, которые позволяют сформировать на поверхности твердый, износостойкий слой. Среди этих методов стоит выделить технологии нанесения покрытий вакуум-плазменным методом. Такие покрытия достаточно легко формируются, а высокая степень управляемости процесса делает их применение массовым явлением как покрытий общего назначения для снижения трения в деталях машин, повышения износостойкости режущего и формообразующего инструмента. Способ нанесения таких покрытий позволяет оптимизировать их под конкретные условия эксплуатации, что дает возможность еще большего повышения стойкости по сравнению с инструментом без покрытий.

Основной проблемой применения покрытий является их разрушение, которое может происходить в соответствии с двумя основными механизмами: когезионным растрескиванием и адгезионным отслоением покрытия от основы. Для успешного решения этой проблемы предлагается использовать покрытия прерывистой формы (покрытия дискретного типа) [1, 2].

Для высоконагруженных деталей, работающих в условиях контактного нагружения, необходимо также обеспечить контактную прочность. В связи с тем, что вакуум-плазменные покрытия характеризуются значительным уровнем остаточных напряжений сжатия, которые суммируются с эксплуатационными сжимающими напряжениями, возникает необходимость некоторого снижения уровня остаточных напряжений. Это также возможно осуществить в результате дискретизации поверхностного слоя, т.е. формирования покрытия дискретного типа [3].

Целью настоящей работы является исследование технологических, конструктивных и эксплуатационных особенностей покрытий дискретного типа.

Известно, что для формирования вакуум-плазменного покрытия широко применяются установки типа «Булат». Использование специальных «масок» при формировании покрытий позволят получать покрытия дискретного типа без существенной модернизации таких установок. При этом на «маску» подается положительный потенциал величиной U=10…30 В, что позволяет управлять скоростью конденсации покрытия и приводит к тому, что ионы материала покрытия не задерживаются на поверхности «маски»[4].

Конструктивные параметры покрытий дискретного типа (толщина, протяженность участка, сплошность, шаг, форма кромки) определяются из условий минимизации напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя [5].

Поскольку работоспособность деталей пар трения, а также режущего и формообразующего инструмента зависит от изнашивания, в основу исследования положены комплексные сравнительные испытания поверхностей трения, модифицированных нанесением сплошных покрытий и покрытий дискретного типа.

Для определения влияния покрытий на износостойкость рабочих поверхностей проведены испытания на образцах из стали 40Х, нашедшей широкое применение в парах трения, с покрытием TiN сплошного и дискретного типа толщиной 4...8 мкм. Испы-

тания проводили на универсальной машине трения УМТ-3 по схеме «диск-колодка» с режимами нагружения P=120 МПа, скоростью трения V_T=1,5 м/с и температурами в зоне трения T_1=20° С и T_2=200° С. Испытания проводили без смазки, а также с граничной смазкой МС22. Время испытаний – 10 часов.

Как показали экспериментальные исследования, для поверхностей с покрытиями дискретного типа характерны меньшие величины износа в условиях нормальных и повышенных температур, как на воздухе, так и в среде МС22 (рис.1).

На рис.2 приведены зависимости скорости изнашивания образцов из стали 40Х без покрытия, а также с вакуум-плазменными покрытиями TiN сплошного и дискрентого типа без смазки и в среде МС22.

Сравнивали также скорость изнашивания и коэффициент трения для образцов без покрытия и с покрытиями разной сплошности (рис.3, 4). При этом показано, что существует некий оптимальный интервал сплошности покрытия, соответствующий оптимальной скорости изнашивания и коэффициенту трения.

Для исследований влияния вида покрытия на процессы трения и изнашивания использовали также образцы из твердого сплава Т15К6, широко применяемого при изготовлении режущего и формообразующего инструмента, с вакуум-плазменным по-

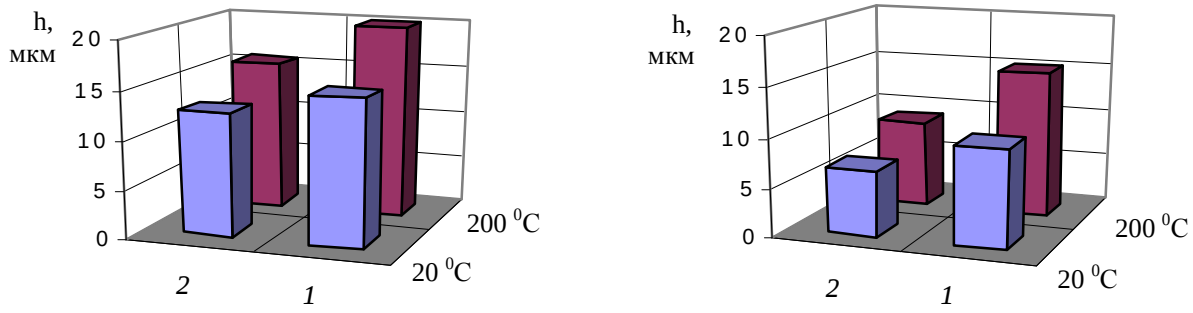


Рис. 1. Сравнительные диаграммы износа образцов из стали 40Х с покрытиями TiN без смазки (а) и в среде МС22 (б): сплошное покрытие (*1*); покрытие дискретного типа (*2*).

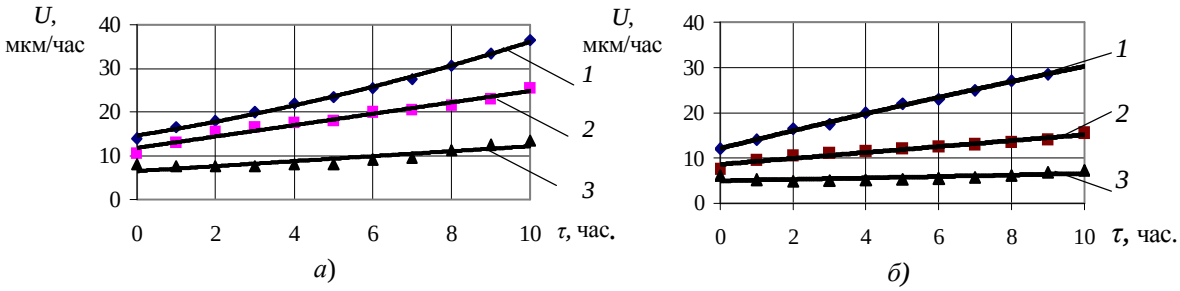


Рис.2 Зависимость скорости изнашивания U образцов из стали 40Х от продолжительности испытаний без смазки (а) и в среде МС22 (б): без покрытия (*1*) со сплошным покрытием (*2*);с покрытием TiN дискретного типа (*3*).

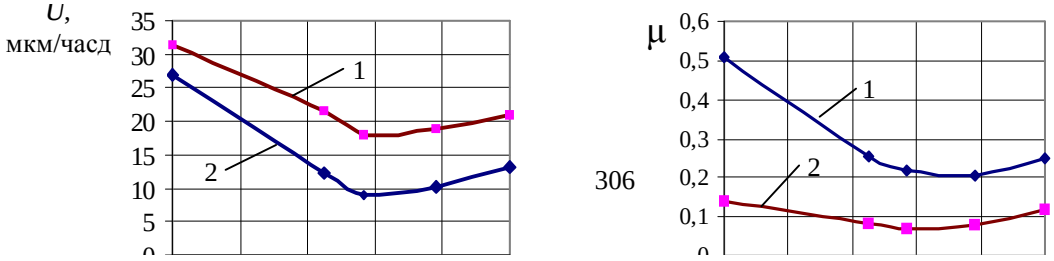


Рис.3. Зависимости скорости изнашивания U (*а*) и коэффициента трения (*б*) от сплошности ψ вакуум-плазменного покрытия TiN на воздухе (*1*) и в среде МС22 (*2*)

крытием TiN толщиной 6 мкм. Испытания проводили на опытной установке МЛ-1, предназначенной для исследований материалов при квазистационарном и динамическом нагружении с реверсивным скольжением. Эксперименты осуществляли по схеме «сфера-плоскость» с использованием индентора со сферической рабочей поверхностью из стали ШХ15 [6] при квазистационарном нагружении с нагрузкой Р=4 кН без смазки и в среде смазочно-охлаждающей жидкости МР11 со скоростью от 0,013 до 0,13 м/с. В процессе эксперимента измеряли силу трения и износ образца.

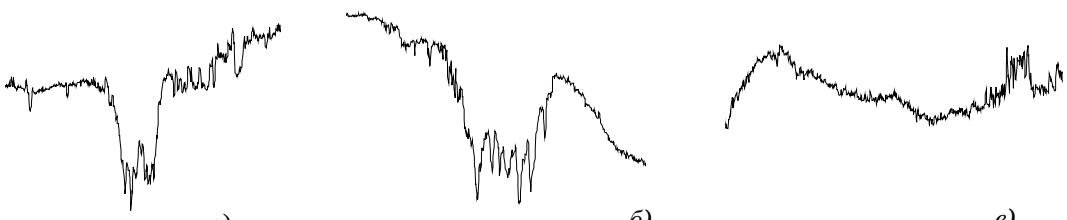
Для исследований влияния вида покрытия на процессы трения и изнашивания использовали также образцы из твердого сплава Т15К6, широко применяемого при изготовлении режущего и формообразующего инструмента, с вакуум-плазменным покрытием TiN толщиной 6 мкм. Испытания проводили на опытной установке МЛ-1, предназначенной для исследований материалов при квазистационарном и динамическом нагружении с реверсивным скольжением. Эксперименты осуществляли по схеме «сфера-плоскость» с использованием индентора со сферической рабочей поверхностью из стали ШХ15 [6] при квазистационарном нагружении с нагрузкой Р=4 кН без смазки и в среде смазочно-охлаждающей жидкости МР11 со скоростью от 0,013 до 0,13 м/с. В процессе эксперимента измеряли силу трения и износ образца.

Износостойкость поверхностей с покрытиями оценивали по величине геометрических параметров дорожки трения (рис. 4), которые определяли путем записи профилограммы при помощи профилографа-профилометра модели 201 .

а) *б*)

Рис. 4. Общий вид дорожек изнашивания образцов из твердого сплава Т15К6 с покрытиями TiN сплошного (*а*) и дискретного типа (*б*).

На рисунке 5 приведены профилограммы лунок износа образцов из твердого сплава Т15К6 без покрытия (*а*) и с покрытиями TiN сплошного (*б*) и дискретного (*в*) типов. Экспериментальные исследования модифицированной поверхности твердого сплава Т15К6 с покрытиями TiN на износостойкость по критерию параметров лунки износа показали, что увеличение сплошности покрытия до величины, которая находится в пределах 57...67%, приводит к повышению износостойкости, а дальнейшее увеличение сплошности покрытия вызывает снижение износостойкости, особенно при отсутствии смазки (рис. 6).



а) *б*) *в*)

Рис. 5. Профилограммы лунок износа образцов без покрытия (*а*) и с покрытиями TiN сплошного (*б*) и дискретного типов (*в*) при испытаниях на воздухе.

Проведенные исследования твердосплавных пластин Т15К6 с вакуум плазменным покрытием TiN показали, что образцы с дискретными участками характеризуются также меньшими силами трения (рис.7).

Полученные результаты можно объяснить на основе представлений о том, что уменьшение трения и износа поверхностей является результатом термодинамической природы процессов, которые проходят в зоне трения, и образования вторичных структур [7,8]. Можно предположить, что возникающие структуры при наличии дискретного покрытия в отличии от сплошных покрытий, не уносятся из зоны трения, а задерживаются в междискретном пространстве, что приводит к изменению механизма изнашивания.

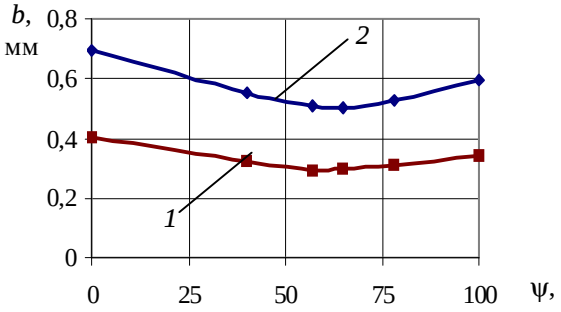


Рис. 6. Зависимость ширины лунки износа b от сплошности покрытия ψ при испытаниях на воздухе (*1*) и в среде МР-11 (*2*).

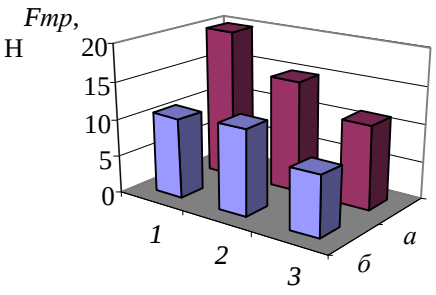


Рис. 7. Зависимости сил трения F_{mp} од типа покрытия TiN на образцах Т15К6 при испытаниях на воздухе (*а*) и в среде МР-11 (*б*):без покрытия (*1*) с покрытием TiN сплошного (*2*) и дискретного типа (*3*).

Анализ результатов испытаний показал, что триботехнические свойства рабочих поверхностей с вакуум-плазменными покрытиями дискретного типа зависят от их параметров и улучшаются по сравнению с характеристиками поверхностей со сплошными покрытиями:

- показано, что триботехнические характеристики рабочих поверхностей дискретного типа зависят от параметров поверхности, в частности от сплошности покрытия;
- .износостойкость образцов из стали 40Х с покрытием TiN дискретного типа в 2,2 раза выше при трении на воздухе и в 2,46 раза выше в среде МС22 по сравнению с образцами со сплошным покрытием; коэффициент трения поверхностей с покрытиями дискретного типа уменьшается в 1,5-2,5 раза, а скорость изнашивания – в 1,16-1,4 раза по сравнению с образцами со сплошными покрытиями;
- для твердого сплава Т15К6 с покрытием TiN дискретного типа сила трения уменьшается в 1,3 – 1,4 раза по сравнению с поверхностью со сплошным покрытием, а износостойкость увеличивается в 2,5-3 раза;

Список литературы: 1. Ляшенко Б.А., Мовшович А.Я., Долматов А.И. Упрочняющие покрытия дискретной структуры // Технологические системы. 2001, № 4 (10).-С.17-25. **2.**Антонюк В.С., Ляшенко Б.А., Сорока Е.Б. Выбор параметров покрытий дискретной структуры при модификации поверхности режущего инструмента // Упрочняющие технологии и покрытия.–2005.–№ 3.–С. 49-50. **3.** Ляшенко Б.А., Антонюк В.С., Сорока Е.Б., Рутковский А.В. О снижении остаточных напряжений в вакуум-плазменных покрытиях дискретной структуры // Сверхтвердые материалы.-2005.- № 2.–С. 72 – 75. **4.**Пат. України № 68303 МПК С23 С14/32 Спосіб нанесення зносостійких несуцільних покриттів // В.А. Рутковський, В.С. Антонюк, В.М. Волкогон, Б.А Ляшенко, О.С. Осипов, І.А Петруша - Заяв-

лено 03.12.03. Опубл. 15.07.2004. – Бюл. № 7.–3с. **5.** Антонюк В.С., Сорока Е.Б. Обоснование выбора топографии поверхности модифицированой износостойкими покрытиями // Резание и инструмент в технологических системах. – Межд. науч.-техн. сборник. - Харьков: НТУ "ХПИ", 2005, Вып.68. - С. 20 – 25. **6.** Гринкевич К.Е., Автоматизированный комплекс (АТК) для проведения исследований градиентных композитов триботехнического назначения (ГКТН) // Nowe kierunki technologii I badaň materialowyh. – Warszaw. IPPT PAN. – 1999. – P.401-404. **7.**Костецкий Б.И., Караулов О.К., Костецкая Н.Б. Структурно-енергетичні умови поверхневої міцності при терті. – Київ: АН УССР, 1977. – С.26. **8.** Бершадский Л.И. Структурная термодинамика трибосистем. – К.: Знание, 1990.– 31 с.

ZAGADNIENIA DIAGNOSTYKI JEDNOSTEK WYTWÓRCZYCH PRACUJĄCYCH PRZY OGRANICZONEJ OBSŁUDZE

Bernat P. (*Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie, Nysa, Polska)*

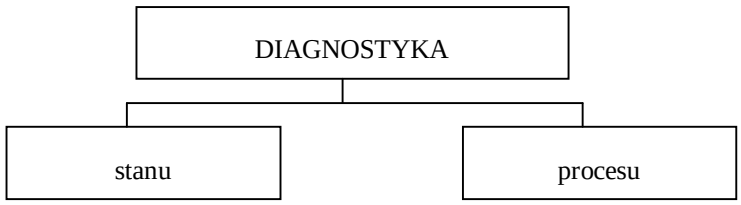
This article concerns diagnostics of manufacturing units. The discussion undertaken dealt with the problems relating to the diagnostics. In particular, the factors effecting the manufacturing unit performance and procedures to be applied were discussed in terms of their classification.

Wprowadzenie

W samodzielnych lub o ograniczonej obsłudze jednostkach wytwórczych (maszynach technologicznych) pojawia się problem diagnozowania takiej jednostki. Przy czym jest to problem z natury rzeczy szerszy, gdyż obejmuje całkowitą sprawność maszyny do realizacji zadań technologicznych, sprawność rozumianą jako zdolność do ciągłej i niezawodnej pracy bez przerw i awarii przy jednoczesnym zapewnieniu wytwarzania przedmiotów o określonych wymaganiach technologicznych. Wymaga to rozpoznania i usystematyzowania jednocześnie zachodzących w czasie kształtowania procesów i stanów jednostki (maszyny), wpływających na pracę całej jednostki, a więc poddawanych diagnozowaniu.

Podział diagnostyki jednostek wytwórczych

Ze względu na uszczegółowienie badanego zagadnienia wielu autorów przyjmuje za podstawę prowadzonych analiz podział, który umożliwia skoncentrowanie się na szczegółowych rozwiązaniach, a jednocześnie umiejscawia obszar badawczy. Takie też założenie przyjęto w realizacji niniejszego opracowania. Stąd w pierwszej kolejności dokonano podziału diagnostyki. Naturalnym wydaje się podział diagnostyki na diagnostykę stanu i procesu (rys.1).



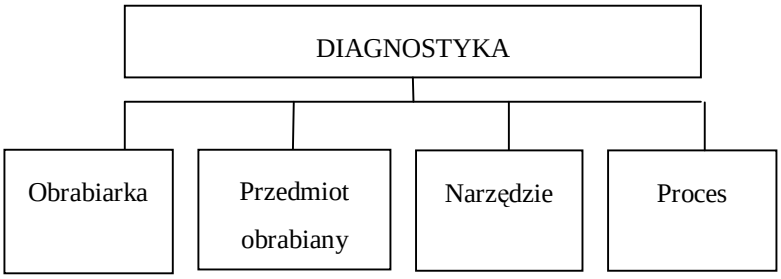
Rys. 1. Podział podstawowy diagnostyki jednostek wytwórczych

Diagnostyka stanu odnosi się do samej jednostki wytwórczej jako rozwiązania technicznego i sprowadza się do rozpoznania przyczyn sprawności czy raczej niesprawności danego zespołu tejże. Przy czym w szczególnym kręgu zainteresowania badaczy pozostają zespoły robocze, jako te, których stan jest podstawą osiągnięcia początkowych założeń

obróbczych. Pojawia się tu problem skomplikowania budowy, a przez to także i działania takiej jednostki. Nie pozostaje to bez wpływu na sposób prowadzenia diagnozy i rozwiązania techniczne, jakie się stosuje do budowy takich systemów diagnostycznych. Sprawność działania jednostki wytwórczej potwierdzona przeprowadzonymi testami diagnostycznymi jest podstawą do uruchomienia jej celem realizacji procesu obróbkowego.

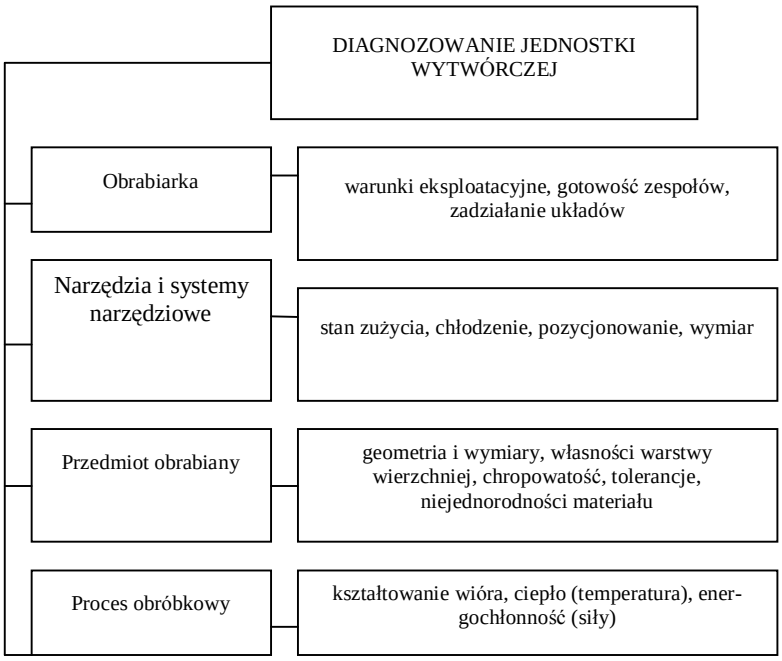
I tu pojawia się problem diagnostyki procesu. Wiemy, że parametry technologiczne, a ściślej parametry obróbkowe bezpośrednio wpływają na przebieg, ale i efekt końcowy prowadzonego procesu. Stąd potrzeba, ale i konieczność kontroli samego przebiegu, jak i efektów końcowych prowadzonej obróbki, a w szczególności zrealizowanego procesu technologicznego. Diagnostyka procesu wymaga rozpoznania zjawisk wpływających bezpośrednio na jego przebieg. Trzeba w tym przypadku myśląc o skutecznej diagnostyce uwzględnić specyfikę tego procesu, co powoduje poszukiwania rozwiązań specjalistycznych, np. dla danego sposobu kształtowania detalu. Z kolei końcowe potwierdzanie prawidłowości przebiegu diagnozowanego procesu wymaga zastosowania dodatkowych urządzeń i rozwiązań. Mogą to być np. współrzędnościowe maszyny pomiarowe (WMP) połączone z jednostka wytwórczą (JW).

Kolejnym spotykanym podziałem jest podział uwzględniający strukturę jednostki wytwórczej [1]. I tak można w związku z tym wyróżnić: obrabiarkę, narzędzie, przedmiot obrabiany i proces (np. skrawania), który stanowi uzupełnienie zaproponowanego podziału. Podział taki przedstawiono graficznie na rys. 2.



Rys. 2. Podział funkcjonalny diagnozowanej jednostki wytwórczej

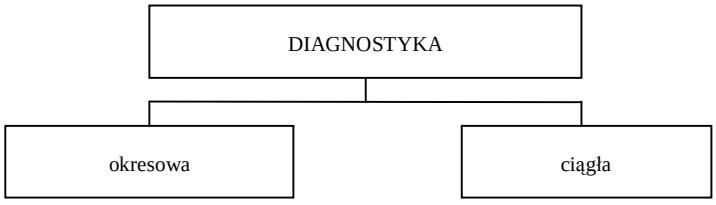
Podział przedstawiony na powyższym rysunku pozwala na określenie istotnych czynników, które wymagają diagnozowania, ale dla każdej z wymienionych grup oddzielnie. Tu zupełnie inne wymagania będzie się stawiać prowadzonej diagnozie odnośnie, np. obrabiarki czy procesu, np. obróbkowego, co pokazuje rysunek 3. Wyszczególnienie w tym przypadku procesu jest niezbędne, gdyż umożliwia całościowe rozpatrywanie osiągnięcia oczekiwanego efektu końcowego w postaci wyrobu gotowego o żądanych cechach.



Rys. 3. Kryteria diagnozowania zespołów jednostki wytwórczej

Na rysunku 3 widzimy, że występują istotne różnice w czynnikach krytycznych które trzeba poddać analizie, by w efekcie końcowym wyselekcjonować zespół cech stanowiących podstawę prowadzonej diagnostyki. Innym wnioskiem, który się nasuwa z prowadzonej argumentacji, (co potwierdza rys. 3.) jest konieczność uwzględnienia w prowadzonej diagnozie czasu reakcji na zaistniałe zdarzenie. Ten wymóg, a więc w konsekwencji czas zadziałania układu diagnostycznego, jest kolejnym kryterium podziału, który w prowadzonych rozważaniach należy wziąć pod uwagę jako czynnik niezwykle istotny.

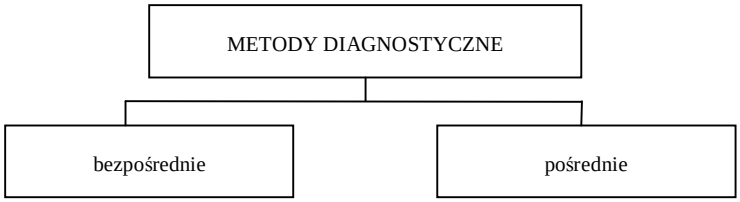
W wielu przypadkach wystarcza tylko okresowe sprawdzanie stanu procesu czy maszyny, ale zdarza się, że diagnostykę trzeba prowadzić na bieżąco (rys.4). Wymóg prowadzenia diagnostyki na bieżąco nie warunkuje jeszcze czasu zadziałania systemu diagnostycznego, a więc w konsekwencji czasu reakcji na zaistniałe zdarzenie. Bo czas reakcji układu diagnostycznego może być różny, ze względu na skutki niezadziałania tego układu. I tak, kiedy diagnozowany proces czy skutek zdarzenia uznaje się za krytyczny, to w przypadku prowadzonej diagnostyki założeniem może być skrócenie czasu reakcji układu diagnostycznego do minimum ($\tau \rightarrow 0$). Tak więc pojawiają się tu dodatkowe trudności, jak rozwiązać problem czasu trwania diagnozy ze względu na czas zadziałania układu. Stąd proponowane rozróżnienie diagnostyki na okresową i bieżącą, którą z kolei podzielić należy na diagnostykę niekrytyczną i krytyczną czasowo. W tym przypadku kryterium będzie czas odpowiedzi układu diagnostycznego na zdarzenie.



Rys. 4. Podział uwzględniający charakter prowadzonej diagnostyki

Należy tu wrócić do zagadnienia czasu trwania stawiania diagnozy, gdyż dotyczy ono w istocie pewności i poprawności stawianej diagnozy. Pojawia się wówczas pytanie jak zapewnić w żądanym czasie wystarczającą informację do postawienia trafnej diagnozy?

Stąd kolejny problem, bo jeśli mamy różne formy prowadzonej diagnozy, tzn. okresowa i ciągła i wymagamy od układu diagnostycznego różnego czasu zadziałania, to będą potrzebne do tego różne metody, a przez to różne rozwiązania techniczne, w szczególności uwzględniające metody zbierania, gromadzenia i opracowywania danych diagnostycznych (rys.5.). W szczególności dotyczy to informacji zbieranych z jednostki wytwórczej w czasie rzeczywistym, pozwalających na szybką reakcję na zaistniałe zdarzenie.



Rys. 5. Podział uwzględniający charakter prowadzonej diagnostyki

Innym problemem, który się wyłania z prowadzonych rozważań jest kwestia jak rozwiązać tor pomiarowy będący podstawą sprawnie działającego układu diagnostycznego, a w szczególności jak dobrać i umiejscowić urządzenia rejestrujące (np. czujniki pomiarowe) określone informacje.

Metodyka postępowania

Po dokonaniu niezbędnej systematyki i uwypukleniu problemów, wynikających z chęci zapewnienia prawidłowej diagnostyki pracy jednostki wytwórczej, można przystąpić do poszukiwania koncepcji i rozwiązań umożliwiających podniesienie efektywności prowadzonej analizy i pewności stawianej diagnozy.

Dla tak sformułowanych problemów ważnym wydaje się określenie priorytetów w prowadzonej diagnostyce. Obecnie wydaje się to trudne, czy wręcz niemożliwe, by jednocześnie z taką samą efektywnością i na bieżąco prowadzić diagnostykę wszystkich procedur realizowanych przez jednostkę wytwórczą. Tu przydatna będzie przeprowadzona wcześniej systematyka, gdyż pozwoli na określenie hierarchii ważności priorytetów dla każdego wcześniej omówionego obszaru zagadnień (rys.2). Stąd jasno wynika, że samej maszyny technologicznej i realizowanego na niej procesu nie można traktować jako całości (jednostki wytwórczej). Taką jednostkę wytwórczą należy traktować jako szereg współpracujących ze sobą zespołów (rys.2), których niezawodna praca składa się na końcowy efekt w postaci gotowego wyrobu.

Wnioski

Obecnie spotykamy szereg specjalizowanych rozwiązań, będących głównie konsekwencją sposobu kształtowania obrabianego detalu. Ten stan rzeczy wynika, nie tyle z niemożliwości przenoszenia rozwiązań, co z konieczności uwzględnienia specyfiki danego procesu (np. sposobu obróbki). Chodzi tu zarówno o budowę maszyny technologicznej jak i czynniki krytyczne analizowanego procesu.

Osobnym zagadnieniem jest możliwość przenoszenia opracowanych rozwiązań laboratoryjnych z zakresu diagnostyki do praktyki przemysłowej. Jednak wymaga to oddzielnego omówienia, stąd problem ten został tu jedynie zasygnalizowany jako niezależny - choć bardzo ważny - od prowadzonych rozważań.

Podsumowując, należy stwierdzić, że poszukiwania rozwiązań przedstawianych tu problemów a także odpowiedzi na zadane pytania będą trwały nadal. Opracowywane przez

zespoły badawcze rozwiązania będą kolejnymi przybliżeniami do uzyskania w pełni zadawalającego rozwiązania, jakim jest bezobsługowa czy ograniczona do minimum obsługa jednostki wytwórczej.

Literatura: 1. P. Bernat: Wybrane problemy diagnozowania na przykładzie toczenia, 18 Międzynarodowe Sympozjum Naukowe Studentów i Młodych Pracowników Nauki, Zielona Góra 1996, s. 133-137. **2.** P. Bernat Badanie procesu toczenia dla potrzeb diagnozowania z zastosowaniem wieloczujnikowego układu pomiarowego, Rozprawa doktorska, Wrocław 1998

СОДЕРЖАНИЕ

Фармаковский Б.В., Васильев А.Ф., Кузнецов П.А.
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СВЕРХЗВУКОВОГО ГЕТЕРОФАЗНОГО ПЕРЕНОСА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСО- И КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ……3

Феник Л.Н., Байков А.В., Потылицын А.А.
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ТЕРМОУДАРНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ……..……..7

Фёдоров В. П., Нагоркин М. Н., Ковалёва Е. В.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХУСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ…….10

Финиченко В.А., Кралин А.К.
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБАТЫХ ПЕРЕДАЧ
……...15

Францкевич А.В., Иванова Н.В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУПЕРИРОВАННОГО АЛМАЗНОГО СЫРЬЯ В ИНСТРУМЕНТЕ ……17

Францкевич А.В., Таран И.И., Биленко Э.Г.
ИЗНОС ОДНОКРИСТАЛЬНОГО АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРАВКЕ…..20

Хейфец М.Л., Майстер А.И., Логунова Л.С., Бобылева А.В.
НАУЧНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ И ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ…….23

Хижняк Є.В., Ступак Д.О., Осипенко В.І.
МАТЕМАТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ ДРОТЯНОГО ЕЛЕКТРОДУ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ВИРІЗАННІ…….28

Холодов Б. Ф., Дорошенко Р. В.
ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОЗОЛЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ И СМАЗКИ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ПРОТЯГИВАНИИ……34

Христафорян С.Ш., Баласанян А.Б., Тер-Петросян А.Т., Григорян Г.Р.
ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ С ПОЗИЦИЙ САМООРГАНИЗАЦИИ СТРУКТУР …….36

Христафорян С.Ш., Баласанян Б.С, Христафорян Э.С., Григорян Г.Р.
К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ……40
Христафорян С.Ш.,Григорян Г.Р.,Христафорян Э.С., Парикян Ф.А.,
Артунян А.В.
ВОПРОСЫ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЬЕКТОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ……45

Чепелева Т.И.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР ПРОИЗВОДСТВА……49

Чепелева Т. И., Грекова А. В.
ТЕСТИРОВАНИЕ В ОБРАЗОВАНИИ……54

Чернета О.Г., Коробочка А.Н., Загробский А.В.
МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ КАРБОНИТРИДОВ НА АЗОТИРОВАННОЙ СТАЛИ 50ХФА ОБРАБОТАННЫХ ЛАЗЕРОМ…….55

Чернов С.К.
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ
……60

Чурносов А.П.
АБРАЗИВНЫЕ ГРАНУЛЫ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ КОМПОНЕНТОВ……65

Шабайкович В.А.
ЗАГАЛЬНИЙ СТАН СУЧАСНОГО СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЙОГО ХВОРОБИ……68

Карпов Э.А., Шакалов С.Н.
О МЕСТЕ ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩИХ КОМПАНИЙ В КОРПОРАТИВНЫХ СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ……72

Карпов Э.А., Шакалов С.Н
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IT ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОРПОРАТИВНОЙ СТРУКТУРЫ С ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩЕЙ КОМПАНИЕЙ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ……74

Шалимов Ю.Н., Богданович Е.Н., Харченко Е.Л., Литвинов Ю.В.
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ХРОМИРОВАНИЯ В ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ . ПРОИЗВОДСТВЕ……..78

Шашенко А.Н., Коваленко В.В.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ НАБРЫЗГБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ…….82

Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Солодянкин А.В.
К ОБОСНОВАНИЮ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТЯЖЕННОЙ ВЫРАБОТКИ С УЧЕТОМ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ……87
Шашенко А.Н., Старотиторов И.Ю.
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ
ГОРНЫХ ПОРОД В ОБЪЕМНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ…….95

Шевченко Ф.Л.
СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ БАЛОК СТУПЕНЧАТО-ПЕРЕМЕННОГО
СЕЧЕНИЯ КАК СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ…….102

Шитик О. Ю., Осипенко В. І., Ступак Д.О.
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ЗМІЩЕННЯ ДРОТЯНОГО
ЕЛЕКТРОДА-ІНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕСІ КОНУСНОЇ
ЧОТИРИКООРДИНАТНОЇ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ……..110

Юринок В.И.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ
ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ…….115

Янкевич Н.С.
РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ……119

Adamczyk J., Kaliński W., Margielewicz J.
AKTYWNA WIBROIZOLACJA KABINY SUWNICY POMOSTOWEJ……..122

Adamczyk J., Kaliński W., Margielewicz J.
EINFLUß VOM ANLAUF UND BREMSEN DES KATZFAHRWERK AUF DIE LADUNGSTRAJEKTORIE……..126

Antonyuk S., Tomas J., Heinrich S., Müller P.
ELASTISCH-PLASTISCHES DEFORMATIONSVERHALTEN VON
GRANULATEN BEI STOSS- UND DRUCKBEANSPRUCHUNGEN…….129

Apetrei L., Coteaţa M., Munteanu A., Ilii S., Nastase E.
THE INFLUENCE OF THE INPUT PARAMETERS ON ULTRASONIC MICRODRILLING PRODUCTIVITY…….133

Banaś W., Koprowski T., Margielewicz J.
ABSCHÄTZUNG DER DÄMPFUNGSEIGENSCHAFTEN SOWIE

**RESONANZZONEN DES MANIPULA-
TORS……137**

Banaś W., Koprowski T., Margielewicz J.
BADANIA NUMERYCZNE MECHANIZMU PODNOSZENIA SU-
WNICY POMOSTOWEJ…….141

Banaś W., Koprowski T., Margielewicz J.
**OBCIĄŻENIA DYNAMICZNE SUWNICY POMOSTOWEJ WYWOŁANE
RUCHEM WCIĄGARKI…….144**

Banaszek G., Stefanik A., Berski S., Dyja H.
THEORETICAL MODELLING OF METALLURGICAL DEFECT CLOSING-UP PROC-
ESSES DURING FORGING…….148

Barsan Gh., Babos A., Sfarlog B.,
ASPECTS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TECHNICAL
REQUIREMENTS AND THE QUALITY OF LEARNING
MANAGEMENT SYSTEMS IN ADVANCED DISTRIBUTED LEARN-
ING……..……..151

Barsan Gh., Miclaus S., Bechet P., Oancea R.
A PRACTICAL GUIDE ON MINIMAL REQUIREMENTS OF THE
LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS FUNCTIONS SPECIFIC TO
THE HIGHLY STANDARDIZED EDUCATIONAL ENVIRONMENT……155

Białas K.
METHOD OF REDUCTION OF VIBRATIONS OF MECHANICAL SYSTEMS…….159

BÍLIK, J. , BAČA, J.
ANALYSIS OF SURFACE LAYERS MECHANICAL STRENGHTENING BY
DYNAMICAL SHOT PEENING……..162

**Jarosław BOBITSKI, Damian IWIŃSKI
PHOTOELECTRIC MOTOR WITH STATIONARY AXIAL DIAPHRAGM
……..167**

**Bodrova L.G., Kramar G.M., Lazaryuk V.V., Buhra M.M., Marynenko S.Yu.
SOME PROPERTIES OF THE TIC-(VC, NbC, WC) BASED HARD AL-
LOYS……..174**

Boroiu A., Nicolae V., Dobrescu I., Popa L.
SETTLEMENT OF CAR'S MAINTENANCE WORKS PERIODICITY IN
ORDER TO PROVIDE A MINIMUM RELIABILITY LEVEL……179

Mircea BOSCOIANU, Gabriela PRELIPCEAN
KNOWLEDGE MANAGEMENT, INNOVATION AND EFFECTS ON
ECONOMIC PERFORMANCE IN MACHINE-BUILDING INDUSTRY……..183

Mircea BOSCOIANU, Gabriela PRELIPCEAN
COMPETITION IN INNOVATION – AN ANALYSIS OF ECONOMIC IMPACT IN MACHINE-BUILDING INDUSTRY……..183

Buchacz A.
INFLUENCE OF DIELECTRIC CONSTANT OF PIEZOELECTRIC TRANSDUCER ON DYNAMICAL CHARACTERISTICS OF VIBRATING OF MECHATRONICAL SYSTEM……...184

Buchacz A., Żółkiewski S.
EQUATIONS OF MOTION OF THE TWO-LINK SYSTEM VIBRATING TRANSVERSALLY AND LONGITUDINALLY IN TRANSPORTATION …….188

BUGARU M., CHERECHEŞ T., ROTARIU A., CĂRTUȚĂ S.
THE DAMPING AND THE DYNAMIC STABILLITY OF THIN PLATES PARAMETRICALLY EXCITED…….192

BUGARU M., CHERECHEŞ T., TRANĂ E., CĂRTUȚĂ S.
NOISE RADIATED BY VIBRATING RECTANGULAR PLATE……196

Carausu C., Pruteanu O.V., Paraschiv Dr Pricope C. Huşanu V. Toca Al.
STUDIES REGARDING THE INFLUENCE OF THE MILLING PROCESSES IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES ON THE ENVIRONMENT…….201

Carp, I., Coteață, M., Tanasă, R.
SOME EXPERIMENTAL RESEARCHES REGARDING THE INFLUENCE OF THE ENTRANCE PARAMETERS ON THE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING PROCESS……..205

Ciudin R.V., Nederita V.V.
NANOTECHNOLOGY A REAL PROBLEM FOR ENGINEERING EDUCATION……208

Coteață, M., Slătineanu, L., Carp, I., Ciofu, C.
STUDY REGARDING THE ENERGY BALANCE OF AN ECDM PROCESS…….214

Ćwikła G., Kalinowski K.
THE ERP SYSTEM FOR NON-TYPICAL COMPANIES - ANALYSE ……218

Dan Scurtu, Murăraşu Emanuel
AXIAL FAN BY SUPPLIMENTARI AUTO ASPIRATE FLOW……222

Daschievici L., Ghelase D., Diaconescu I., Simionescu C.
RESEARCH ON UTILIZED VIBRATING MECHANISMS EFFICIENCY AND TBOLOGICAL ASPECTS OF VIBRATING MECHANISMS USED FOR PACKING EQUIPMENT CONSTRUCTION…….225

Dobrescu I., Boroiu A., Nicolae V. , Parlac S.
MODELLING OF THE RADIAL AND AXIAL FORCES FUNCTION OF THE MATERIAL AND AXIAL ADVANCE IN THE COLD FORMING PROCESS ……230

Dodun O., Munteanu A, Ilii S., Apetrei L., Slatineanu L., Nagit G.
CRITICAL AND LOGICAL THINKING IN ENGINERING EDUCATION BY SOCRATIC TEACHING METHOD……233

Doroshenko R., Primanis E.
SCALY ARISING IN BROACHING PROCESS…….237

Henryk Dyja, Jarosław Markowski, Marcin Knapiński, Anna Kawałek, Bartosz Koczurkiewicz
THE PHYSICAL MODELLING OF THE PROCESS OF NORMALIZING ROLLING OF S355J2G3A STEEL PLATES……*241*

Dymarek A., Dzitkowski T.
THE PROCESS OF SYNTHESIS OF VIBRATING SYSTEMS ……245

Dzitkowski T., Dymarek A.
KOMPUTEROWO WSPOMAGANA SYNTEZA UKŁADÓW NAPĘDOWYCH MASZYN……..248

Foit K., Świder J., Mastrowski D.
THE PROJECT OF AN OFF-LINE, REMOTE PROGRAMMING SYSTEM FOR MITSU-BISHI MOVEMASTER INDUSTRIAL ROBOT……252

Gherghel M., Raveica I.C.,
CONTRIBUTIONS TO ESTABLISHING THE OPTIMUM WORKING CONDITIONS FOR FINISHING FACE MILLING……256

GHERGHINA Aurel
SOLVING TECHNIQUES FOR SIMPLER FLUXES AND THE REASONS OF THEIR APPLICATION IMPOSSIBILITY IN EULER/NAVIER-STOKES EQUATIONS ……....259

Gheorghian S., Jula N., Cepişcă C.
SOME ASPECTS REGARDING THE USE OF PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS FOR MEASUREMENT OF PROPELLANT GAS PRESSURE DURING WEAPON'S FIRING……..262

Ghiorghiță S.-C., Acatrinei I.-A., Iuraş, E., Duşa P.
THE STUDY OF INTEGRATING PART DESIGNS CATALOGUES IN CAD SYSTEMS USING PARTSOLUTIONS PROVIDED BY CADENAS……..265

Giurgiu L., Demeter Ş.
ASPECTS OF CONTROL SYSTEMS OVER NETWORK…….269

Giurgiu L., Demeter Ş.
SCHEDULING EFFECTS ON EMBEDDED CONTROL SYSTEMS……273

Hanganu L. C.
ON-LINE QUALITY SUPERVISION OF ROTOR YARNS - A MECHATRONICAL DEVICE……..……278

Hanganu L. C.
SPECIFIC ASPECTS ON MOBILE MECHATRONICS INTELLIGENT SYSTEMS WITH ECOLOGICAL IMPACT FOR TEXTILE EQUIPMENTS…….282

Богуслаев А.В., Долматов А.И., Багмет М.Н., Мовшович А.Я.
ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ……286

Ляшенко Б.А., Соловых Е.К., Сорока Е.Б., Антонюк В.С..
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ, КОНСТРУКТИВНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ДИСКРЕТНОЙ СТРУКТУРЫ НА ДЕТАЛЯХ МАШИН И ИНСТРУМЕНТЕ…….292

Bernat P.
ZAGADNIENIA DIAGNOSTYKI JEDNOSTEK WYTWÓRCZYCH PRACUJĄCYCH PRZY OGRANICZONEJ OBSŁUDZE…….……..297

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

А
Антонюк В. С., , 292
Артунян А. В., 45
Б
Багмет М. Н. , 286
Байков А. В., 7
Баласанян А. Б., 36,
Баласанян Б. С., 40
Биленко Э. Г., 20
Бобылева А. В., 23
Богданович Е. Н., 78
Богуслаев А. В., 286
В
Васильев А. Ф., 3
Г
Грекова А. В., 54
Григорян Г. Р., 36, 40, 45
Д
Долматов А. И. , 286
Дорошенко Р. В., 34
З
Загробский А. В., 55
И
Иванова Н. В., 17
К
Карпов Э. А., 72, 74
Коваленко В. В., 82
Ковалёва Е. В., 10
Коробочка А. Н., 55
Кралин А. К., 15
Кузнецов П. А., 3
Л
Литвинов Ю. В., 78
Логунова Л. С., 23
Ляшенко Б. А. , 292
М
Майстер А. И., 23
Мовшович А. Я. , 286
Н
Нагоркин М. Н., 10
О
Осипенко В. І., 28, 110
П
Потылицын А. А., 7
Парикян Ф. А., 45
С
Сдвижкова Е. А., 87

Солодянкин А. В., 87
Соловых Е. К. , 292
Сорока Е. Б. , 292
Старотиторов И. Ю., 95
Ступак Д. О., 28, 110
Т
Таран И. И., 20
Тер-Петросян А. Т., 36
Ф
Фармаковский Б. В., 3
Феник Л. Н., 7
Фёдоров В. П. , 10
Финиченко В. А., 15
Францкевич А. В., 17, 20
Х
Харченко Е.Л., 78
Хейфец М. Л., 23
Хижняк Є. В., 28
Холодов Б. Ф., 34
Христафорян С. Ш., 36, 40, 45
Христафорян Э. С., 40, 45
Ч
Чернета О. Г., 55
Чернов С. К., 60
Чепелева Т. И., 49, 54
Чурносов А. П., 65
Ш
Шабайкович В. А., 68
Шакалов С. Н., 72, 74
Шалимов Ю. Н., 78
Шашенко А. Н., 82, 87, 95
Шевченко Ф. Л., 102
Шитик О. Ю., 110
Ю
Юринок В. И., 115
Я
Янкевич Н. С., 119

A
Acatrinei I.-A. , 265
Adamczyk J., 122, 126
Anna Kawałek, 241
Antonyuk S., 129
Apetrei L., 133, 233
B
Babos A., 151
BAČA J., 162

Banaś W., 137, 141, 144
Banaszek G., 148
Barsan Gh., 151, 155
Bartosz Koczurkiewicz, 241
Bechet P., 155
Bernat P., 297
Berski S., 148
Białas K., 159
BÍLIK J., 162
Bodrova L.G. , 174
Boroiu A. , 179, 230
Buchacz A., 184, 188
BUGARU M., 192, 196
Buhra M.M. , 174
C
Carausu C., 201
Carp, I., 205, 214
CĂRTUȚĂ S., 192, 196
Cepişcă C., 262
CHERECHEŞ T., 192, 196
Ciofu C., 214
Coteața M., 133, 205, 214
Ciudin R.V., 208
Ćwikła G., 218
D
Damian IWIŃSKI, 167
Dan Scurtu, 222
Daschievici L., 225
Demeter Ş., 273
Diaconescu I., 225
Dobrescu I. , 179, 230
Dodun O., 233
Doroshenko R., 237
Duşa P. , 265
Dyja H., 148
Dymarek A., 245, 248
Dzitkowski T., 245, 248
F
Foit K., 252
G
Gabriela PRELIPCEAN , 183
Giurgiu L., 273
Ghelase D., 225
Gheorghian S., 262
Gherghel M., 256
GHERGHINA Aurel, 259
Ghiorghiță S.-C. , 265
H

Hanganu L. C., 278, 282
Heinrich S., 129
Henryk Dyja, 241
Huşanu V. **,** 201
I
Ilii S., 233
Iuraş E, 265
J
Jarosław BOBITSKI, 167
Jarosław Markowski, 241
Jula N., 262
K
Kalinowski K., 218
Kaliński W., 122, 126
Koprowski T., 137, 141, 144
Kramar G.M. , 174
L
Lazaryuk V.V. , 174
M
Marcin Knapiński, 241
Margielewicz J., 122, 126, 137, 141, 144
Marynenko S.Yu. , 174
Mastrowski D. , 252
Miclaus S., 155
Mircea BOSCOIANU, 183
Müller P., 129
Munteanu A., 133, 233
Murăraşu Emanuel, 222
N
Nagit G., 233
Nastase E., 133
Nederita V. V., 208
Nicolae V. , 179, 230
O
Oancea R., 155
P
Paraschiv Dr. , 201
Parlac S., 230
Popa L. , 179
Pricope C. , 201
Primanis E., 237
Pruteanu O. V. , 201
R
Raveica I. C., 256
ROTARIU A., 192
S
Sfarlog B., 151
Simionescu C., 225

Slătineanu L., 214, 233
Stefanik A., 148
Świder J. , 252
T
Tanasă R. , 205
Tomas J., 129
Toca Al., 201
TRANĂ E., 196
Z
Żółkiewski S., 188