



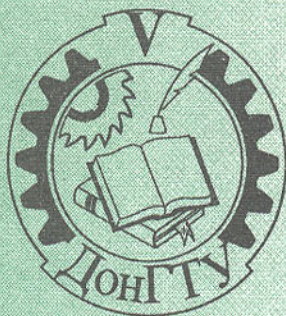
Специальный выпуск -  
м а т е р и а л ы  
V международной  
научно-технической  
к о н ф е р е н ц и и

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА НА РУБЕЖЕ XXI ВЕКА

ТОМ 2

Международный  
сборник научных трудов  
ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И  
СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Выпуск 6



МАШИНОСТРОЕНИЕ - 98

ДОНЕЦК - 1998

Министерство образования Украины  
Министерство Украины в делах науки и технологий  
Украинское отделение Международной академии наук высшей школы  
Донецкая областная и городская администрации  
Брянский, Донецкий и Севастопольский  
государственные технические университеты  
Острровский и Силезский технические университеты  
Портсмутский университет, Таганрогский радиотехнический университет  
Научно-технический союз машиностроения Болгарии  
Донецкий институт холодильной техники  
Институт международного сотрудничества  
Научный центр проблем механики машин НАН Беларуси  
Севастопольский строительный техникум  
Фонд поддержки прогрессивных реформ  
Брянский АО НИИ «Изотерм», Корпорация «УКРУГЛЕМАШ»  
АО «Буран», АО «ДЗГА», АО «НОРД»  
АОЗТ «1-й Донецкий авторемзавод»

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА НА РУБЕЖЕ XXI ВЕКА

Материалы  
V международной научно-технической конференции  
8-11 сентября 1998 г. в городе Севастополе

ТОМ 2



Донецк-1998



Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сб. научных трудов: Специальный выпуск - Материалы V международной научно-техн. конф. «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века» в г. Севастополе 8-11 сентября 1998 г. в 3-х томах. Т.2 - Донецк: ДонГТУ. Вып.6, 1998. - 320 с.

В сборнике научных трудов помещены материалы V международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века», отражающие научные и практические результаты в области обработки изделий прогрессивными методами, представлены современные достижения и перспективные направления развития технологического оборудования, металлорежущего инструмента и оснастки. Рассмотрены отдельные аспекты автоматизации производственных процессов, надежности технологического оборудования, управления качеством и диагностики технических систем. Приведены сведения об особенностях моделирования и экономических проблемах производства.

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

#### Редакционная коллегия:

Михайлов А.Н. (председатель), Калафатова Л.П. (зам. председателя), Бутенко В.И., Гейер Г.В., Войнаровский Ю., Гусев В.В., Данек Я., Зарубицкий Е.У., Малышко И.А., Матюха П.Г., Мизин Б.М., Навка И.П., Новоселов Ю.К., Оливер Т., Струтинский В.Б., Седуш В.Я., Сопилкин Г.В., Сулов А.Г., Тернюк Н.Э.

#### Адрес редакционной коллегии:

Украина, 340000, г. Донецк, ул. Артема, 58, ДонГТУ, кафедра ТМ,  
Редакционная коллегия сборника  
Тел. (0622) 93-60-02, факс. (0622) 92-12-78.  
E-mail: mikhayl @ iic.dgtu.donetsk.ua  
<http://www.dgtu.donetsk.ua>

ISBN 5-7763-8320-X

ISBN 5-7763-8317-X

© Донецкий государственный  
технический университет, 1998 г.

## ВЫСОКОТОЧНАЯ ОБРАБОТКА ВАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВОДКОВЫХ ЦЕНТРОВ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ильицкий В. Б., Ерохин В. В. (БГТУ, г. Брянск, Российская Федерация)

*In this paper we consider the analysis of the application of various of the center chucks in the automatic production based on theoretical and experimental researches which have being implemented in the technology laboratory on the "Mechanical engineering" chair of BSTU.*

Станочные поводковые приспособления, обеспечивающие высокую точность и производительность обработки в условиях автоматизированного производства, должны обладать следующими основными свойствами: 1) повышенная жесткость и виброустойчивость, 2) минимальные временные затраты на установку и снятие заготовки; 3) обеспечение высокой точности и производительности обработки, 4) минимальное влияние на износ и деформацию элементов станка; 5) применимость на различных технологических операциях. Наиболее полно удовлетворяют этим требованиям поводковые центры, передающие крутящий момент по торцу заготовки. Рассматривая в качестве базового поводкового центра поводковый центр, передающий крутящий момент по торцу заготовки за счет автоматического западания поводкового элемента в предварительно подготовленную поводковую поверхность в форме кольцевой эксцентрично расположенной выточки ( $E_n=8$  мм - эксцентриситет кольцевой выточки относительно оси вращения заготовки), можно ввести следующие коэффициенты:  $K_{ж}$  - коэффициент динамической жесткости станка, который показывает изменение жесткости технологической системы по сравнению с базовым центром,  $K_m$  - коэффициент вспомогательного времени, показывающий во сколько раз изменилось вспомогательное время по сравнению со вспомогательным временем при применении базового поводкового центра;  $K_n$  - коэффициент производительности обработки, показывающий во сколько раз изменилась производительность обработки с применением какого-либо поводкового центра по сравнению с базовым поводковым центром при достижении заданной точности обработки ( $EFX=20$  мкм - отклонение от круглости по ГОСТ 24642-81) для всех рассматриваемых поводковых центров. В автоматизированном производстве применяются два вида поводковых центров:

1) первый вид - поводковые центры на базе плавающего центра, передающие крутящий момент по торцу заготовки за счет внедрения в торец поводковых элементов ( $K_{ж}=0.56...0.45$ ,  $K_m=0.9...1.4$ . Максимальная точ-



ность обработки диаметральных размеров по ГОСТ 25346-89 до 10 качества  $K_n=0,56...0,37$ . Большие осевые усилия, необходимые для вдавливания поводковых элементов в торец заготовки, увеличивают деформации задней бабки станка, вызывают износ подшипников шпиндельного узла и вращающегося заднего центра. Этот вид поводковых центров не может быть использован на шлифовальных станках и при обработке валов близких к нежестким и применяется во всех видах автоматизированного производства (ГПМ, ГПС, ГАЛ и др.) и типах производства. Все коэффициенты получены экспериментально для поводкового центра с тремя поводковыми элементами и первые величины соответствуют чистовой обработки для всех рассматриваемых поводковых центров).

2) второй вид - поводковые центры на базе жесткого центра, передающие крутящий момент по торцу заготовки:

- крутящий момент передается за счет внедрения специальным механизмом самоустанавливающихся плавающих поводковых элементов ( $K_{жс}=0,91...0,8$ ,  $K_m=2,3...4,5$ . Максимальная точность обработки диаметральных размеров по ГОСТ 25346-89 до 8 качества.  $K_n=0,91...0,71$ . Большие осевые усилия, необходимые для вдавливания поводковых элементов в торец заготовки, увеличивают деформации задней бабки станка, вызывают износ подшипников шпиндельного узла и вращающегося заднего центра. Этот вид поводковых центров не может быть использован на шлифовальных станках и при обработке валов близких к нежестким и наиболее эффективно применяется только в ГПМ и в серийном производстве. Коэффициенты  $K_{жс}$ ,  $K_m$ ,  $K_n$  определены для поводкового центра с тремя поводковыми элементами.);

- крутящий момент передается за счет автоматического западания штырьковых поводковых элементов в предварительно подготовленные лунки ( $K_{жс}=1$ ,  $K_m=1,2...1,35$ . Максимальная точность обработки диаметральных размеров по ГОСТ 25346-89 до 6...7 качествен.  $K_n=4...1,25$ . Износ и деформации элементов станка не зависят от конструктивных особенностей поводкового центра. Используются на шлифовальных, токарных, зубофрезерных и других станках. Возможно эффективное использование во всех видах автоматизированного производства, в крупносерийном и массовом производстве. Коэффициенты  $K_{жс}$ ,  $K_m$ ,  $K_n$  установлены для поводкового центра с четырьмя поводковыми элементами);

- крутящий момент передается за счет автоматического западания поводкового элемента в предварительно подготовленную поводковую поверхность в форме кольцевой эксцентрично расположенной выточки ( $K_{жс}=1$ .  $K_m=1$ . Максимальная точность обработки диаметральных размеров по ГОСТ 25346-89 до 6...7 качествен.  $K_n=1$ . Износ и деформация элементов станка не зависят от конструктивных особенностей поводкового центра. Используется на токарных зубофрезерных, шлифовальных и других

операциях. Возможно эффективное применение во всех видах автоматизированного производства, в крупносерийном и массовом производстве).

Анализируя выше рассмотренные поводковые центры, отметим, что высокая точность и производительность обработки обеспечивают поводковые центры на базе жесткого центра, и передающие крутящий момент счет автоматического западания поводкового элемента в предварительно подготовленную поводковую поверхность. Однако по критерию технологичности получения поводковых поверхностей кольцевая эксцентрично расположенная выточка является более предпочтительной. При этом предварительное создание поводковых поверхностей не снижает эффекта повышения производительности обработки, вследствие выполнения их на совмещенных операциях по получению центровых отверстий: на заготовительных операциях штамповки, прессования; способом холодного выдавливания; обработкой резанием на фрезерно-центровальном станке с применением специально разработанной в БГТУ комбинированной головки.

В автоматизированном производстве заготовки по ходу технологического маршрута обработки может многократно устанавливаться в станочные центры на различных станках, вследствие чего появляется дополнительная погрешность обработки, зависящая от неточности установки заготовки в центры и несоосности центров передней и задней бабки станка. Для исключения влияния этой дополнительной погрешности на точность обработки валов необходимо применять центровые отверстия и центры R-формы. При этом сила выдавливания центровых отверстий R-формы в 2 раза меньше по сравнению с коническими. Но отметим, что центры и центровые отверстия R-формы из-за малой ширины контакта сферический образующих могут использоваться только на чистовых операциях для рассмотренных поводковых центров, а также на получистовых операциях для поводковых центров на базе жесткого центра, передающих крутящий момент по торцу заготовки за счет автоматического западания поводкового элемента в предварительно подготовленную поводковую поверхность.

Все вышеотмеченные экспериментальные данные получены в технологической лаборатории БГТУ, где также ведется работа по усовершенствованию конструкции поводковых центров на базе жесткого центра, в которых передача крутящего момента во время обработки заготовки осуществляется автоматическим самоподжатием гидропластом поводковых элементов в предварительно созданную кольцевую эксцентричную поводковую выточку, что уменьшает давление между поводком и поводковой поверхностью, и как следствие повышается точность обработки диаметральных размеров вала.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОСТНЫХ ИМПЛАНТАТОВ

Ильющенко А.Ф., Ивашко В.С., Оковитый В.А., Шевцов А.И.  
Соболевский С.Б. (НИИПМ, г. Минск, Беларусь),  
Кулак А.И., Лесникович Л. А. (ИОНХ, г. Минск, Беларусь)

*Hydroxiapatite powder as well as combination of said powder with aluminium oxide are investigated using scanning electron microscopy and transmission electron microscopy. Statistical data on the particles are obtained using an automatic picture analyser. The investigation are completed with the results of x-ray phase analysis of the powders.*

Костные имплантаты находят широкое клиническое применение. В последние годы в США, Японии, Германии, Швеции и России их изготавливают путем плазменного напыления биокерамики на поверхность металлических имплантатов.

Положительные результаты получены при изготовлении имплантатов из титана с последующим плазменным нанесением синтетического гидроксиапатита (ГА). В исходном состоянии ГА представляет собой порошок, который нагревается и ускоряется в плазменной струе. Напыляемые частицы соударяются с поверхностью титана и формируют покрытие. Практика показывает, что структура и качество напыляемого материала во многом зависит от размеров, формы и рельефа поверхности исходного порошка, его фазового состава. Изучение этих параметров для порошка ГА - цель предлагаемых исследований.

Для достижения поставленной цели порошок ГА и его смесь с оксидом алюминия проанализированы с применением сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (СЭМ и ПЭМ). Гранулометрический состав определяли на анализаторе изображения Мини - Моджискан при использовании фотографий порошков, полученных в СЭМ и ПЭМ. Рентгеновский анализ ГА проводили на дифрактометре ДРОН - 3.0 ( $U=40\text{кВ}$ ,  $I=мА$ ) в монохроматизированном  $\text{Cu } \alpha\text{-}$  излучении при непрерывном движении счетчика в интервале углов  $20...120$  через  $0,1$  градуса. Расшифровка фазового состава осуществлялась по программе "X-RAY".

При подготовке к исследованию порошки препарировали свободной насыпкой и диспергированием в ультразвуке с последующим нанесением на предметное стекло. Результаты исследования порошков в СЭМ представлены в таблице 1.

Таблица 1.

| Материал<br>порошка                | Параметры частиц    |                            |                    |                                |                            |                    |
|------------------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------|
|                                    | свободно насыпанных |                            |                    | диспергированных в ультразвуке |                            |                    |
|                                    | размер              | форма                      | рельеф поверхности | размер                         | форма                      | рельеф поверхности |
| ГА                                 | 2...35мкм           | приближается к сферической | гладкий            | 200 А ... 2мкм                 | приближается к сферической | гладкий            |
| ГА после термообработки при 1073 К | 2...60мкм           | неопределенная             | развитый           | 0,5 ... 2мкм                   | неопределенный             | развитый           |

Как видно из таблицы, размеры свободного насыпанных и диспергированных частиц заметно отличаются. Это свидетельствует о склонности порошка гидроксиапатита к образованию комков, снижается "текучесть" дисперсного материала и его технологичность при напылении покрытия.

Частицы размером меньше  $1\text{мкм}$  оценивали с помощью ПЭМ, так как разрешающая способность СЭМ не позволяет получить информацию о морфологических особенностях порошков гидроксиапатита в исходном и термообработанном состояниях. Схема препарирования дисперсного материала для ПЭМ показана на рис. 1.

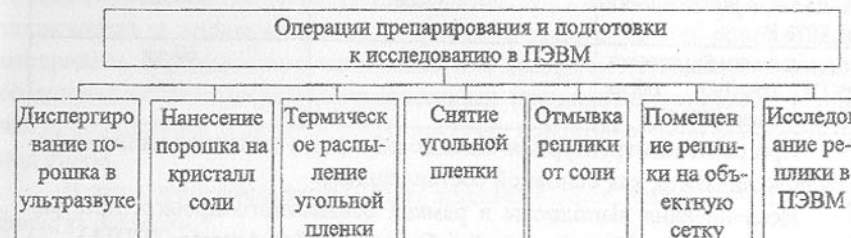


Рис. 1. Схема препарирования порошков гидроксиапатита с размером частиц меньше  $1\text{мкм}$ .

Исследования частиц порошков проводилось на просвечивающем микроскопе ЭМ - 125 с ускоряющим напряжением  $100\text{кВ}$ . Результаты исследования с учетом полученных фотографий представлены в таблице 2.

Таблица 2.

| Материал порошка                   | Составляющие частиц | Размер составляющих, нм |
|------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| ГА                                 | зерна - кристаллиты | 10...60                 |
| ГА после термообработки при 1073 К | зерна - кристаллиты | 20...60                 |

|                                                                                           |                     |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|
| Композиционный порошок 80%ГА+20%Аl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> после обработки при 1073 К | зерна - кристаллиты | 5...100 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|

Исследования в ПЭМ показали, что термообработка приводит к росту частиц порошка. В зернах - кристаллитах композиционного материала 80%ГА+20%Аl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> оксид алюминия располагается вокруг гидроксипатита в виде аморфной сипи, что подтверждается электроннографически.

Определение гранулометрического состава порошков на автоматическом анализаторе изображения Мини-Маджискан включало следующие этапы: обсчет частиц с фотографий СЭМ по программе 'Genias 26'; обсчет частиц с негативных пленок ПЭМ по программе 'Genias 26'; объединение данных первого и второго этапов в один файл данных; представление результатов количественного анализа порошков по программе 'Results'.

По указанной методике получены средние значения максимального диаметра частиц (табл. 3) и гистограммы гранулометрического состава.

Таблица 3.

| Материал порошка                                                                          | Средние значения максимального диаметра частиц |                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|
|                                                                                           | при обсчете фотографий с СЭМ                   | при обсчете фотографий с ПЭМ |
| ГА                                                                                        | 2 мк                                           | 40 нм                        |
| ГА после термообработки при 1073 К                                                        | 20 мкм                                         | 60 нм                        |
| Композиционный порошок 80%ГА+20%Аl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> после обработки при 1073 К |                                                | 60 нм                        |

При рентгеноструктурном анализе порошков выявлено наличие фазы гидроксипатита, как основной составляющей.

Исследования выполнены в рамках совместного проекта при финансовой поддержке Национальной лаборатории Лос Аламоса (США).

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПЛАЗМЕННЫХ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Ильющенко А.Ф., Ивашко В.С., Оковитый В.А.,  
Шевцов А.И. (НИИ ПМ, г. Минск, Беларусь)

*Analysis of application of plasma spraying technology in Republic of Belarus and abroad is given.*

В последнее время отмечается резкое расширение фундаментальных исследований физико-химического взаимодействия материалов покрытия и основы при напылении, поведение частиц материала в высокотемпературных струях. Это позволяет сформулировать ряд положений теории формирования плазменных покрытий, начать переход от чисто эмпирических методов подбора режимов напыления к научно-обоснованным вариантам технологии.

Долгое время считалось, что основными недостатками плазменных покрытий является плохая связь с подложкой и высокая пористость, в связи с чем этот метод требует дополнительных операций по уплотнению и переработке покрытий. Однако опыт последних лет по применению для напыления тонкодисперсных порошков размером от 50 мкм до 100 мкм и проведение операций напыления в камерах с защитной средой свидетельствует о том, что можно резко улучшить характеристики плазменных покрытий, в том числе повысить чистоту поверхности и уменьшить пористость защитного слоя до 2-5%, а использование экзотермически реагирующих порошков для напыления позволяет достичь прочности сцепления 40-50 МПа. Кроме того, применение защитной среды значительно расширило перечень напыляемых материалов из титана, тантала, рения, ниобия и других легко окисляющихся материалов. Металлические покрытия, полученные в этих условиях, отличаются повышенной пористости и более высокой пластичностью. Таким образом, развитие технологии плазменного напыления в нашей республике в дальнейшем связано с решением ряда технических и технологических вопросов, с производством порошковых материалов определенного химического и гранулометрического состава, созданием полностью автоматизированных плазменных установок, в том числе работающих в динамическом вакууме, контролируемой атмосфере и под водой.

В этом отношении заслуживает внимания опыт, накопленный рядом фирм за рубежом.

В настоящее время западные фирмы проводят исследования в основном в области совершенствования технологии плазменного напыления. Улучшается оборудование для плазменной обработки (системы подачи порошковых материалов, механизации и автоматизации технологических процессов и т.д.), а также совершенствуются условия труда обслуживающего персонала. В основе проводимых работ лежит стремление получения покрытий различного назначения высокого качества, надежно соединенных с основой. С этой целью созданы новые конструкции плазматронов, которые позволяют повысить скорость протекающих газов и частиц напыляемого материала, интенсифицировать теплообмен дисперсного материала.



ла с высокотемпературной струей, что достигается путем увеличения мощности плазматронов до 100 кВт и выше.

Кроме того, в настоящее время производится оборудование, позволяющее осуществлять напыление в динамическом вакууме или в контролируемой атмосфере. Так, в США и Австрии характерно использование для плазменного направления камер с инертным газом, где персонал работает в специальных скафандрах. Фирма Sulzer-Metco (Швейцария) выпускает автоматизированные плазменные установки для напыления в камерах с динамическим вакуумом или в контролируемой среде.

Для обеспечения стабильности подачи тонкодисперсных порошковых материалов с размером частиц 10 мкм и менее разработаны более совершенные порошковые питатели. В ряде конструкций предусматривается предварительный подогрев транспортирующего газа.

За рубежом защитные покрытия традиционно используют в авиации и ракетостроении. В первую очередь плазменные покрытия наносят на наиболее ответственные детали, несущие высокие тепловые и механические нагрузки: лопатки газовых турбин - композицией карбид хрома - ниобий, а также композициями Co-Cr-W, Co-Mo-Si, Co-Cr-Al.

Для защиты от фреттинг-коррозии используют также композиции Cu-Ni-Zn, Cu-Ni-Al - бронзы, WC-Co-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ni-C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.

В настоящее время в США более 50 крупных научно-исследовательских центров и лабораторий занимаются разработкой и практическим применением высокотемпературных, и в том числе плазменных покрытий, причем стоимость операций напыления только на детали самолетов составляет более 20 мил. долларов в год.

Дальнейший прогресс во всех отраслях техники зарубежные специалисты связывают с непрерывным развитием и совершенствованием покрытий различного назначения в большей степени, чем разработкой новых сплавов путем легирования металлов. В связи с этим фирмы, разрабатывающие вопросы плазменного напыления, - Sulzer-Metco, Plasma-Dain, Avco (США), Rockdur, Snecma (Франция), Castolin (Швейцария) - поставляют в большом ассортименте специализированные порошковые материалы, гибкие шнуры, проволоку для плазменного напыления. Плазменное напыление гибких шнуров и проволок является перспективным направлением в области создания защитных покрытий, данная технология приводит к увеличению коэффициента использования материала, повышению прочности сцепления покрытия с основой, так как все частицы материала находятся в расплавленном состоянии.

Как и все другие технологии нанесения газотермических покрытий, имеет свои особенности. Во-первых, требуется большое количество не-

стандартного оборудования. Сложность заключается в том, что выпускается оно в странах СНГ малыми партиями с низкими техническими характеристиками. Во-вторых, необходимы определенные порошковые материалы, а также некоторые виды сжатого газа, в-третьих - обслуживающий персонал с соответствующей квалификацией. И наконец, нужна достаточная номенклатура пригодных для нанесения защитных покрытий деталей, обеспечивающая постоянную загрузку оборудования. Целесообразность создания отдельного производственного участка по нанесению плазменных покрытий определяется технико-экономическим обоснованием.

В Республике Беларусь плазменные методы нанесения защитных покрытий развиваются на предприятиях химической, нефтехимической, нефтяной и текстильной промышленности для увеличения срока службы быстроизнашивающихся деталей насосов (защитные втулки, торцевые уплотнения, посадочные места). Перспективной областью являются предприятия, изготавливающие детали запорной арматуры, работающие в агрессивных средах и повышенных температурах двигателя (защита поршней, цилиндров, компрессорных колец, других деталей газового тракта); авиаремонтные предприятия, а также предприятия Сельхозтехники и Минавтотранспорта, использующие проволоочные материалы для восстановления распределительных и коленчатых валов.

Необходимо отметить, что выбору номенклатуры деталей, подлежащих восстановлению и уплотнению, во всех случаях должен предшествовать анализ технико-экономической эффективности.

### НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА, НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ПРИБОРОВ И ИНСТРУМЕНТОВ

Инятин В. П. (АО НИИ "Изотерм", Брянск, Россия)

*New technologies used for increasing reliability and durability of parts, devices and instruments are considered in the report.*

Среди основных задач ускорения научно-технического прогресса важное место занимает проблема обеспечения физико-химических характеристик поверхностей, позволяющих достичь оптимальных эксплуатационных свойств. При возрастающем дефиците вольфрама, молибдена, кобальта, редкоземельных и других элементов, новые технологии поверхностного легирования выходят на передовые позиции. Одним из экологиче-

ски чистых, энергоемких и хорошо поддающимся автоматизации процессов является лазерное легирование. Высокие скорости нагрева и охлаждения позволяют получать слои со специальными свойствами. Не маловажен факт возможности избирательного легирования, в том числе и труднодоступных участков рабочих элементов деталей машин, приборов и другого оборудования.

В докладе излагается технология лазерной закалки и легирования, позволяющая выявить и реализовать потенциальные возможности углеродистых и низколегированных сталей, в частности для задач инструментального производства.

Одним из основных параметров, определяющих трибофизическое состояние контакта, является коэффициент трения и динамическая контактная прочность. Лазерная обработка вызывает общее повышение трения для всего класса углеродистых сталей в среднем на 20 %. Однако, несмотря на некоторое ухудшение трибофизического состояния поверхности, лазерная обработка снижает чувствительность материала к нагрузке. Износостойкость штампов, к примеру, возрастает в 1,5 - 3 раза, а долговечность вырубных штампов в 2 раза. Исследование воздействия лазерного излучения на железные сплавы показывает, что в них протекают структурные и фазовые превращения, обычно мало отличающиеся от процессов, протекающих при других известных методах скоростного нагрева и упрочнения материалов. Однако особенности лазерного излучения (малая длительность воздействия и высокая удельная мощность закачиваемой в поверхность энергии) приводят к появлению некоторых черт, которые не наблюдаются практически ни при одном другом виде обработки. Сюда, в первую очередь, следует отнести аномально высокую микротвердость в зонах воздействия импульсов свободной генерации и перераспределение в облученной области таких элементов, как: углерод, никель, марганец, титан. Искажение структуры в сплавах на основе железа так велики, что кристаллическое строение малоразрешимо и можно полагать, что за время, в течение которого лазерный луч расплавляет тончайший поверхностный слой, не успевают пройти процессы сегрегации, процессы разделения фаз, не успевают вырасти кристаллические зерна различных размеров. Это, вероятно, связано с влиянием углерода на изменение решетчатой теплопроводности фаз железа.

При лазерной обработке особенно важное значение имеет исходная структура. Чем мельче карбиды и чем равномернее они распределены в структуре перед облучением, тем лучше они растворяются, тем больше степень гомогенизации аустенита. Наиболее предпочтительной исходной

структурой является сорбит. В связи с этим целесообразно детали перед лазерной обработкой подвергать улучшению или нормализации.

С точки зрения износостойкости оптимальные структуры, получаемые посредством лазерного облучения, представляют собой мелкоиглчатый мартенсит с тонкой трооститной сеткой для заэвтектоидных сталей и дробленные зерна тонкопластинчатого перлита с малыми межферритными промежутками и фазовым наклепом после  $\alpha \rightarrow \gamma$  перекристаллизации для доэвтектоидных сталей, при этом микротвердость поверхности возрастает в 2 - 3 раза.

Решена была и задача повышения износостойкости электромеханических систем радиотехнических устройств, при эксплуатации которых возникает малоамплитудный фреттинг.

На железную (или латунную) поверхность осаждается два слоя металлического покрытия, верхний из которых является пористым. Нижний слой покрытия выполняется из металла, имеющего более высокий коэффициент теплового расширения, чем верхний, и изделие после нанесения двухслойного покрытия подвергается лазерному облучению с длительностью импульса порядка  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$  сек. и энергией 7-9 Дж. Комбинация покрытий следующая: Co-Cr, In-Ni, Ag-Ni, Cu-Ni, Sn-Ni.

Вследствие светового давления и термического эффектов происходит механическое перемешивание двух металлических слоев покрытия за счет проникновения материала нижнего слоя в поры верхнего. В области трения осуществляется анодная пассивация, приводящая к торможению окислительных процессов, а аморфизация тонкого поверхностного слоя резко снижает адгезию. Коэффициент трения достигает значений 0,04...0,12, что значительно меньше получаемых при известных способах нанесения металлических покрытий.

Нанесение двухслойного электролитического покрытия с последующей обработкой лазерным лучом намного менее трудоемко, чем нанесение многослойного покрытия с промежуточным комбинированным слоем.

Рассмотренные здесь композиции показали износостойкость в 50...100 раз больше, чем у стальных поверхностей, и в 10...20 раз выше, чем у стальных поверхностей с никелевым и кадмиевым покрытиями.

Технологически отработаны режимы и изучена структура, формирующаяся в инструментальных быстрорежущих сталях и твердых сплавах. Выявлены различия в фазовых превращениях и процессах структурообразования при импульсной лазерной обработке безвольфрамовых и вольфрамосодержащих быстрорежущих сталей. Обработка рабочих поверхностей производится в режиме оплавления тонкого поверхностного слоя с предварительно нанесенным порошком смеси аморфного бора и кремния в



пропорции 1:1. При лазерном легировании происходит локальное насыщение поверхности с большой скоростью и до более высоких концентраций легирующего компонента, чем при обычных диффузионных процессах. Легирование бором и кремнием позволяет резко повысить твердость, теплостойкость и износостойкость в 2...5 раз сталей, при незначительном снижении пластичности. Рекомендуется при предварительном нанесении обмазки не выходить за пределы 0,06...0,1 мм по толщине.

Все указанные выше исследования выполнены на отечественном оборудовании "Квант-16" и "Квант-18М" с разработкой ряда приспособлений (в том числе оптических формирующих систем, вращающихся зеркал и т. п.) с целью повышения эффективности и технологичности установок.

Исследования по лазерному легированию и закалке выполнены для широкого класса металлов.

### ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Ишин Н.Н., Басинюк В.Т., Берестнев Я.О., Антюшеня Л.М.  
(ИНДМАШ, г. Минск, Беларусь)

*The offered technique of definition of own frequencies of the mechanism, is based on invariability of own frequencies of oscillatory system at change of frequency of the revolving factors, influencing on her.*

Выявление и распознавание частот вынужденных и собственных колебаний механической системы с последующей идентификацией внешних воздействий, источников колебаний и параметров упругой системы, является одной из основных задач при исследовании динамических качеств объекта.

Зубчатые сопряжения являются одними из наиболее интенсивных возбудителей вибраций и динамических составляющих нагрузки в приводных механизмах современных машин. В то же время параметры вибрационных спектров - частотный состав, уровни амплитуд, диссипативные характеристики, наиболее информативны для оценки конструкций, качества изготовления, расходования ресурса работоспособности механизмов и деталей собственно зубчатых передач [1].

Традиционные методы и универсальные приборы для измерений параметров вибраций механизмов часто не обеспечивают получение достаточной информации и очень трудоемки при их использовании конкретно для диагностики состояния работоспособности зубчатых передач, динами-

ка которых очень сложна из-за конструктивных и кинематических особенностей зубчатых зацеплений, особенно в сочетании с проявлениями износов их рабочих поверхностей при различных длительностях эксплуатации.

Созданный в Институте надежности машин Национальной академии наук Беларуси совместно с ИЭ специализированный диагностический комплекс "Вибротест-97" на базе персональной ЭВМ notebook "JETBOOK xp5" сопряженной посредством микропроцессорного модуля, включающего в себя усиливающие и согласующие подсистемы и соответствующее программное обеспечение, с пьезоэлектрическими вибродатчиками и тензомостами, обеспечивает возможность путем одновременного вывода на экран монитора и совместного анализа вибрационных спектров, полученных при различных эксплуатационных режимах, непосредственно определять основные собственные частоты исследуемого механизма, т.е. проводить прямую инструментальную идентификацию динамических систем. При этом в комплексе отработана методика получения уточненных вибрационных спектров зубчатых передач, очищенных от ложных компонент.

Дополнение спектрального анализа, вибрационных сигналов диагностируемых зубчатых передач результатами специально проведенного прямого тензометрирования динамической нагрузки, генерируемой и передаваемой зубчатым сопряжением на его собственной частоте, в реальном масштабе времени позволяет протаривировать амплитуды общих вибра-

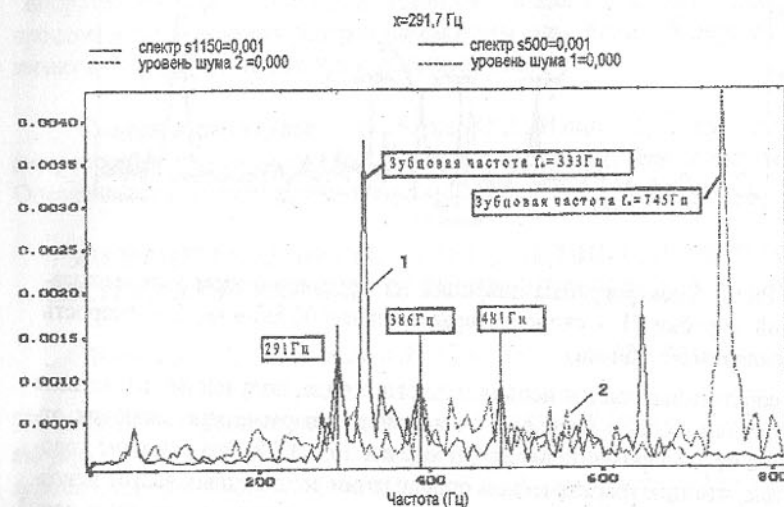


Рис. 1. Спектрограмма вибраций на подшипниковом узле испытательной коробки (1 - скорость вращения  $n=500$  об/мин; 2 - скорость вращения  $n=1000$  об/мин).

ционных спектров на их собственной частоте. Таким образом, впервые представляется возможность непосредственно из вибрационного спектра определить реальную величину нагрузки в зацеплении диагностируемой передачи, а следовательно оценить и ее ресурс.

Методические подходы определения собственных частот отрабатывались на стенде с разомкнутым силовым контуром для испытания зубчатых передач. В передаче испытывалась пара прямозубых зубчатых колес с числом зубьев  $Z_1 = Z_2 = 40$ ; шириной  $b=10$  мм; углом зацепления  $\alpha=20^\circ$ ; при частоте вращения  $n=100\ldots3000$  об/мин и передаваемых вращающих моментах 50...250 Нм.

Анализ полученных спектров (рис. 1...3) показывает, что при изменении скорости вращения вынужденные частоты смещаются по частотной оси, собственные частоты механической системы (291; 386; 481 Гц) остаются на прежнем месте этой оси, изменяя только свою амплитуду. Срав-

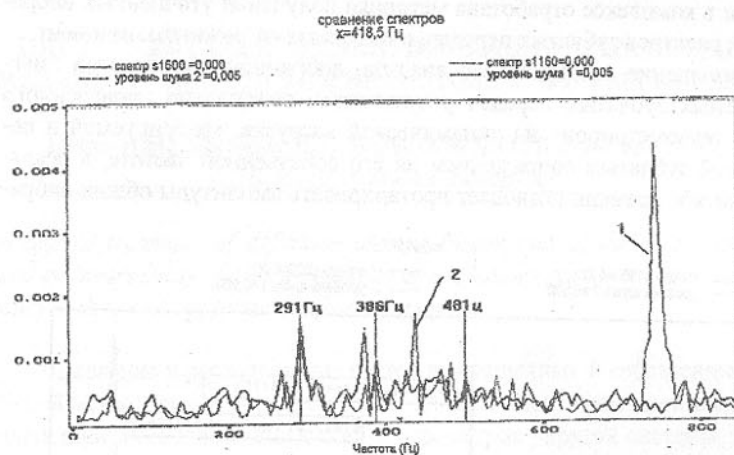


Рис.2. Спектрограмма вибраций на подшипниковом узле испытательной коробки (1 - скорость вращения  $n=1000$  об/мин; 2 - скорость вращения  $n=1500$  об/мин).

нение собственных частот испытательного стенда, полученных расчетным и экспериментальными методами показывает, что расчетные значения отличаются от экспериментальных в пределах 25... 30%. Это различие говорит о том, что при теоретическом определении собственных частот невозможно точно определить жесткостные параметры системы, поэтому наиболее близкими к реальным являются величины, определенные экспериментально.

Полученные при использовании диагностического комплекса

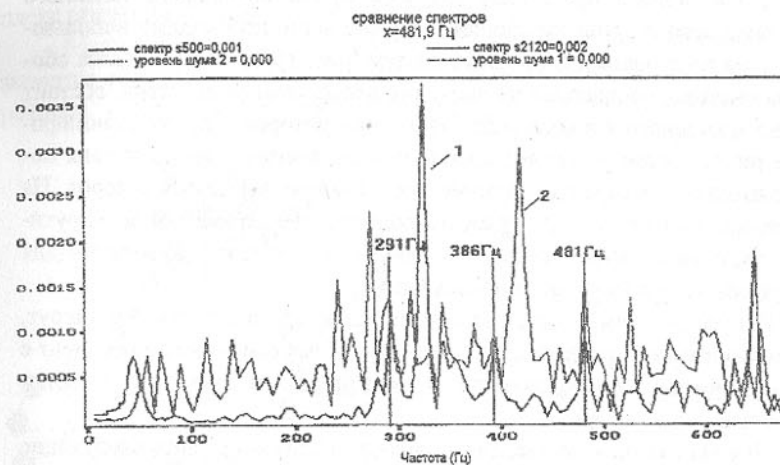


Рис.3. Спектрограмма вибраций на подшипниковом узле испытательной коробки (1 - скорость вращения  $n=500$  об/мин; 2 - скорость вращения  $n=2000$  об/мин).

"Вибротест-97" дополнительные возможности анализа качества работы и процессов расходования ресурса рассматриваемой зубчатой передачи позволяют найти эффективные пути их повышения.

**Список литературы:** 1. Берестнев О.В., Ишин Н.Н. и др. Создание микропроцессорного комплекса для диагностики технических систем. Ч 1. Оперативно-информационные материалы. Мн. 1996., 57с.

## ЭЛЕМЕНТЫ МАРШРУТИЗАЦИИ ИЗДЕЛИЙ В РОТОРНЫХ СИСТЕМАХ СБОРКИ С РАЗВЕТВЛЯЮЩИМИСЯ ПОТОКАМИ

Ищенко А.Л., Михайлов А.Н. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*The assembly components movement routes for ramified flows are examined in the paper. The assembly components movement relationships on the assembly systems outlet and inlet positions are obtained. The given relationships allow to prognosticate the assembly components movement on the rotors positions at any moment.*

Сборочные процессы являются сложными технологическими про-



цессами. Сборочные операции являются различными по времени их выполнения и сложности, поэтому для обеспечения выполнения заданного технологического процесса сборки довольно часто необходимо использование разветвляющихся сборочных систем (рис. 1). Разветвляющаяся сборочная система, основанная на системах непрерывного действия, состоит из одного входного и  $n$  количества выходных роторов. При функционировании таких систем возникает проблема определения взаимодействия позиций входного ротора с позициями последующих выходных роторов. На основании этого ставим цель работы: определение параметров маршрутизации движения промежуточных сборочных компонент или изделий для разветвляющегося выходного потока (маршрута).

Разветвляющимся выходным маршрутом называется такой маршрут, который образуется после выхода промежуточных сборочных компонент с входного ротора и последовательной их передачи на позиции  $n$ -го количества выходных роторов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить количество различных маршрутов движения промежуточной сборочной компоненты или изделия;
2. Определить параметры полного кинематического цикла движения промежуточной сборочной компоненты или изделия;
3. Определить, в каком номере маршрута участвуют те или иные позиции входного и выходных автоматических технологических сборочных модулей.

Количество различных маршрутов - это максимально возможное их количество без учета повторения.

Полным кинематическим циклом движения маршрутов промежуточной сборочной компоненты или изделия называется то количество маршрутов, которое образуется до момента повторения цикла функционирования входного ротора, рабочие позиции которого должны совпасть с рабочими позициями выходных роторов аналогично началу функционирования всей сборочной системы.

Условно назовем ротор, который выполняет  $i$ -ую операцию технологического процесса, входным ротором, а роторы, выполняющие  $(i+1)$ -ую операцию - выходными роторами.

Рассмотрим автоматическую технологическую сборочную систему, состоящую из множества автоматических технологических сборочных модулей первого класса  $P = \{P_1, P_2\}$ , где  $P_1$  - входной сборочный ротор, состоящий из  $V_1$  количества позиций,  $\{P_1\} = \{1, 2, \dots, V_1\}$ ;  $P_2$  - множество, описывающее общее количество выходных роторов,  $P_2 = \{P_{21}, P_{22}, \dots,$

$P_{2V_2}\}$ , где, в свою очередь,  $P_{2i} = \{1, 2, \dots, V_{2i}\}$  (рис. 1), выполняющую комплекс операций заданного технологического процесса.

Маршрутом промежуточной сборочной компоненты или изделия называется определенная совокупность позиций входного и  $i$ -го выходного роторов, участвующих в технологическом процессе сборки и транспортирования (если таковое имеет место) от позиции загрузки промежуточной сборочной компоненты до позиции выгрузки промежуточной сборочной компоненты более сложной структуры, по сравнению с входной промежуточной компонентой, или готового сборочного изделия в целом.

Авторами в работах [1-3] были сформулированы некоторые предложения, которыми воспользуемся для достижения поставленной цели и, как следствие, для решения поставленных задач.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи, приведенные выше.

Используя положения алгебры групп, количество различных маршрутов промежуточной сборочной компоненты или изделия определится по зависимости

$$N_1 = \sum_{i=1}^{V_2} \text{НОК}_i(n_2, V_{2i}), \quad (1)$$

где  $n_2$  - число маршрутов, проходящих через каждый выходной ротор, и определяется по зависимости

$$n_2 = \frac{N_2}{V_2}, \quad (2)$$

где  $V_2$  - количество выходных роторов;

$N_2$  - число маршрутов, приходящихся на одну позицию входного ротора без учета количества маршрутов, проходящих по позициям выходных роторов.

$N_2$  определяется по формуле

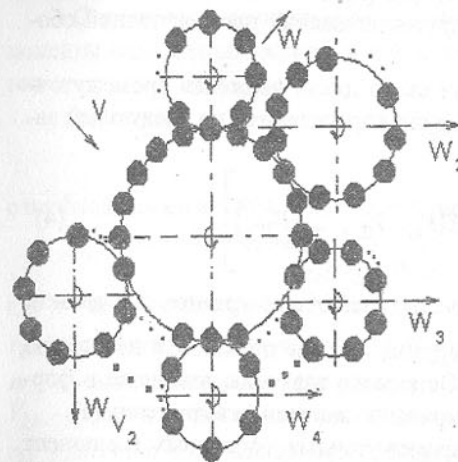


Рис. 1. Сборочная роторная система с разветвляющимся выходным потоком.

$$N_2 = \text{НОК}(V_1, V_2), \quad (3)$$

где  $V_1$  - количество позиций входного ротора;  
НОК - наименьшее общее кратное между количеством позиций входного ротора и количеством выходных роторов.

Совокупность зависимостей (1), (2), (3) дает возможность нахождения общего числа различных маршрутов движения промежуточной сборочной компоненты или изделия.

Параметры полного кинематического цикла движения промежуточной сборочной компоненты или изделия определяются по следующей зависимости

$$N = V_2 \text{НОК} \left[ \frac{\text{НОК}(V_1, V_2)}{V_2}, \text{НОК}(V_{21}, V_{22}, \dots, V_{2V_2}) \right]. \quad (4)$$

Здесь  $\text{НОК}(V_{21}, V_{22}, \dots, V_{2V_2})$  - наименьшее общее кратное и в данном случае определяет количество маршрутов, которое приходится на каждую позицию всех выходных роторов. Остальные значения, входящие в формулу (4), аналогичны по своему содержанию значениям выражения (1).

Определение прохождения промежуточных сборочных компонент по всем позициям входного ротора и выходных роторов проведем в несколько этапов.

Положение промежуточной сборочной компоненты в зависимости от номера маршрута в входном роторе определяется следующими зависимостями:

$$\begin{cases} \left\lceil \frac{V_0}{V_1} \right\rceil = n_1; \\ r_1 = V_0 - n_1 V_1, \text{ если } r_1 = 0, \text{ то } r_1 = V_1, \end{cases} \quad (5)$$

где  $V_0$  - номер маршрута движения промежуточной сборочной компоненты;

$n_1$  - число целых циклов работы входного ротора;

$r_1$  - номер позиции входного ротора.

Нахождение промежуточной сборочной компоненты в  $i$ -ом сборочном технологическом модуле на  $j$ -ой сборочной позиции по номеру маршрута движения осуществляется в несколько этапов. На первом этапе необходимо определить положение промежуточной сборочной компоненты относительно выходных роторов, т.е. определить, в каком выходном роторе находится промежуточная сборочная компонента. Определение нахож-

дения промежуточной сборочной компоненты в выходном роторе осуществляется с помощью зависимости:

$$R_k = V_0 - nV_2. \quad (6)$$

где  $R_k$  - номер выходного ротора;

$n$  - число целых циклов работы выходного  $k$ -го ротора.

Определение позиции нахождения промежуточной сборочной компоненты или изделия осуществляется на основании следующего выражения

$$n + \frac{R_k}{r_k} = n_{2k} V_{2k} + r_{2k} \quad (7)$$

с необходимыми и достаточными условиями:

если  $R_k = 0$ , то  $R_k = r'_k = V_2$ ; если  $R_k = m$ , то  $r'_k = m$ ;

если  $r_{2k} = 0$ , то  $r_{2k} = V_{2k}$ ;

где  $n$  - целое число циклов работы  $k$ -го выходного ротора;

$r'_k$  - промежуточное значение позиций выходного ротора;

$m$  -  $m$ -ая позиция выходного ротора;

$V_{2k}$  - общее количество позиций  $k$ -го выходного ротора;

$r_{2k}$  - позиция  $k$ -го выходного ротора, соответствующая  $V_0$  номеру маршрута движения промежуточной сборочной компоненты.

Зависимости (6), (7) позволяют определить маршруты движения промежуточной сборочной компоненты по всем позициям входного и выходных роторов.

Разработанные зависимости позволяют определить движение промежуточной сборочной компоненты в сложных технологических системах по каждой из позиций сборочных модулей, что необходимо для эффективного контроля функционирования этих систем.

**Список литературы:** 1. Михайлов А.Н. Разработка методов проектирования высокоэффективных поточно-пространственных технологических систем: Дис. ... д-ра техн. наук. - Харьков, 1991. - 498 с. 2. Михайлов А.Н., Тернюк Н.Э. К расчету параметров маршрутизации изделий в поточно-пространственных технологических системах // Известия вузов. Машиностроение, 1990, с. 11. 3. Михайлов А.Н., Тернюк Н.Э. Элементы теории маршрутизации предметов обработки в поточно-пространственных технологических системах // Теория механизмов и машин, 1991, вып. 51.



# СТЕРЕОМЕТРИЯ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ТОЧНОГО ТОРЦОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИМИ ПЛАСТИНАМИ

Кавалец М., Круль Г., Янковяк М.

(Познаньский технический университет, г. Познань, Польша)

The theoretical model analysis of the face milling surface and the experimental verification of this model have been shown in the paper. There have been machined the hardened bearing steel LH15 (59 HRC) with the face milling cutter containing cutting edges made of black tool ceramics MC2. There have been stated the nonmonotonic changes of roughness height during machining.

Все чаще для точной обработки поверхности закаленной стали вместо шлифования применяется точение или торцовое фрезерование [1,2]. Это возможно в результате использования таких современных материалов режущих пластин как нитрид бора или инструментальная керамика. При этом зачастую достигаются увеличение производительности обработки (в сравнении со шлифованием) и полезное физическое состояние поверхностного слоя при обработке без применения СОЖ. В случае торцового фрезерования детали шириной В (рисунок 1) геометрическое состояние поверхностного слоя описывается переменными по ширине теоретическими высотами микронеровностей  $R_t$ . Для односторонних следов обработки значение  $R_t$  определяется формулой:

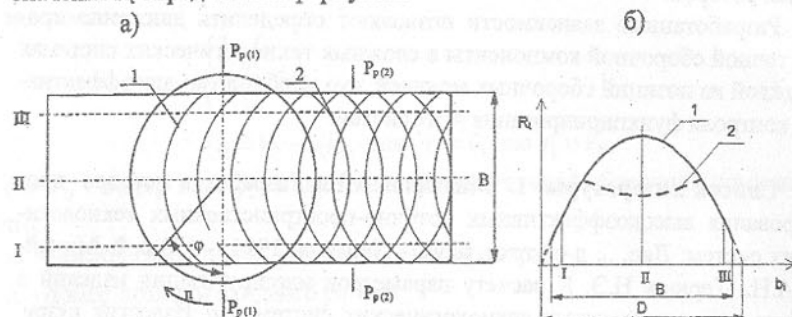


Рис. 1. Модель формирования обработанной поверхности для процесса торцового фрезерования:

- а) односторонние (1) и двухсторонние (2) следы обработки;
- б) максимальная теоретическая шероховатость в сечении Рр-Рр

$$R_t = r_\epsilon - 0.5 \sqrt{4r_\epsilon^2 - f_z^2 \sin^2 \varphi},$$

где:  $r_\epsilon$  - радиус вершины;

$f_z$  - подача на зуб;

$\varphi$  - угол расположения лезвия относительно плоскости (Рр-Рр) (см. рис. 1)

Для двухсторонних следов обработки высота микронеровностей  $R_t$  меньше, чем для односторонних для части ширины В (кривая 2 на рис. 16).

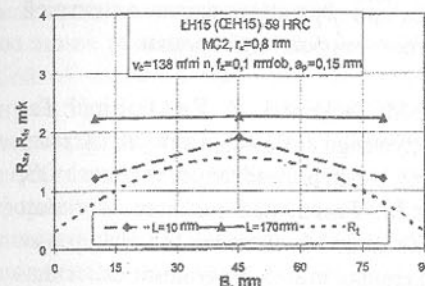


Рис. 2. Изменение теоретической и действительной шероховатостей на ширине В фрезерованной плиты для расстояния  $L_1$  и  $L_2$ .

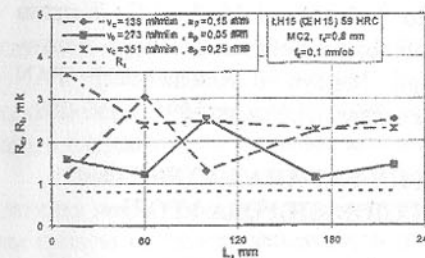


Рис. 3. Изменение шероховатости  $R_z$  на длине L фрезерованной поверхности для различных параметров обработки.

Результаты исследований представлены на рисунке 2. Анализ результатов показывает, что  $R_t < R_z$ . С увеличением времени резания (длины обрабатываемой плиты L) возрастает расхождение между действительной  $R_z$  и теоретической  $R_t$  высотами шероховатости. Это является результатом изменяющегося состояния режущей кромки (остроты лезвия) и устойчивости системы СПИД. Полученная закономерность является характерной для процесса резания закаленных сталей поликристаллическими инструментами [3].

Явление немонотонных изменений параметра  $R_z$  во время резания [4] (для  $\varphi=90^\circ$ ) представлено на рисунке 3 для всех применяемых параметров обработки. Среднее значение параметра  $R_z$  находится в пределах  $1,5\div 3,2$  мкм. Подобные значения шероховатости  $R_z$  получены при фрезеровании круглой керамической пластиной радиусом  $r_c = 10$  мм [5]. Следовательно, можно предположить, что для точной обработки с применением поликристаллических лезвий из нитрида бора или инструментальной керамики величина радиуса при вершине  $r_c$  влияет в меньшей степени на значение  $R_z$  чем подача  $f_z$  и острота режущей кромки.

**Список литературы:** 1. Kawalec M., Jankowiak M., Krol G. i inni: Teoretyczne i doswiadczone podstawy efektywnego stosowania nowych narzedzi i materialow na ostrza skrawajace. Raport z badan prowadzonych w ramach DS, TB-22-002/97-DS, Poznan 1997. 2. Patz M.: Frasen statt Schleifen. Werkstatt und Betrieb. (1996) nr 3, s.128-130. 3. Кавалец М., Янковяк М.: Некоторые особенности финишного точения закаленных сталей режущими пластинами из нитрида бора и инструментальной керамики. Резание и инструменты в технологических системах, N 50, ХПТУ Харьков. 1995-1996, с. 97-102. 4. Kawalec M., Jankowiak M., Krol G.: Dokladne toczenie i frezowanie czolowe ostrzami ceramicznymi i supertwardymi. Materialy seminarium Poznan - Berlin «Dokladna obrobka elementow maszyn». ITM PP, OBROiUS Poznan, TU Berlin. Poznan 25 kwiecień 1995, s. 107-120. 5. Jankowiak M., Krol G.: Warstwa skrawana i chropowatosc powierzchni obrobionej podczas czolowego frezowania skosnego. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji PAN O/Poznan, zeszyt 13, Wyd. Politechniki Poznanskiej, Poznan 1994, s. 197-207.

## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СИГНАЛОВ «ПОРОДА-УГОЛЬ»

Каганюк А.К., Кобазев В.П., Бакуновская Н.В.

(ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*The paper is devoted the figures-analogy converter which consist of the multivibrator and the integrator. In the text are described the correlations for calculation it's error.*

В системах автоматического управления угледобывающими комбайнами в профиле пласта используются датчики «ПОРОДА-УГОЛЬ» (ДПУ), поскольку новая компоновочная схема перспективного ряда комбайнов типа РКУ предусматривает два разнесенных шнека, то, соответст-

венно, устанавливается и два таких датчика.

Наиболее эффективный контроль и управление могут быть достигнуты только в том случае, если в системе сведено до минимума транспортное запаздывание между точкой приложения управляющего воздействия (в данном случае изменчивость рельефа почвы или кровли пласта) и точкой контроля этого воздействия [1]. Поскольку комбайн перемещается вдоль забоя и вместе с комплексом в направлении его подвигания, оптимальным является размещение ДПУ непосредственно на режущем органе по линии резания кутковых зубков, оконтуривающих режущий орган с забойной стороны. При этом транспортное запаздывание в системе равно нулю. Установка ДПУ на режущем органе имеет и то важное преимущество, что позволяет применять одинаковое техническое решение при управлении комбайном относительно почвы и кровли пласта. Дискретная информация о контролируемой толщине угольной пачки, поступает на аналоговый преобразователь в определенные интервалы времени. Уровень выходного напряжения контролируется пороговыми элементами, которые вырабатывают управляющие воздействия на режущие органы комбайна.

Преобразователь состоит из мультивибратора и интегратора.

Погрешность мультивибратора связана с совпадением во времени двух импульсов от датчика и состояния мультивибратора «не готов». Это состояние определяется по соотношению:

$$t_{H3} \approx 0,7R \cdot C.$$

где  $R, C$  — параметры времязадающей цепи мультивибратора.

Вероятность появления импульсов от датчика, в соответствии с его технической характеристикой (генерируется более 20 импульсов в секунду), определяется нормальным законом распределения.

Оценим приближенно вероятность совпадения двух импульсов от датчика и состояние мультивибратора «не готов». Для этого аппроксимируем кривую плотности вероятности тремя отрезками прямых двумя параллельными оси  $Y$  и одной параллельной оси  $X$ , проходящей через точку максимума плотности вероятности. Для этой функции  $f(t)$  должно выполняться условие:

$$S = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1.$$

Откуда протяженность отрезка прямой параллельной оси  $X$  равна:

$$t_{\text{инт}} = \frac{S \cdot \sigma}{f_{\text{max}}}.$$

где  $f_{\text{max}}=0,4$  для нормированного ( $\sigma=1$ ) распределения.

Число интервалов состояния «не готов» определится соотношением:



$$K = \frac{t_{\text{инт}}}{t_{\text{из}}}$$

В статическом режиме датчик генерирует  $n$  импульсов в секунду. Следовательно математическое ожидание появления одного импульса и среднеквадратичное отклонение соответственно равны:

$$m = \frac{1}{n} \quad \text{и} \quad \sigma = \sqrt{m}.$$

Выберем первый интервал в районе математического ожидания, тогда вероятность совпадения для нормированного и центрированного распределения составит:

$$P_1[m < t < (m + t_{\text{из}})] = \Phi\left(\frac{t_{\text{из}}}{\sigma}\right).$$

Приняв на остальных интервалах такую же вероятность найдем суммарную максимальную вероятность совпадений:

$$P_{\text{max}} = P_1 \cdot K.$$

Учитывая, что  $t_{\text{инт}}/2$  не намного больше  $\sigma$ , можно считать нижним пределом вероятности совпадений величину:

$$P_{\text{min}} = P_{\text{max}} / 2.$$

Таким образом, минимальная ошибка из-за совпадений импульсов составит:

$$\delta_m = P_{\text{min}}.$$

Погрешность вносимая интегратором имеет существенное значение при использовании пассивной RC-цепи. В этом случае интегратор может быть выполнен в виде схемы из резистора  $R_1$ , соединенного последовательно с параллельной  $R_2C_1$ -цепочкой. Данная схема соответствует инерционному звену первого порядка. Параметры звена определяются следующими соотношениями [2]:

$$K_y = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{и} \quad \tau = K_y R_1 C_1.$$

Связь между напряжениями на входе и выходе этой RC схемы определяется уравнением:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot K_y \left( 1 - e^{-\frac{t_{\text{зар}}}{\tau}} \right).$$

Тогда относительная ошибка интегрирования найдется как

$$\delta_n = \frac{U_{\text{ид}} - U_{\text{вых}}}{U_{\text{ид}}},$$

$$\text{где } U_{\text{ид}} = U_{\text{вх}} \cdot K_y \cdot \frac{t_{\text{зар}}}{\tau}.$$

Разложим экспоненту в ряд и ограничиваясь двумя первыми членами получим следующее выражение для определения относительной ошибки интегрирования:

$$\delta_n = \frac{t_{\text{зар}}}{2\tau}.$$

В целом, суммарная ошибка цифро-аналогового преобразователя, проявляющаяся в ухудшении быстродействия, составит:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_m^2 + \delta_n^2}.$$

Расчет погрешностей показал, что предлагаемый цифро-аналоговый преобразователь обеспечивает необходимое качество контроля и управление угледобывающим комбайном.

Стендовые системы автоматического управления угледобывающим комбайном в профиле пласта показали, что расчетные значения погрешности соответствуют реальным погрешностям. Попытка увеличить чувствительность (быстродействие) системы путем уменьшения порога срабатывания исполнительного устройства вызывает уменьшение погрешности преобразования.

**Список литературы:** 1. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М.: Физматгиз, 1962.-883 с. 2. Поспелов Д.А. Логические методы анализа и синтеза схем. М.: Энергия, 1968.- 328 с.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Калафатова Л.П. (ДонИТУ, г. Донецк, Украина)



*Operation characteristics of pyroceramics goods depend on the defectness of the machined surface which is predetermined by the level of force of grinding. The principles of modelling the technological processes of pyroceramics goods abrasive machining have been worked out. These principles ensure minimal force of grinding on the surface formed.*

Эксплуатационные характеристики изделий из конструкционных хрупких материалов на основе стекла непосредственно связаны с дефект-

ностью формируемого при механической обработке поверхностного слоя деталей, что обусловлено особенностями их абразивного диспергирования, связанного с физико-механическими характеристиками материалов и, прежде всего, с повышенной хрупкостью.

По данным литературных источников установлено, что в зависимости от условий взаимодействия стекломатериалов с режущими зёрнами инструмента в зоне контакта можно получить различные виды деформаций от упругой с пластическим перемещением материала до хрупкого разрушения. Шлифование при малых нагрузках на зёрна абразива и чрезвычайно малой глубине внедрения в обрабатываемый материал (финишные операции) представляет собой упругопластическое разрушение с образованием выдавленных царапин и царапин, сопровождающихся отделением стружки. Процесс шлифования при условиях, обеспечивающих интенсивное разрушение поверхности (черновые операции обработки), реализуется как хрупкое разрушение с образованием царапин, системы трещин и выкалыванием материала. Интенсивность диспергирования и структура получаемой поверхности определяются тем, какой из процессов разрушения преобладает, так как в общем виде процесс абразивного диспергирования происходит при наличии одновременно и хрупких и упругопластических деформаций материала.

При черновой обработке процесс резания может моделироваться как процесс трещинообразования, в котором напряжённое состояние материала определяется особенностями возникновения и движения трещины разрушения. Совокупность элементарных сил, возникающих при резании на площадках фактического контакта алмазных зёрен и обрабатываемого материала, может быть представлена в виде результирующих нормальной  $P_N$  и тангенциальной  $P_T$ , составляющих силы резания. При этом  $P_N$  определяет степень сближения между инструментом и деталью и направлена в формируемый поверхностный слой,  $P_T$  - развивается при относительном перемещении контактных поверхностей. Обе эти силы должны рассчитываться с позиций теории трещинообразования.

$P_T$ , характеризующая энергоёмкость разрушения припуска, может быть определена в условиях реализации схемы свободного прямоугольного резания и может быть выражена уравнением

$$P_T = \frac{E\gamma ab}{L[\sigma_p] \sin \beta_1}, \quad (1)$$

где  $E$  - модуль упругости первого рода;  $\gamma$  - удельная свободная поверхностная энергия твёрдого тела;  $a, b$  - соответственно толщина и ширина срезаемого слоя;  $L$  - длина сечения скола;  $[\sigma_p]$  - опасное напряжение, нормаль-

ное к плоскости трещины; для хрупких материалов совпадает с пределом прочности при растяжении.

Значение нормальной составляющей (сжимающей) силы резания на зерне, достаточной для разрушения материала определится как

$$P_N = A_1 [\gamma]^3 R^2, \quad (2)$$

где  $A_1$  - постоянный коэффициент, равный  $1.77^3 \pi^5 / 6(k_1 + k_2)$ , в свою очередь  $k_1$  и  $k_2$  - константы, определяемые упругими характеристиками обрабатываемого материала и зерна;  $R$  - радиус зерна-индентора в зоне контакта.

Анализ механизма отделения объема материала при резании хрупких материалов позволяет описать его следующим образом. В начальный момент контакта передней поверхности зерна с обрабатываемым образцом прилегающий к режущей кромке объем материала подвергается деформациям сдвига. Увеличение нагрузки в сочетании с неоднородностями сдвигообразования, вызванными наличием микродефектов в структуре материала, приводят к резким локальным концентрациям напряжений и зарождению магистральной трещины разрушения. Дальнейшее увеличение нагрузки сопровождается ростом трещины и при достижении ею критической величины происходит скол элемента объема твёрдого тела путем хрупкого отрыва под действием растягивающих напряжений, нормальных поверхности трещины. Скол элемента стружки сопровождается резким падением напряжений в материале. Затем цикл повторяется. Время цикла составляет  $10^{-3}$  -  $10^{-5}$  с.

Таким образом, при взаимодействии зерна с обрабатываемой поверхностью образуются царапины, сопровождаемые трещинами, которые частично проникают на значительную глубину, а частично, выходя к поверхности и пересекаясь друг с другом, образуют на ней углубления, в сочетании с системой выколов и раковин, формируя рельефный слой  $h_p$ . Продолжающиеся в глубь материала под рельефным слоем части трещин остаются при этом в виде так называемого трещиноватого слоя  $h_m$  и совокупности этих двух слоев образуют разрушенный слой  $H_p$ , глубина и структура которого определяется уровнем силового воздействия на поверхностный слой изделия и, прежде всего, величиной силы  $P_N$ .

Как следует из уравнений (1) и (2), величины составляющих силы резания, а, следовательно, энергоёмкость процесса резания зависят от значения удельной свободной поверхностной энергии обрабатываемого материала. Изменяя величину  $\gamma$  за счет введения в зону обработки поверхностно-активных технологических сред, возможно уменьшить энергоёмкость процесса диспергирования припуска и добиться интенсификации процесса



резання без ушкодження якості формовуваної поверхності, що підтверджено практично [1].

Експериментально встановлено, що дефектність формовуваного шару при обробці хрупких неметалічних матеріалів, залежить від можливості підтримання енергетичних (силових) впливів на матеріал на заданому рівні, пов'язаній передусім з забезпеченням високих режущих властивостей інструмента. С цією метою розроблено спосіб автоматизованої правки кругів вільним абразивом на робочих швидкостях [2]. Її достоїнством є: точність і стабільність формування заданого мікрорельєфу абразивного інструмента, універсальність по відношенню до типу зв'язки кругів. Застосування вказаного способу правки на операціях плоского шліфування шліфувальних матеріалів дозволило, порівняно з традиційними способами, знизити енергоємність процесу шліфування на 35%, глибину проникнення дефектного шару вдвічі, скоротити витрати алмазу в 1,5 - 2,5 рази при забезпеченні надійності технологічного процесу обробки деталей.

**Список літератури:** 1. Калафатова Л.П. Влияние технологической наследственности на эффективность процессов механической обработки стекломатериалов // Справочник. Инженерный журнал. 1997. № 9. С. 7 - 11. 2. А.с. № 1839393 СССР Способ правки абразивного инструмента / В.В. Бурмистров, А.В. Байков, Л.П. Калафатова и др. - 1993. - Бюл. N 29.

## МЕТОДОЛОГІЯ ТА ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З МЕХАТРОНІКИ

Калашніков В.І. (ДонДТУ, Донецьк, Україна),

Каспер Р. (Магдебурзький університет, Магдебург, Німеччина)

Аналіз зарубіжної інформації показує, що розвиток машинобудування йде в напрямку мехатроніки. Мехатроніка є міждисциплінарною інженерною наукою, яка за останні десять років знайшла тверде місце на перехресті машинобудування, електротехніки та інформатики.

Наріжним камнем мехатроніки є системність, що дозволяє розглядати багато високотехнологічних виробництв як єдине ціле при формулюванні вимог та виборі методів на етапах аналізу, проектування, виготовлення та експлуатації. Вирішальне значення має інтеграція технології, машинобудування та обробки інформації з самого початку в рамках системного проекту, а не подальше дооснащення установки. При цьому інтеграція підрозуміває синергетику окремих складових, коли ціле є

не тільки новим, але і вимагає зміни його складових внаслідок механізмів системного погодження та трансформування всіх підсистем. Привабливість та успіх мехатроніки тісно пов'язані з ринковим успіхом багатьох інноваційних мехатронічних виробів.

Важливі промислові галузі, такі, як автомобільна, літакобудування, верстатобудування, прокатне устаткування, побутова техніка та техніка приводу в останні роки пройшли важливі інноваційні цикли в значній мірі на основі високопродуктивних мехатронічних виробів. Було ліквідовано розподіл на спеціальні підрозділи з вузькоспеціалізованими фахівцями, які в загальній ієрархічній системі забезпечують оптимізацію вироблених товарів під кутом їх спеціалізації. На їх місці з'явилися міждисциплінарно думачі команди проєктантів, завдання яких полягає в оптимізації продукції в цілому під єдиними підпорядкованими точками зору.

Важливою перевагою мехатронічного підходу при проектуванні та виготовленні сучасного устаткування є те, що докорінно змінюється концепція удосконалення, діагностики та обслуговування машин. Завдяки інтегруванню мікроелектроніки в механіку, гідравліку, пневматику та електропривод виникають принципово нові можливості інтегрування устаткування в єдину автоматизовану систему. Для споживача такого мехатронічного обладнання це дає можливість превентивного забезпечення якості та контролю за станом обладнання, швидкого пошуку та ліквідації збоїв в роботі, а також застосувати упереджуючі дії по забезпеченню працездатності системи в цілому. Для виробника мехатронічного обладнання стає можливим доступ до інформації про стан роботи обладнання, його слабкі місця при роботі в різноманітних умовах експлуатації.

Завдяки інтеграції в єдину інформаційну систему виробник мехатронічного обладнання має можливість постійно удосконалювати свою продукцію і швидко реагувати на міжнародному ринку. А це вже принципово новий рівень розвитку машинобудування в двадцять першому столітті. І вища школа не може стояти осторонь цього нового стрибка науково-технічного прогресу. Вимоги до методів роботи і рівня підготовки інженера в цих умовах значно змінюються. Користуються попитом сильно формалізовані та такі, що виходять за рамки окремих спеціальностей знання та здібності до інтердисциплінарної сумісної роботи.

Що дає мехатронічний підхід при вирішенні задач проектування, виготовлення та експлуатації обладнання:

- підвищення продуктивності завдяки підвищенню рівня працездатності, підвищення гнучкості в дооснащенні в відповідності з побажаннями покупця, забезпечення сприятливих режимів роботи з метою

підвищення працездатності обладнання, економії енергії, зменшення браку, сприятливі умови для обслуговуючого персоналу та системна підтримка сервісного персоналу;

- зменшення часу при проектуванні, виготовленні технічної документації, монтажу та налагодці обладнання;
- спрощення проблем інтеграції мехатронічного обладнання в єдину інформаційну систему, що для споживача є дуже важливим, бо важко з самого початку оцінити всі необхідні комунікаційні задачі, а пізніше вирішення проблеми комунікації може бути пов'язане зі значними технічними і фінансовими витратами.

Тільки в університетській підготовці фахівців можливий системно-орієнтований, як єдине ціле, з необхідною методологічною глибиною та міждисциплінарною шириною розвиток мехатроніки.

При цьому ставиться нагальна потреба по-новому викласти і добре узгодити інженерно-технічні основи механіки, електротехніки та інформатики, а також проблемно-орієнтовані дисципліни спеціалізації.

Виходячи із цього в Донецькому державному технічному університеті разом з Магдебургським університетом сформована група студентів зі спеціалізацією мехатроніка. Навчальний план та програми спеціальних дисциплін скоординовано з навчальним планом кафедри Мехатроніки Магдебургського університету таким чином, щоб студенти мали можливість проходити включене навчання та дипломне проектування з використанням сучасного і дуже коштовного обладнання німецьких вузів. Ми вважаємо, що на цьому етапі співпраці дуже важливим є також синергетика зусиль українських та німецьких викладачів в становленні та розвитку молодого, але динамічного наукового та педагогічного напрямку в машинобудівному комплексі.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛИ ТЕПЛОТЫ, УХОДЯЩЕЙ СО СТРУЖКОЙ ИЗ ЗОНЫ ШЛИФОВАНИЯ

Калинин Е.П. (ПИМаш, г. Санкт-Петербург, Россия)

*Analytical equation how to estimate the distribution of the total quantity of warmth in a grinding zone between shaving and half-finished product.*

Особенностью современного шлифовального оборудования является значительное повышение уровня его автоматизации на основе станков с ЧПУ. В этих условиях резко возрастает необходимость разработки для

управления шлифовальными станками надежного программно-математического обеспечения оптимизации режимов обработки. Для этих целей широко применяются экспериментально полученные степенные зависимости сил резания, расходуемой мощности и других выходных параметров от режимов шлифования. Альтернативным экспериментальному методу разработан энергетический метод аналитического расчета оптимальных режимов резания при различных видах механической обработки [1,3].

Механическая энергия, расходуемая на резание, практически полностью превращается в тепловую энергию, а возникающая в зоне резания температура сама влияет на теплофизические и механические свойства обрабатываемого материала, уровень напряжений и сил резания.

Для решения оптимизационной задачи качественного безприжогового шлифования важно определить зависимость максимальной контактной температуры ( $\theta_k$ ) от технологических условий шлифования. При этом, в первую очередь, надо установить долю общего выделившегося в зоне резания тепла, идущего в заготовку.

При определении баланса тепла и представления его в критериальной форме [1] для всех видов механической обработки применим энергетический критерий  $A$ , характеризующий тепловую активность стружки по отношению ко всей выделяющейся в зоне резания теплоте. При точении

$$A = S t Cl \theta_k P_z^{-1} \quad (1)$$

где  $S$  - продольная подача, мм/об.заг.;  $t$  - глубина резания, мм;  $Cl$  - удельная объемная теплоемкость, Дж/(м<sup>2</sup>°C);  $\theta_k$  - контактная температура резания, °C;  $P_z$  - сила резания, Н. Произведение  $St$  - площадь сечения стружки, срезаемой резцом.

Применительно к шлифованию получим

$$A = \frac{a_z d_u n F_k C \rho \theta_k}{P_{z600} 3 \cdot 10^3 \theta_k^{-1,25}} \quad (2)$$

где  $a_z$  - средняя толщина среза отдельным зерном, мм;  $d_u$  - ширина среза отдельным зерном, равная среднему диаметру площадки затупления на вершине зерна, мм;  $n$  - количество режущих зерен, приходящихся на единицу площади рабочей поверхности абразивного инструмента, 1/мм<sup>2</sup>;  $P_{z600}$  - касательная составляющая силы резания (при температуре  $\theta_k \leq 600^\circ\text{C}$ );  $P_z = P_{z600} 3 \cdot 10^3 \times \theta_k^{-1,25}$  - касательная составляющая силы резания (при  $\theta_k > 600^\circ\text{C}$ ), Н.

С учетом наших экспериментально-теоретических разработок установлено, например, для плоского шлифования углеродистых низколегированных и нержавеющей сталей:

$$a_z = \frac{1,37 \cdot 10^{-8} V_{\text{спро}} t_{\phi}^{0,5} N^4}{V D_{\text{кр}}^{0,5} (31-C) d_u^3} \quad (3)$$

$$n = 1,15 \cdot 10^6 (31-C) N^4 d_u^2, \text{ мм}^2 \quad (4)$$

$$F_k = 1,1 (D_{\text{кр}} t_{\phi})^{0,5} S_{\text{поп}}, \text{ мм}^2 \quad (5)$$

$$\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \quad (6)$$

$$P_{z600} = \sigma_z t_{\phi} S_{\text{поп}} (0,49 V_{\text{спро}} V^1 + 0,16 \cdot 10^6 (D_{\text{кр}} t_{\phi})^{0,5} (31-C) N^4 d_u^4), \text{ Н} \quad (7)$$

$$d_u = 10^{-2} (31-C)^{0,25} N K_z^{0,25}, \text{ мм} \quad (8)$$

В выражения (3)...(8) обозначено:  $V_{\text{спро}}$  - скорость продольной подачи, м/мин;  $V$  - скорость резания, м/с;  $t_{\phi}$  - фактическая глубина шлифования, мм;  $D_{\text{кр}}$  - диаметр шлифовального круга, мм;  $\rho$  - удельный вес стали;  $N$  - зернистость круга,  $10^{-2}$ ;  $C$  - номер структуры круга;  $S_{\text{поп}}$  - поперечная подача;  $K_z$  - коэффициент затупления инструмента, %;  $C_{\text{углер}}$  - удельная теплоемкость углеродистых сталей.

$$\text{С учетом влияния температуры } C_{\text{углер}} = 1,33 \theta, \text{ Дж/(кг}^\circ\text{C)} \quad (9)$$

После подстановки в выражение (2) значений, входящих в него величин (3)...(8), получим:

$$A = \frac{0,37 \cdot 10^{-4} \theta_k^{3,25}}{\sigma_z \left( 300 + V D_{\text{кр}}^{0,5} K_z / (V_{\text{спро}} t_{\phi}^{0,5}) \right)} \quad (10)$$

Итак, безразмерный критерий  $A$  определяет долю общего тепла, отводимого стружкой из зоны резания.

При расчете величины контактной температуры мы использовали методику Сипалова В.А. [2], по которой количество тепла, уходящее в заготовку оценивается величиной:

$$\beta = 1 / \left( 1 + 4,46 \cdot 10^{-3} t_{\phi} V_{\text{спро}}^{0,5} / (l_{\text{ка}})^{1,5} \right) = 1 / \left( 1 + 3,1 t_{\phi}^{0,75} V_{\text{спро}}^{0,5} D_{\text{кр}}^{-0,25} \right) \quad (11)$$

Выражение [11] справедливо при условии, что для плоского шлифования длина дуги контакта  $l_{\text{к}} = (D_{\text{кр}} t_{\phi})^{0,5}$  и среднее значение коэффициента температуропроводности  $a$  при  $600^\circ\text{C}$  равен  $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . В результате нам получено для плоского шлифования:

$$\theta = \frac{11,7 K_{\text{сож}} (\sigma_z \alpha_z (300 + V D_{\text{кр}}^{0,5} K_z / (V_{\text{спро}} t_{\phi}^{0,5}))^{0,4}}{(M + D_{\text{кр}}^{0,25} / (V_{\text{спро}} t_{\phi}^{0,75}))^{0,4}}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Для углеродистых сталей  $M=3,1$ ; при подаче СОЖ поливом  $K_{\text{сож}}=1$ .

Так как  $\beta$  определяет отвод тепла в заготовку за вычетом отвода тепла в стружку (отводом тепла в абразивный круг из-за его малой теплопроводности пренебрегаем) можно считать, что  $A=1-\beta$ .

Результаты расчета при  $\sigma_z=1000 \text{ МПа}$ ;  $V=30 \text{ м/с}$ ;  $D_{\text{кр}}=250 \text{ мм}$ ;  $K_z=1,5\%$ ;  $V_{\text{спро}}=10 \text{ м/мин}$  и при различных  $t_{\phi}$  приведены в таблице

| Критерии  | Глубина шлифования $t_{\phi}$ , мм |      |       |
|-----------|------------------------------------|------|-------|
|           | 0,04                               | 1,0  | 20,0  |
| $A$       | 0,16                               | 0,73 | 0,96  |
| $1-\beta$ | 0,18                               | 0,72 | 0,958 |

Выводы:

1. Энергетический критерий  $A$  и критерий  $\beta$  объективно отражают физические закономерности изменения долей тепла, поглощаемых стружкой и заготовкой в зависимости от режимов шлифования и фактического уровня температур в зоне шлифования.

2. С ростом глубины шлифования доля тепла, отводимого стружкой увеличивается. Если при маятниковом шлифовании с глубиной резания  $t_{\phi}=0,01...0,04 \text{ мм}$  в деталь уходит 80...90% всего тепла, то при глубинном шлифовании с  $t_{\phi}=1...20 \text{ мм}$  в деталь уходит лишь 4...25% тепла. Увеличение продольной подачи приводит к увеличению отвода тепла стружкой.

Список литературы: 1. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. -М.: Машиностроение, 1979. - 278 с. 2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. -М.: Машиностроение, 1978. - 167 с. 3. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. -М.: Машиностроение, 1989. -296 с.

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРАВЛЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Каплун В.Г., Пастух И.М. (Подольский научный физико-технологический центр Технологического университета Подолья, г. Хмельницкий, Украина)

The production of instruments for the processes of materials machining is based on the application of expensive materials whose manufacture depends on external sources. The technology of the controlled diffusion in plasma of gas antibrittle media is proposed. The given technology is ecologically clean and consumes several times less resources than the known analogues, including



*time. The technology is universal for the whole branch since it is suitable for instruments operating under impact loads. The application of the technology enables to replace the conventional tool materials by less expensive ones as well as to improve the properties of hard-facing alloy.*

Современное состояние инструментальной промышленности Украины в некоторой степени зависит от применения инструментальных сталей, включающих специальные легирующие компоненты, в значительной мере – импортного происхождения. В то же время представляется возможным уменьшить зависимость производства инструмента от внешних факторов путем применения технологий поверхностного упрочнения инструмента, штампов и оснастки методами управляемой плазменной диффузии в газовой антихрупкостной среде (УПДГАС), которая разработана Подольским НФТИ ТУП и достаточно широко апробирована в лабораторных и производственных условиях. Метод УПДГАС обладает рядом преимуществ: исключается вредное влияние водорода на металл (водородное охрупчивание и водородная коррозия), повышается пластичность упрочненного слоя, уменьшается расход электроэнергии и газа, значительно улучшаются условия труда и охрана окружающей среды. Проведенные исследования позволили обосновать концепцию повышения прочности и долговечности инструмента, суть которой состоит в получении за счет оптимизации свойств покрытия максимального упрочняющего эффекта, а благодаря использованию антихрупкостных (безводородных) сред – минимального разупрочнения основы, чем и достигаются отмеченные выше преимущества.

Известные методы поверхностного упрочнения металлов, базирующиеся на использовании терморadiационного нагрева в качестве источника интенсификации диффузионных процессов, отличаются значительной энергоемкостью, большим сроком обработки, наличием изменения формы обрабатываемых объектов, а отсюда потребностью в дальнейшей механической обработке, вследствие которой значительная часть упрочненного поверхностного слоя удаляется. Указанные недостатки обуславливают относительно низкую экономичность этих методов. Для них характерны также узкий диапазон изменения физико-механических характеристик, химического и фазового состава, плохая управляемость процессов и прогнозирования их конечных результатов, а для тех из них, в которых в качестве диффундирующего элемента используется аммиак – экологическая вредность. Кроме того, в последнем случае аммиак обуславливает водородное охрупчивание и тем самым не допускает применения подобных технологий для упрочнения обрабатываемого инструмента, особенно – если он работает в условиях динамических нагрузок. Технологии с ис-

пользование принципа напыления кроме незначительной толщины покрытия, относительной сложности оборудования и высоких требований к подготовке поверхности обрабатываемого изделия, имеют ряд недостатков, среди которых – низкая адгезионная прочность, относительно большая удельная энергоемкость. С учетом вышесказанного, а также того, что большинство легирующих элементов добываются за пределами Украины, что также потенциально уменьшает возможности инструментальной промышленности в использовании легирования металлов как метода упрочнения, целесообразно было разработать технологию с наиболее широкими возможностями применения и отсутствием перечисленных недостатков. Предлагаемый метод в сравнении с известными аналогами может быть применен благодаря антихрупкостным свойствам не только для упрочнения инструмента, который работает в традиционных условиях резания, но и при действии ударных нагрузок, а это обстоятельство делает его использование универсальным. Кроме того метод абсолютно экологически чистый, а расход энергии и материалов в сравнении с известными аналогами в несколько раз меньше, может применяться при значительно более низких уровнях требований к профессиональной подготовке и ограничения технологического обеспечения. Решение указанных проблем позволят организовать инструментальное производство Украины более независимым от внешних факторов, что содействовало бы оживлению этой отрасли, загрузке производства, повышению его экономичности.

Упрочнение инструментальных и штамповых сталей методом УПДГАС показало, что процесс создания диффузионного слоя хорошо управляется температурой, давлением и составом насыщающей среды, а также его продолжительностью, а это позволяет получать слои различной толщины, твердости, градиента свойств по глубине, структуры и фазового состава. В общем виде задача управления процессом диффузии как методом получения определенных качественных характеристик слоя упрощенно формулируется как задача обеспечения некоторого заданного распределения концентрации азота по глубине слоя от поверхности. Физическая сущность плазменных диффузионных процессов в водородосодержащих и безводородных средах одинакова, но применение антихрупкостных сред позволяет скорректировать качественные и количественные параметры отдельных фаз режима, что оказывает влияние на структуру и кинетику формирования упрочненного слоя, чем, в основном, и достигается оптимизация их свойств.

Промышленные испытания упрочненных по предлагаемой технологии деталей показали увеличение износостойкости инструмента из Р6М5 в т.ч. протяжек при обработке чугуна СЧ-12 в 16 раз, метчиков М27 при об-

работке стали 40X – в 2,5 раза, пальцевых фрез при обработке стали 45 в 2,2 раза, дисковых пил при обработке древесины – в 5 раз, твердого сплава Т5К6 при обработке стали 40X – в 2,7 раз, вырубных штампов из стали 12ХФ1 при обработки трансформаторной стали – в 2,5 раза, литформ из стали 38ХМЮА для литья алюминия – в 3,5 раза.

Для внедрения метода УПДГАС разработана и изготавливалась опытными сериями гамма соответствующего оборудования. Необходимость создания такого оборудования обусловлена особенностями формирования диффузионного слоя в безводородных средах. Эти особенности заключаются в повышенных требованиях к герметичности всех систем, более тщательной депассивации поверхности, а также предотвращении окислительных процессов на упрочняемой поверхности. Спроектированное оборудование имеет ряд принципиальных конструктивных отличий в сравнении с отечественными и зарубежными аналогами: наличие газовой системы для дозированной подготовки многокомпонентных газовых сред; возможность замкнутой системы циркуляции газов, которая с учетом применения инертных компонентов способствует экономичности и экологической чистоте; применение системы управления с контролером процесса выхода на заданный технологический режим и стабилизации его параметров с высокой точностью и надежностью и другие.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать процесс упрочнения как перспективный для инструментальной промышленности.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАГРУЖЕННОСТИ И РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

— Капуста П.П. (БГПА - МАМТ, г. Минск, Республика Беларусь)

*The important scientific-technical and methodics task in the probability evaluation of the machines' details depending on the conditions of their service irregular loading is solved in the work.*

Расчетное прогнозирование ресурса и надежности на стадии проектирования деталей машин является актуальным для разработки новых оптимальных по массогабаритным характеристикам конкурентоспособных машин при сокращении времени и стоимости проектного цикла.

В работе представлены результаты исследований (на примерах деталей несущих систем мобильных машин), позволивших предложить способ решения указанной задачи. Алгоритм ее решения следующий: выбор материалов, расчетное определение характеристик сопротивления усталости

деталей и их рассеяния, проектная оценка нагруженности детали в эксплуатации, расчет эксплуатационного ресурса детали для требуемой вероятности неразрушения.

Для проектной оценки эксплуатационной нагруженности детали, предложен способ ее моделирования, заключающийся в следующем. Нагрузочный спектр напряжений, соответствующий конкретным нагрузочным условиям, схематизируется одним из известных методов. Полученные значения напряжений располагаются в убывающий ряд  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_n$ , в количестве  $n \geq 10^3$  (здесь  $n$  – размер нагрузочного блока). Для создания математической модели нагрузочного блока использовано трехпараметрическое распределение Вейбулла в виде

$$P = \frac{i}{n} = \exp \left[ \left( \frac{\sigma_i - \sigma}{\sigma_w} \right)^w \right], \quad (1)$$

где  $P$  – вероятность появления в нагрузочном блоке напряжения до  $\sigma_i$ ;

$i$  – порядковый номер  $\sigma_i$ -го напряжения в убывающем ряду блока  $n$ ;

$\sigma$  – минимальное напряжение нагрузочного блока;

$\sigma_w$  – параметр распределения с размерностью напряжений;

$w$  – показатель степени.

Все значения убывающего ряда  $\sigma_i$ -х напряжений нагрузочного блока размером  $n$  вычисляются по формуле

$$\sigma_i = \sigma + \sigma_w \cdot \left[ \ln \left( \frac{n}{i} \right) \right]^{\frac{1}{w}}. \quad (2)$$

Для математического описания режимов эксплуатационного нагружения деталей машин предложено уравнение

$$\frac{\sigma_i - \sigma}{\sigma_w} = K_w \cdot \exp \left[ \ln(K_w^{-1}) \cdot \frac{\ln \ln \left( \frac{n}{i} \right)}{\ln \ln(n)} \right], \quad (3)$$

где  $\sigma$  – максимальное напряжение нагрузочного блока;

$0 < K_w \leq 1$  – критерий нагруженности, определяемый по формуле

$$K_w = \frac{\sigma_w}{\sigma - \sigma}. \quad (4)$$

Значение параметра распределения (1)  $w$ , соответствующее определенному нагрузочному режиму, определяется по формуле

$$w = \frac{\ln \ln(n)}{\ln \left[ \left( \frac{K}{K_w} \right)^{-1} \right]} \quad (5)$$

Применение указанного подхода при проектной оценке эксплуатационной нагруженности осуществляется путем введения проектных областей нагрузочных режимов деталей машин, соответствующих различным значениям  $0 < K_w \leq 1$ . Эти области удобно представить в системе координат

$\frac{\sigma_i - \sigma}{\sigma - \sigma} = f\left(\frac{i}{n}\right)$ . Здесь  $0 < K_w \leq 1$ . С ростом  $0 < K_w \leq 1$  тяжесть нагрузочного режима увеличивается, а при  $0 < K_w \leq 1 = 1$  – режим нагружения регулярный.

Для учета нагрузочного режима при проектных расчетах ресурса и надежности деталей мобильных машин, проводится работа по их классификации в зависимости от эксплуатационной нагруженности и созданию соответствующего банка данных с использованием предложенной модели.

Расчет ресурса в циклах эксплуатационного нагружения с заданной надежностью (вероятностью неразрушения  $P$ ) для  $k$ -го нагрузочного режима проводится по формуле

$$N_{\Sigma k} = N_{GH R} \cdot \left( \frac{\sigma_{RP}}{\sigma_R} \right)^m, \quad (6)$$

где  $m$  – показатель наклона левой ветви кривой усталости (постоянный при различных вероятностях неразрушения, величинах действующих напряжений и нагрузочных режимах);

$\sigma_{RP}$  – предел выносливости детали, соответствующий  $P$ ;

$\sigma_R$  – максимальное напряжение нагрузочного блока, соответствующего  $k$ -ому нагрузочному режиму;

$N_{GH R}$  – число циклов до точки нижнего перелома кривой усталости, соответствующей  $k$ -ому нагрузочному режиму.

Расчет  $N_{\Sigma}$  проводится с использованием гипотезы линейного суммирования усталостных повреждений, предложенной Почтенным Е.К.

$$N_{GH R} = N_G \cdot N_{Gom R}, \quad (7)$$

где  $N_G$  – число цикла до точки нижнего перелома кривой усталости детали, соответствующей регулярному нагружению;

$N_{GH R} = N_G N_{om R}$  – относительная долговечность (относительное число циклов до точки нижнего перелома кривых усталости при  $k$ -ом режиме эксплуатационного и регулярного нагружения детали).  $N_{GH R} = N_G N_{om R}$  выбирается по специальному графику (или рассчитывается) в зависимости от значения  $0 < K_w \leq 1$ , соответствующего определенному нагрузочному режиму.

Суммарный ресурс с требуемой надежностью за весь проектируемый период эксплуатации, при действии нескольких типовых нагрузочных режимов, определяется с учетом их относительной продолжительности.

Изложенный метод моделирования нагруженности и расчета надежности успешно апробирован при проектировании осей автомобильных и рам тракторных прицепов.

### УЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Каргапольцев С.К., Лившиц А.В. (Иркутская Высшая школа МВД РФ, г. Иркутск, Россия)

*In the article mathematical model of deformations at manufacturing of long not enough rigid details is considered. The software developed on her basis allows to predict residual deformations and to bring in corrective amendments to technological process with the purpose of reception of allowable errors of the form of a product*

На ОАО «Иркутское авиационное производственное объединение» установлены и используются различные САПР Технолога (DUCT, UNIGRAPHICS). Эти мощные средства технологической подготовки производства используются как САПР низкого и среднего уровня для математического описания конфигурации детали и разработки технологического процесса обработки деталей по классическим схемам. Минус такого использования состоит в том, что между этими двумя этапами отсутствует важнейшая часть анализа конструктивных особенностей детали и использование выводов этого анализа для выбора технологии обработки. Программное обеспечение должно быть доведено до САПР высокого уровня, путем дополнения различными вариантами расчетов (прочностные расчеты, расчет термических напряжений). Кроме этого, большой интерес представляет разработка программного обеспечения, позволяющего проводить технологическое проектирование с учетом остаточных напряжений после



термообработки, приводящих к трудно устранимым деформациям длинномерных маложестких деталей.

В связи с этим предлагается использовать созданное программное обеспечение, реализующее математическую модель остаточных деформаций полотна детали между ребрами, при изготовлении длинномерных маложестких деталей из плиты. Данная математическая модель основана на решении уравнения поперечного изгиба полотна (1) с различными граничными условиями методом конечных разностей [1, 2].

$$B \left[ 1 + \frac{(8-3\mu)h^2}{44(1-\mu)} \nabla^2 \right] \nabla^4 = h \left( \sigma_x \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \sigma_z \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) f \quad (1)$$

где  $D$  - изгибная жесткость полотна;

величина прогиба полотна;

$h$  - толщина полотна;

$\mu$  - коэффициент Пуассона;

$\sigma_x, \sigma_z$  - остаточные напряжения по осям  $x$  и  $z$  соответственно в оставшейся части заготовки после снятия припуска.

Уравнение (1) является уравнением равновесия в поперечном направлении классической теории пластин и оболочек с правой частью, приравненной к нулю. Это правомочно, если принять, что прогиб  $f$  мал по сравнению с  $h$  (характерные допуски на толщину полотна составляют  $\pm 0.2, \pm 0.25, -0.15$  мм при толщине полотна  $2,5 \div 12$  мм [3]). Кроме этого, в уравнение введена поправка, позволяющая проводить расчеты деформации толстых пластин, образующихся после снятия первого припуска.

Уравнение (1) является линейным относительно  $f$ , вследствие чего выполняется условие выполнения наложения, т.е. результаты действия на полотно детали напряжений, возникающих при снятии припусков сверху и снизу можно просуммировать для определения полного прогиба полотна

$$f = f_1 + f_2 \quad (2)$$

где  $f_1, f_2$  - прогиб полотна после снятия припусков сверху и снизу соответственно.

Характер подкрепления учитывается с помощью граничных условий [2]:

условие шарнирного подкрепления при  $x=x_0$

$$f = M_x = 0 \quad \text{или} \quad f = -D \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \right) - M_{x0} \quad (3)$$

где  $M_x$  - изгибающий момент, приложенный по длине края  $x=x_0$ ;

Для свободной стороны при  $z=z_0$

$$-D \left( \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} + \mu \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) - M_{z0} = 0 \quad \frac{\partial^3 f}{\partial z^3} + (2-\mu) \frac{\partial^2 f}{\partial x^2 \partial z} = 0 \quad (4)$$

$M_{x0}, M_{z0}$  - изгибающие моменты, действующие на полотно ячейки от удаления припуска, приложенные по краям  $x=x_0$  и  $z=z_0$ , соответственно.

При решении уравнения (1) соответствующие производные аппроксимируются конечно-разностными отношениями с относительной погрешностью порядка  $h^2$ .

Разработанное программное обеспечение для определения остаточных деформаций полотна детали между ребрами позволяет, на стадии проектирования технологического процесса изготовления детали, прогнозировать остаточные деформации и при необходимости вносить в него коррективы с целью получения допустимых погрешностей формы изделия.

**Список литературы:** 1. Вольмир С.В. Устойчивость деформируемых систем. - М.: Наука, 1967. - 984 с. 2. Доннелл Л.Г. Балки, пластины, оболочки. - М.: Наука, 1982. - 568 с. 3. Великанов Н.А., Севастьянов Ю.М., Корышев Л.И., Бучнева Р.И. Система автоматизированного контроля размеров длинномерных деталей. // Авиационное промышленность. М.: Машиностроение. 1992, №11-12. С.6-9.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛИННОМЕРНЫХ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Каргапольцев С.К., Лившиц А.В.

(Иркутская Высшая школа МВД РФ, г. Иркутск, Россия)

*In the article mathematical models of deformation at manufacturing of long not enough rigid details are considered. Realized as the software module they allow to estimate stability blade of details, to define the form of loss of stability, to give the technological recommendations for elimination of deformations.*

В машиностроительном, в частности в авиационном производстве, существует большая номенклатура длинномерных, маложестких деталей характеризуемых незначительной толщиной полотна и различным характером подкрепления. Известно, что перераспределение остаточных напряжений при изготовлении деталей такого типа оказывает большое влияние на точность изготовления, приводит к появлению трудно устранимых деформаций изгиба полотна между ребрами - «хлопунам». Так как себестои-

мость изготовления маложестких длинномерных деталей очень велика, неисправимый брак, вызванный появлением «хлопунов», чреват большими денежными и трудовыми затратами.

Известно, что при изготовлении таких деталей из плиты при центральном расположении полотна детали относительно контура заготовки остаточные деформации изгиба отсутствуют. Действующие внутренние остаточные напряжения после изготовления детали в отдельной ограниченной ребрами ячейке, в этом случае, можно рассматривать как краевые сжимающие напряжения (рис. 1).

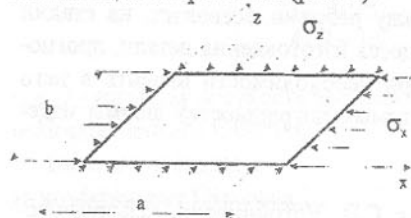


Рис. 1.

напряжения, соответствующие потере устойчивости детали необходимо найти решение уравнения равновесия (1) в поперечном направлении полотна детали между ребрами, учитывая различный характер подкрепления по краям полотна:

$$DV^4 f = h \left( \sigma_x \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \sigma_z \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где  $D$  - изгибная жесткость полотна;  
 $f$  - величина деформации изгиба полотна;  
 $h$  - толщина полотна;

$\sigma_x, \sigma_z$  - остаточные напряжения по осям  $x$  и  $z$  соответственно в оставшейся части заготовки после снятия припусков.

Уравнение (1) в представленном виде используется для решения задачи устойчивости, когда

$$\sigma_x = \sigma_{x1} + \sigma_{x2}, \quad \sigma_z = \sigma_{z1} + \sigma_{z2} \quad (2)$$

где  $\sigma_{x1}, \sigma_{x2}$  - остаточные напряжения по оси  $x$  в действующие в полотне ячейки после снятия припуска сверху и снизу соответственно,

$\sigma_{z1}, \sigma_{z2}$  - остаточные напряжения по оси  $z$  в действующие в полотне ячейки после снятия припуска сверху и снизу соответственно, причем величины этих припусков одинаковы.

Характер подкрепления полотна (наличие или отсутствие ребра) учитывается с помощью граничных условий: условие шарнирного подкрепления при  $x=a$

$$f = M_x = 0 \quad \text{или} \quad f = -D \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (3)$$

где  $M_x$  - изгибающий момент, приложенный по длине края  $x=a$ ;  
 $\mu$  - коэффициент Пуассона;

Для свободной стороны при  $z=b$

$$-D \left( \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} + \mu \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) = 0, \quad \frac{\partial^3 f}{\partial z^3} + (2 - \mu) \frac{\partial^2 f}{\partial x^2 \partial z} = 0 \quad (4)$$

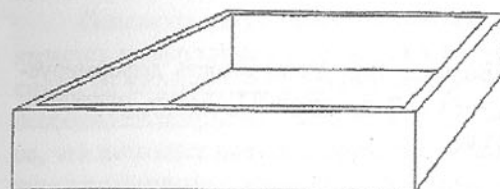


Рис. 2.

предложенные А.С. Вольмиром [1] для шарнирно закрепленной со всех сторон и сжатой в двух направлениях пластины (5):

$$\sigma_x = K_x \frac{\pi^2 D}{b^2 h}, \quad \sigma_z = \varphi \sigma_x \quad (5)$$

$$\text{где } K_x = \frac{\left[ \left( \frac{m}{a} \right)^2 + n^2 \right]^2}{\left( \frac{m}{a} \right)^2 + \varphi n^2}, \quad \alpha = \frac{a}{b}, \quad \varphi = \frac{\sigma_z}{\sigma_x}.$$

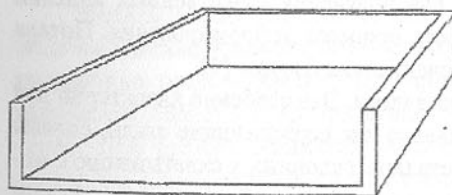


Рис. 3.

Доннелом для анализа устойчивости сжатой пластины три стороны которой шарнирно оперты, а четвертая - не закреплена [2]:

$$\frac{\alpha^2 - \mu e}{\alpha [\alpha^2 - (2 - \mu)e]} \operatorname{tg} \alpha b = \frac{\beta^2 + \mu e}{\beta [\beta^2 + (2 - \mu)e]} \operatorname{tg} \beta b \quad (6)$$

Соответствующие граничные условия можно написать и для других сторон. Для ячейки, подкрепленной ребрами с четырех сторон (рис.2.) в качестве решения уравнения (1) были взяты зависимости,

$\sigma_x$  и  $\sigma_z$  соответствуют критическим значениям нагрузки. Для ячейки, подкрепленной ребрами с трех сторон (рис.3.) в качестве решения уравнения (1) были взяты зависимости (6) выведенные Л.Г.

Доннелом для анализа устойчивости

где  $e = \frac{m^2 \pi^2}{a^2}$ ,  $\alpha = \sqrt{-d + \sqrt{d^2 + c}}$ ,  $\beta = \sqrt{d + \sqrt{d^2 + c}}$ ,

$$c = \frac{h\sigma_z}{D} e - e^2, \quad d = \frac{h\sigma_z}{2D} - e.$$

Таким образом, предложенные математические модели, реализованные в виде программного модуля, позволяют оценить устойчивость полотна ячейки, определить форму потери устойчивости (количество полувогн прогиба по осям  $x, z$ ), а так же дать технологические рекомендации по устранению «хлопунов».

**Список литературы:** 1. Вольмир С.В. Устойчивость деформируемых систем. - М.: Наука, 1967. -984 с. 2. Доннелл Л.Г. Балки, пластины, оболочки. - М.: Наука. 1982, -568 с.

## СОЗДАНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ШТАМПОВКИ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Каржавин В.В., Мальцев Л.В., Филимонов И.Е.  
(УГТУ-УПИ, г. Екатеринбург, Россия)

*The factors of deformation stability in cold forming have been studied. The ways of increasing stability as the basis for developing new manufacturing processes are suggested.*

В процессах холодной штамповки (глубокая вытяжка, высадка, обжим ротационная вытяжка и др.) для получения качественных изделий большое значение имеет устойчивость процесса деформирования. Потеря устойчивости может проявляться в следующих формах [1].

1. Потеря устойчивости против задира. Это особенно характерно для штамповки деталей из таких материалов как нержавеющие стали, сплавы никеля, титана, алюминия, т.е. из металлов, склонных к схватыванию с инструментом в условиях высоких контактных давлений. Потеря устойчивости ведет к возникновению задира, рисок и др. поверхностных дефектов, а также к резкому возрастанию технологического усилия.

2. Потеря устойчивости пластического течения металла. При глубокой вытяжке тонкостенных изделий типа колб, стаканов напряжение в стенке заготовки может превысить предел прочности ( $\sigma_{max} > \sigma_B$ ), что ведет к образованию локального утонения металла, а затем к его разрыву.

3. Потеря устойчивости формы заготовки. Возникает в таких про-

цессах как обжим тонкостенной трубчатой заготовки и проявляется посредством образования продольных волн (выпучивание) и посредством смятия.

Таким образом, все перечисленные формы потери устойчивости ведут к браку изделий, поэтому их появление в технологических процессах недопустимо.

В Уральском государственном техническом университете в течении многих лет ведутся работы по созданию прогрессивных технологий штамповки на основе повышения устойчивости деформируемой заготовки.

Основным направлением повышения устойчивости против задира является использование специальных антифрикционных покрытий, наносимых на заготовку перед штамповкой в расплавленных солях [2]. Главная особенность покрытий - высокая, порядка 400...500°C температура плавления, что позволяет получать покрытия (медные, цинковые и др.), обладающие повышенным сцеплением с основным металлом, по сравнению с ближайшими аналогами - металлическими покрытиями из растворов электролитов. Слой нанесенного покрытия предотвращает налипание материала заготовки на инструмент, хорошо удерживает смазку и тем самым создает благоприятные условия для пластической деформации.

Проведено комплексное исследование свойств металлических покрытий из солевого расплава на лабораторной машине трения, а также на специальных установках, моделирующих технологические процессы штамповки (глубокая вытяжка, холодная высадка). В частности установлено, что покрытия не только полностью исключают налипание частиц металла на инструмент, т.е. способствуют резкому повышению устойчивости по форме 1, но и на 15...20 % снижают  $\sigma_{max}$ , т.е. увеличивают устойчивость по форме 2 (устойчивость пластического течения).

Использование металлических покрытий позволило разработать технологические процессы штамповки изделий с утолщением на холодно-высадочных пресс-автоматах. Для придания материалу необходимых механических свойств, предварительно осуществляют калибровочное волочение. При данных процессах трудоемкость снижается в 8...10 раз по сравнению с изготовлением данных изделий резанием, улучшается качество и точность изделий, увеличить коэффициент использования материалов.

Металлические покрытия из солевого расплава позволили интенсифицировать ряд технологических процессов, например, процесс глубокой вытяжки колб металлического термоса из стали 12Х18Н10Т.

В настоящее время их получают по многопереходной схеме, т.е. за 4 последовательные операции без промежуточных отжигов заготовок и свя-



занных с отжигом операций: обезжиривания, травления, отмытки и др. Ранее отжиги существовали после каждой операции. Производительность возросла в 4...6 раз. За счет исключения налипания и снижения опасности разрыва металла улучшилось качество изделий.

Для анализа возможностей потери устойчивости формы заготовки была разработана математическая модель процесса деформирования осесимметричной тонкостенной заготовки под действием осевой силы [3]. Результаты решения позволили определить критические напряжения, приводящие к потере устойчивости, как выпучиванием, так и смятием, а также установить основные факторы, влияющие на их величину. Теоретические решения проверены экспериментально.

Практическим результатам проведенных исследований явилось: 1) получение опытных таблиц и номограмм, позволяющих определять критические напряжения в зависимости от параметров процесса обжима; 2) разработка нового способа обжима трубчатой заготовки - двухпереходного обжима с подхватом.

Новая технология обжима внедрена для производства корпусных изделий из стали и сплавов алюминия (Амгб, Д16 и др.). Это позволило, на 20...30 % экономить металл за счет использования в качестве исходной заготовки трубу с меньшей толщиной стенки.

**Список литературы:** 1. Каржавин В.В. Критерии качества изделий, получаемых на основе многопереходной листовой штамповки. - Кузнечно-штамповочное производство, 1994, №6, с. 7-10. 2. Каржавин В.В. Металлические покрытия, наносимые в расплавах солей, их исследование и использование в процессах обработки металлов давлением. - Трение и износ, 1992, т.13, №3, с. 121-124. 3. Каржавин В.В., Филимонов И.Е., Лукьянова Т.А. Анализ устойчивости формы заготовок при штамповке. - Теория машин металлургического и горного оборудования: Межвуз. сб. - Свердловск., УПИ, 1993, с. 25-27.

## **ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Карпов Э.А., Виноходова А.Ф., Крахт В.Б.**  
(СОФ МГИСиС, г. Старый Оскол, Россия)

*Problems of mastering the new products power machine building in market conditions.*

Сегодняшняя парадигма управления предусматривает учет стандартной продукции массового производства требований индивидуального потребителя.

Новые изделия мелкосерийного производства, в частности, энергомашиностроения, должны в обязательном порядке учитывать в своих параметрах требования и ограничения заказчиков. Это предполагает знание фирмой - изготовителем соответствия своих затрат на формирование качества изделия, уровню его важнейших параметров, определяющих, в конечном итоге, потребительскую стоимость и стоимость нового изделия. Кроме этого, конкурентоспособность научно - технического потенциала фирмы в значительной мере проявляется в соответствии этих важнейших параметров новых агрегатов уровням лучших отечественных или зарубежных изделий аналогичного назначения. В рыночных условиях изменение уровня надежности машин как основного параметра энергетического оборудования сопровождается (при повышении) существенными дополнительными затратами изготовителя на формирование повышенной надежности. Изготовитель, использующий в конкурентной борьбе стратегию качества и сервисного обслуживания вправе отразить рост качества в цене. Но в существующих условиях производства турбин, котлоагрегатов и другого оборудования, образующих у потребителя на электростанции энергетические блоки, практически отсутствует возможность определения результирующей надежности агрегатов и энергоблоков в целом. Невозможность ускоренных испытаний на надежность, слабая лабораторно - испытательная база не дают возможности определить с достаточной точностью уровень надежности реакторов, турбин, генераторов, длительность периода их эксплуатационного освоения, стратегию ремонтного обслуживания. Это наносит значительный ущерб изготовителю сложной, уникальной техники, который не зная истинного уровня надежности своих изделий, может их поставлять по практически пониженной цене, либо будет вынужден возмещать ущерб потребителю при низком уровне их надежности.

Потребитель, не зная истинного значения длительности периода эксплуатационного освоения сложных энергетических агрегатов, уровня их надежности в период нормальной эксплуатации, лишен возможности обоснованного планирования готовности своих машин к работе, своей хозяйственной деятельности, ремонтного обслуживания и его финансирования. В свою очередь, это ведет к ущербу для экономики всей России, поскольку нарушения пропорциональности развития отдельных энергосистем в РАО «ЕЭС России» приводит к межотраслевым диспропорциям, а итоге, к снижению величины производственного национального дохода страны. Из-за отсутствия обоснованных данных заводов - изготовителей о

сроках службы агрегатов, их составных частей, длительности периода эксплуатационного освоения и уровня надежности агрегатов, потребитель вынужден в рыночных условиях значительные средства расходовать на содержание резервных мощностей, на ликвидацию последствий отказов, что в конечном итоге, сказывается на увеличении себестоимости производимой электроэнергии, что далее ведет, к росту тарифов на энергию и негативно влияет на экономическое положение страны и ее регионах.

Вышесказанное позволяет заключить, что проблема определения уровня надежности, длительности периода эксплуатационного освоения, периода нормальной эксплуатации новых изделий энергомашиностроения существует и требует настоящего разрешения.

Уроки освоения энергоблоков большой мощности (150 МВт, 200 МВт, 300 МВт), период эксплуатационного освоения которых составил весьма значительный отрезок времени, не должны забываться. Быстрое наращивание установленных мощностей и победные рапорты о досрочных вводах в промышленную эксплуатацию очередных мощных энергоблоков на деле оборачивались громадным ущербом из-за всего комплекса причин, связанного с низкой надежностью и ликвидацией последствий отказов агрегатов. Нам представляется, что в сегодняшних условиях создания оптового рынка электроэнергии в России, реструктурирования и приватизации российской электроэнергетики, когда в попытке создать конкурентную среду среди энергосистем преследуется цель снижения затрат на производство и распределения энергии, а в итоге, повышение эффективности РАО «ЕЭС России», определение уровней надежности новых энергоагрегатов, периодов их эксплуатационного освоения, срок службы, стратегия ремонтного обслуживания, как нельзя актуальна. Решить эту проблему можно идя по пути создания испытательных полигонов в составе межотраслевых научно - производственных объединений по разработке и внедрению нового энергетического оборудования. Создание МПНЭТов позволит моделировать режимы работы агрегатов в целом, определяя в итоге их надежность и период эксплуатационного освоения.

### СОЗДАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Карпов Э. А., Виноходова А. Ф., Ченцова Е. П.  
(СОФ МГИСсС, г. Старый Оскол, Россия)

*Creation of the optimal structure management of industrial enterprise on the basis clusters analysis.*

Ориентация на рынок - ведущий принцип современного предпринимательства. Многие компании делают все возможное: чтобы оптимально и гибко реагировать на потребности рынка и их изменения, Часто это требует изменений и в организационной структуре.

Структура большинства компаний сложилась скорее под воздействием времени, чем в результате целенаправленных усилий по ее совершенствованию. Однако все эти вновь сформированные организационные структуры должны быть достаточно эффективными, иначе банкротство было бы неизбежным. Идеальной структурой, как известно, не существует, поэтому фирмы продолжают испытывать трудности, природа которых за-

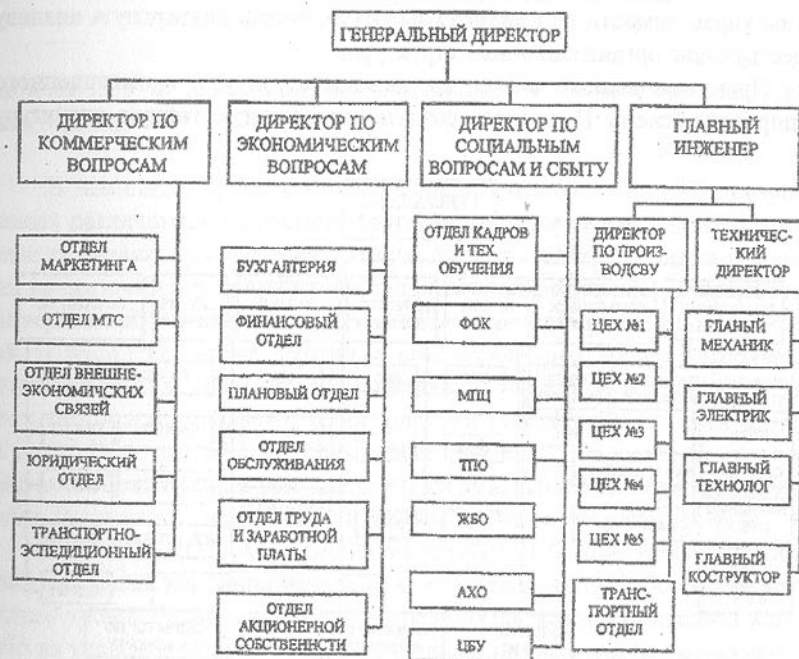


Схема 1. Типовая структура промышленного предприятия. заключается именно в форме организации хозяйственной деятельности.

Многие промышленные предприятия имеют слишком жесткую организационную структуру, которая становится преградой на пути гибкого приспособления к новым реальным условиям, тормозит процесс инноваций и препятствует творческому подходу к решению новых проблем и задач.

Как правило российские промышленные предприятия имеют высокоцентрализованные и вертикально интегрированные организационные

структуры, которые охватывают большую часть или почти все стадии производственного процесса: от добычи сырья до выпуска конечного продукта. Общая мощность этих предприятий связана с планируемым выпуском продукции. Это означает: что размеры различных стадий производственного процесса, который является субоптимальным или неэффективным.

Используя метод автоматической классификации (кластерный анализ) можно оптимизировать организационную структуру предприятия. Кластерный анализ основан на использовании определенных критериев близости и ограничений. Выбрав в качестве критериев близости схожесть выполняемых функций подразделений, а ограничениями взяв соответствие нормы управляемости на каждого работника, можно подвергнуть анализу существующие организационные структуры.

Применив данный метод для анализа структуры промышленного предприятия (схема 1), удалось создать оптимальную гибкую структуру

ке молодых специалистов к более высоким должностям, а также дает право принимать решения тому руководителю, который ближе всего стоит к проблеме.

Для того, чтобы осуществить данный процесс, российским предприятиям следует пройти болезненный путь передачи власти высшим руководством предприятия средним и низшим звеньям управления.

## ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРОВЕДЕНИЯ РЕИНЖИНИРИНГА

Карпов Э.А., Виноходова А.Ф., Черезов А.В.  
(СОФ МГИСис, г. Старый Оскол, Россия)

*Particularities of making the information system on base of undertaking reengineering.*

В настоящее время имеется несколько методологий БПР, разработанных различными консалтинговыми фирмами, и целый ряд инструментальных средств и поддержки. Однако после пятилетнего опыта проведения реинжиниринга специалисты сходятся в мнениях, что не существует универсальной методологии, как не существует лекарства от всех болезней. В настоящее время серьезные консалтинговые формы располагают интегрированными совокупностями методов и приемов, а выбор тех или иных методов определяется особенностями конкретного проекта шансов на успех. Впрочем, методы, признанные наиболее удачными, имеют одну общую особенность: все они основаны на объектноориентированных подходах. Выделяется шесть фаз (или основных этапов) реинжиниринга:

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РЕИНЖИНИРИНГА - спецификация основных целей компании исходя из ее стратегии, потребностей клиентов, общего уровня бизнеса в отрасли (определяется исходя из анализа какой-либо из успешных фирм в смежной отрасли, не являющейся конкурентом и готовой предоставить необходимую информацию о себе) и, наконец, текущего состояния компании.

2. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ КОМПАНИИ (называемое также обратным, или ретроспективным инжинирингом). На этой фазе менеджеры, с участием разработчиков информационных систем, должны разработать детальное описание существующей компании, идентифицировать и документировать ее основные бизнес-процессы, а также оценить их эффективность.

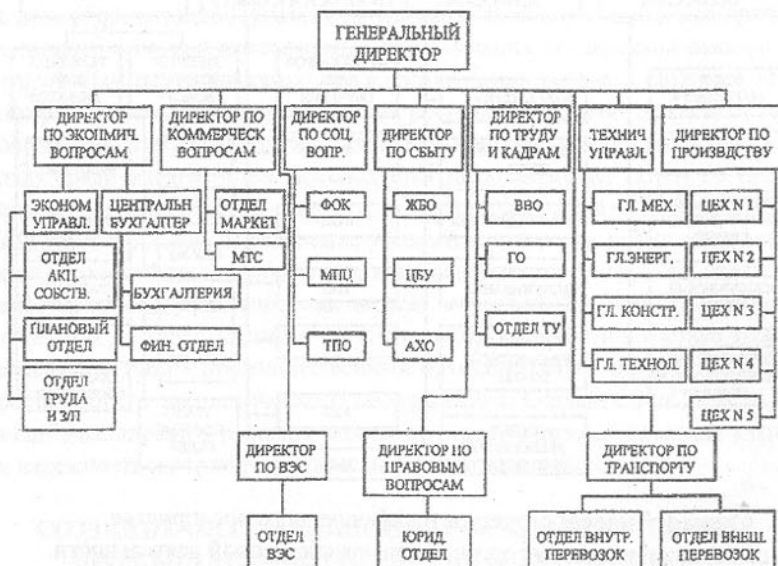


Схема 2. Оптимальная структура промышленного предприятия.

(схема 2), которая способна быстро реагировать на изменение рыночных сил, позволяет создать условия для культивирования «предпринимательского духа» сотрудников, чтобы эффективно использовать их знания и опыт на благо предприятия, стимулирует инициативу, помогает подготов-



3. ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ. Создание более эффективных рабочих процедур, определение способов использования информационных технологий, идентификация необходимых изменений в работе персонала.

4. РАЗРАБОТКА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОМПАНИИ НА УРОВНЕ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ. Здесь проектируются различные виды работ, подготавливается система мотивации, организуются команды по выполнению работ и группы поддержки качества, создаются программы подготовки специалистов и т.д.

5. РАЗРАБОТКА ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ. На этой фазе определяются имеющиеся ресурсы (оборудование, программное обеспечение) и реализуется специализированная информационная система (или системы) компании.

6. РЕАЛИЗАЦИЯ И ВНЕДРЕНИЕ ПЕРЕПРОЕКТИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ. Интеграция и тестирование разработанных процессов и поддерживающей информационной системы, обучение сотрудников, установка информационной системы, переход к новой организации деятельности компании. Реинжиниринг стал возможен благодаря новейшим достижениям информационных технологий. Это означает, что разработка поддерживающих информационных систем тесно связана с конструированием новых бизнес-процессов, начиная от специфицирования требований и заканчивая тестированием и внедрением.

Рассмотрим особенности создания информационных систем в рамках выполнения работ по реинжинирингу.

ПЕРВАЯ ОСОБЕННОСТЬ состоит в том, что в проведение реинжиниринга вовлекаются специалисты двух типов - профессионалы в области реконструированного бизнеса и разработчики информационных систем. Опыт реинжиниринга показывает, что по-настоящему успешное и новаторское внедрение информационных технологий является уникальным и творческим процессом: управляющие компаний и специалисты-технологи, знакомясь с методами ИТ, сами делают открытия относительно возможностей их использования в своем конкретном бизнесе. В то же время создание высококачественных информационных систем требует участия профессионалов в области ИТ. Возникает проблема нахождения общего языка. Решение этой проблемы стоит на пути интеграции современных средств высокого уровня моделирования и разработки: объектно-ориентированные методы, CASE-технологии, инженерия знаний, имитационное моделирование процессов и средства быстрой разработки приложений ("Rapid Applications Development" - RAD).

ВТОРАЯ ОСОБЕННОСТЬ заключается в необходимости параллельной и взаимосвязанной разработке двух моделей - бизнеса и поддерживающей информационной системы. Процесс разработки оказывается сложным и интерактивным, поскольку уточнение и доработка одной модели влечет модификацию другой и т.д.

НАКОНЕЦ, ЕЩЕ ОДНА ОСОБЕННОСТЬ связана с особенностями жизненного цикла современных компаний: информационная система должна быть легко модифицируема для поддержки усовершенствования бизнеса на этапе эволюционного развития организации.

Все эти особенности привели к необходимости привлечения к проведению БПР специалистов консалтинговых фирм, а также использованию специализированных инструментальных средств. Методология БПР и поддерживающие ее инструментарии должны обеспечивать интерактивную разработку моделей бизнеса и информационной системы с последующей быстрой разработкой программных предложений. Кроме того, они должны допускать естественную доработку этих моделей и программного обеспечения в ходе эволюции бизнеса.

В настоящее время консалтинговые фирмы используют, как правило, целые семейства интегрированных инструментариев, позволяющих охватывать все основные фазы процесса реинжиниринга. Для моделирования существующей компании используются разнообразные средства, начиная от потоковых диаграмм и заканчивая объектно-ориентированными моделями и даже имитационными моделями. Выбор того или иного средства определяется особенностями конкретной задачи, и в первую очередь - степенью сложности описываемых процессов. Эти же инструментальные средства применяются на этапе перепроектирования бизнес-процессов. Использование трудовых ресурсов может быть разработано и апробировано с помощью средств имитационного моделирования. Разработка поддерживающих информационных систем и их тестирование осуществляется с помощью средств быстрой разработки приложений и, в первую очередь, CASE-средств. В рамках БПР необходимо сопряжение этих средств с инструментариями, использованными на первых этапах работы по реинжинирингу. Как научно-практическое направление БПР впервые появился в США и за пять лет превратился в одну из ведущих и активно развивающихся отраслей информатики. В настоящее время начинается продвижение консалтинговых услуг и инструментариев по БПР на Российский рынок.

Применение мирового опыта построения эффективных организаций представляет огромную ценность для нашей страны, проводящей глобальную экономическую реформу и активно внедряющейся в мировую экономику.

мическую систему. Практика БПР показала, что реинжиниринг не только необходим, но и возможен. Но для успешного его проведения необходимо использование обоснованных методологий и развитых инструментальных средств.

## СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ РЕИНЖИНИРИНГА БИЗНЕС - ПРОЦЕССОВ

Карпов Э.А., Виноходова А.Ф., Черезов А.В.  
(СОФ МГИСис, г. Старый Оскол, Россия)

*Development strategy of information technologies on base reengineering business-processes.*

Стратегия развития информационных технологий (ИТ) в наше время в значительной мере определяется внешними факторами, том числе - доминирующими теориями управления, занимающимися проблемами повышения эффективности деятельности организаций. Одно из последних течений в этой области получило название "реинжиниринг бизнес-процессов", или БПР. Уже с 1990 года БПР вызывает активный интерес специалистов в области как менеджмента, так и разработки информационных систем.

Необходимость реинжиниринга связывается с высокой динамичностью современного делового мира. Непрерывные и довольно существенные изменения в технологиях, рынках сбыта и потребностях клиентов стали обычным явлением, и компании, стремясь выжить и сохранить конкурентоспособность, вынуждены непрерывно перестраивать свою стратегию и тактику. Развитие современных технологий привело к исчезновению стабильности, а рост конкуренции -- к изменению роли потребителя. Соревнование между производителями привело к дроблению массового рынка на относительно небольшие ниши, в которых уже потребитель диктует свои условия производителям, а не наоборот. Потребитель в наше время имеет существенно больший выбор не только товаров и услуг, но и даже технологий (например, он может приобрести настольный издательский комплекс). В результате производитель вынужден непрерывно приспосабливаться как к новым технологиям, так и к постоянно меняющимся запросам своих клиентов: изменение бизнес-процессов превращается в практику

повседневной жизни компаний. В этих условиях инерционность пирамидальной организации оказалась тормозом на пути к выживанию компаний.

Решением проблемы является смена базовых принципов организации компаний и переход ориентации не на функции, а на процессы. Распространение концепций менеджмента, ориентированных на процессы. Из всех концепций менеджмента, основанных на процессах, БПР рассматривается как наиболее эффективный.

Каким же может быть вклад ИТ в организацию деятельности компании? Очевидный ответ - это простая автоматизация работы. Но это означает лишь ускорение существующих процессов, что не может, в подавляющем большинстве случаев, привести к тому многократному улучшению эффективности, который предусматривает подлинный реинжиниринг. На самом деле информационные технологии позволяют изменить базовые правила организации работы. Приведем некоторые примеры.

1. Прежнее правило: информация может появляться одновременно в разных местах, где она необходима.

2. Прежнее правило: только эксперты могут выполнять сложную работу.

Технология: экспертные системы.

Новое правило: работу эксперта может выполнять специалист по общим вопросам.

3. Прежнее правило: бизнес должен выбирать между централизацией и децентрализацией.

Технология: телекоммуникационные сети.

Новое правило: бизнес может одновременно получать преимущества от централизации и децентрализации.

4. Прежнее правило: все решения принимают менеджеры.

Технология: средства поддержки решений (базы данных, программное обеспечение для моделирования и т.п.).

Новое правило: принятие решений становится частью работы каждого сотрудника.

Известны многочисленные примеры успешного реинжиниринга компаний с переходом к организации, основанной на процессах, с разработкой специализированных информационных систем.

Успешный реинжиниринг приводит к многократному повышению производительности процессов, причем речь идет не о десяти-двадцати-процентном, а о стократном и более улучшении показателей. Но, к сожалению, 50-70% попыток реинжиниринга заканчивается неудачей. Для выявления причин неудач и факторов риска был проведен ряд серьезных ис-

следований. Вот наиболее важные из условий, необходимых для достижения успеха реинжиниринга.

**1. МОТИВАЦИЯ.** Следует с самого начала четко и ясно сформулировать основные цели реинжиниринга компании. Важен реалистичный взгляд на ожидаемые результаты и требуемые затраты времени и финансов. Сотрудники компании должны быть заинтересованы в проведении реинжиниринга: в этом смысле предпочтительнее проекты, которые рассматриваются с точки зрения роста и расширения фирмы, а не сокращения размеров и расходов, поскольку первые не вызывают большого сопротивления вводимым новшествам со стороны сотрудников.

**2. ПРИВЕРЖЕННОСТЬ РУКОВОДСТВА КОМПАНИИ ИДЕЕ РЕИНЖИНИРИНГА.** Проект должен реализовываться под контролем одного из высших руководителей, глубоко заинтересованного в успешном его осуществлении. Руководство при этом должно быть готово пойти на риск.

**3. ХОРОШО ПОСТАВЛЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ КОМПАНИИ.** Отмечается, что наибольших успехов добиваются те компании, которые могли бы обойтись и без реинжиниринга за счет налаженного стратегического планирования, контроля финансов, освоения новых технологий и т.д. Отметим, что проект не может осуществляться на основе самофинансирования - он должен иметь собственный бюджет.

**4. ТВЕРДАЯ МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРИ ПРОВЕЖЕНИИ БПР.** Накопленный опыт показывает, что успеха достигали только те команды по реинжинирингу, которые следовали отработанным методам его проведения. Здесь важно выделить такие условия как: твердое руководство проектом, четкое распределение ролей и ответственности между членами команды, использование адекватной технологической поддержки, параллельная разработка новой структуры предприятия и поддерживающей информационные системы, привлечение экспертов. Таким образом, успех БПР возможен и определяется лишь степенью готовности организации к его проведению. Интересно отметить, что реинжиниринг нередко проводится (и почти всегда успешно) в благополучных организациях - компаниях, которые занимают прочное положение в текущей конкурентной борьбе и которым, казалось бы, нет смысла бороться за выживание. Проведение реинжиниринга для них означает переход на новейшие прогрессивные принципы организации своего бизнеса, то есть закладку прочного фундамента для последующего успешного развития.

## ВОЗВРАЩЕНИЕ К ДВИГАТЕЛЮ НАРУЖНОГО СГОРАНИЯ

Картау Ю.К., Луби Х.О.

(Таллиннский педагогический университет, г. Таллинн, Эстония)

### *The Return of the Long-forgotten External Combustion Engine*

Принцип действия двигателя наружного сгорания (ДНС) был описан Робертом Стирлингом уже в 1816 г. Этот двигатель работал с незамкнутым циклом, рабочим телом был подогретый воздух. Однако несовершенный теплообменник и трудности герметизации являлись причиной того, что этот двигатель не находил практического пользования почти полтора века.

В период последних 25 лет исследователи многих фирм вернулись к этому принципу. Лицензию на исследование ДНС получили шведская фирма "United Stirling", американская "Ford Motor Co" и "Department of Energy" и многие другие [1]. При использовании в качестве рабочего тела водород и применении при разработках последних достижений двигателестроения, были сконструированы, построены и введены в эксплуатацию ДНС для различных автомобилей, тракторов и особенно для стационарных установок. Однако из-за падения цен на бензин после 1980 г. дальнейшие работы по усвоению ДНС снова прекратились.

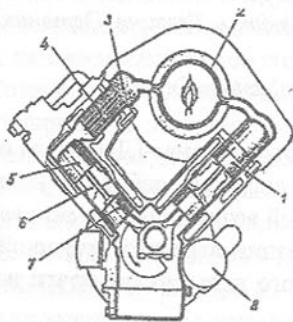
Новый толчок к использованию ДНС был дан проектами в связи с изучением космоса. По данным [1, 2, 3] в лабораториях NASA Lewis были построены ДНС, где в качестве рабочего тела использовался гелий под давлением 15 МПа. Такие установки имели электрическую мощность от 2 Вт до 25 кВт и были предназначены для работы сроком до 60000 часов.

Преимуществом ДНС перед широко используемым двигателем внутреннего сгорания (ДВС) является бесшумная работа из-за отсутствия взрывного сгорания. Горение происходит постоянно при сравнительно низкой температуре с большим избытком воздуха, вследствие чего в продуктах сгорания содержится значительно меньше токсических веществ. Процесс горения в ДНС не ставит топливу такие высокие требования, как в ДВС.

Поэтому в Таллиннском педагогическом университете в рамках технических дисциплин включена тема - ДНС. На практических занятиях используется электро-тепловая установка "United Stirling V-160", позволяющая производить электроэнергию в 5 кВт (220 В, 50 Гц) и тепловую энергию в 8 кВт в виде теплого воздуха для отопления или сушки. Принципиальная схема этой установки приведена на рис.1 [4].



Между V-образно расположенными цилиндрами расположены: камера сгорания, в которой находится теплообменник-нагреватель (2), регенератор (3) и охладитель (4). Между рабочим поршнем (1) и поршнем-вытеснителем (5) образуется пространство, которое заполняется гелием под давлением до 20 МПа. Вследствие расширения гелия в процессе нагрева, поршень (1) совершает рабочий такт, двигаясь при этом сверху вниз. При обратном движении поршня температура гелия падает вследствие отдачи тепла в регенераторе (3) и охладителе (4). Таким образом двигатель является двухтактным.



1- поршень рабочий, 2- нагреватель, 3- регенератор, 4- охладитель, 5- поршень-вытеснитель, 6- уплотнение, 7- крепежный болт, 8- пусковой двигатель

Рис. 1. Схема установки.

Из-за уменьшения мировых нефтезапасов следует ожидать повышения цен как на качественное топливо, так и на электричество. Поэтому ДНС приобретает возрастающую конкурентоспособность при снабжении индивидуальных домов и сельских ферм электро- и теплоэнергией.

В связи с особенностями ДНС по сравнению с ДВС появляется возможность в качестве топлива использовать такие местные альтернативные топлива, как сланцевое масло, многие виды растительных масел, биогаз и др. виды топлив, что пробудило новый интерес к ДНС.

**Список литературы:** 1. страница интернета < tew @ Cече.nasa.gov>. 2. Shaltens R.K. et al. "Update on the Advanced Stirling Conversion System Project for 25 kW Dish Stirling Applications" Proceedings from the 27th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference 1992. 3. Ross B.A., Ritter D.D. "Performance of a Second Generation 10 W Free-Piston Stirling /Linear Alternator Generator Set", Proceedings of the 29th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, vol. 4., 1994. 4. V-160 Stirling Serviceen het. United Stirling AS, Sweden.

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ВКЛАДЫШЕЙ

Кашицин Л.П., Худолей А.Л., Сосновский И.А., Клименко С.Е.  
(ИНДМАШ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)

*The manufacturing technology of bimetallic blank shells (steel - bronze) based on centrifugal molding in layers of bronze cover and its plotting in the sintering mode is developed. For industrial use of the technology equipment are offered.*

В Институте надежности машин разработана технология изготовления биметаллических (сталь-бронза) заготовок вкладышей [1], согласно которой покрытия из порошков свинцовистых бронз формуют на внутренней поверхности стальной заготовки послойным центробежным методом [2], а нагрев производят до температуры спекания порошка. Для промышленного использования технологии авторами предложены три принципиальные схемы изготовления половин вкладышей, а также разработано необходимое технологическое оборудование.

Комплекс технологического оборудования для изготовления биметаллических заготовок вкладышей включает в себя: генератор токов высокой частоты типа ЛПЗ или ВЧГ с рабочей частотой 66 кГц и мощностью 60, 100 кВт, установку центробежного нанесения покрытий типа ДЯФ 3.025 [3]; цифровой тахометр ТЦ-3М, агрегатный комплекс пирометров типа АПИР-С, силовой шкаф, стол-верстак для подготовки заготовок к нанесению покрытий, шкаф-стеллаж для вспомогательных материалов и оснастки, контейнеры для складирования и хранения заготовок и готовых изделий, емкость для приготовления порошковых шихт, весы и другое вспомогательное оборудование. Работа всех приводов и механизмов центробежной установки производится в автоматическом режиме, который обеспечивается электросхемой пульта управления по заданной циклограмме. Предусмотрен также ручной режим настройки и управления работой установки. Нагрев стальной заготовки с порошком производят до заданной температуры с требуемой скоростью и стабилизируют значение температуры в течение изотермической выдержки при помощи системы автоматического регулирования режимов индукционного нагрева. Для реализации технологического процесса к участку нанесения покрытий необходимо обеспечить подвод воды, сжатого воздуха и электроэнергии.

Сущность технологии нанесения бронзового покрытия на стальную основу с целью получения биметаллической заготовки вкладыша заключается в следующем. Один из торцов заготовки закрывается специальной

крышкой, во внутреннюю полость заготовки засыпается шихта и закрывается второй торец. При этом между торцами заготовок и крышек устанавливают антипригарные прокладки. Данную сборку позиционируют относительно рабочей части наружного индуктора ТВЧ высокочастотного генератора и закрепляют сборку на центробежной установке. Затем деталь приводят во вращение со скоростью 300-2000 об/мин в зависимости от ее внутреннего радиуса и включают нагрев ТВЧ. При достижении требуемой температуры, которая контролируется бесконтактно с помощью оптического пирометра, нагрев сборки отключают и продолжают вращать ее, охлаждая до 300-500°C. После чего прекращают вращение. Снимают сборку с установки и далее охлаждают ее в статическом состоянии до комнатной температуры. Затем осуществляют необходимую механическую обработку биметаллической заготовки, получая при этом половины вкладышей.

В настоящее время авторами внедрена технология изготовления крупногабаритных двухслойных заготовок вкладышей двигателя локомотива-дизеля М756, а в качестве материала покрытия опробованы следующие марки бронз - Бр.ОС1-22, Бр.ОС12-17, Бр.ОЦС5-5-5, Бр.ОФ10-1

Необходимо отметить, что на предлагаемом технологическом оборудовании можно также изготавливать биметаллические втулки пресового и литейного оборудования, гайки вентиля, подшипники скольжения, гильзовые втулки, автомобильные синхронизаторы и др. многослойные детали. Размеры изделий: наружный диаметр от 10 до 500 мм, внутренний диаметр от 4 до 480 мм, толщина стенки стальной заготовки до 80 мм, длина до 500 мм, толщина наносимого покрытия от 0,5 до 50 мм, твердость антифрикционных покрытий от 27 до 120 НВ.

**Список литературы:** 1. Технология изготовления крупногабаритных вкладышей дизелей и компрессоров / Л.П. Капицин, А.Л. Худолей, И.А. Соновский, С.Е. Клименко // Новые технологии по переработке и использованию отходов. Материалы междунар. конф. - Минск, 1998. - С.59. 2. Худолей А.Л. Разработка технологии индукционного припекания с использованием послойного центробежного формования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Ин-т надежности машин. - Минск, 1997. - 16с. 3. А.с. 1636125 СССР, МКИ5 В22F7/04. Установка для нанесения покрытий из порошков на внутренние поверхности цилиндрических изделий / Л.П. Капицин, Н.Н. Дорожкин, Э.А. Щербаков (СССР). - №4109600/02; Заявл. 14.08.86; Опубл. 23.03.91, Бюл. №11-С.32.

## ДИЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДВОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ЕД-20 ТА ОКСИДІВ АЛЮМІНІЮ, МІДІ І ХРОМУ

Кашуба Ю.О., Митник М.М., Стухляк П.Д. (Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, м.Тернопіль, Україна)

*Modern antenna systems of the super high frequency range are operating in the harmful climatic conditions. That is why to provide the stability of the working parameters of the antenna systems is one of the most actual and complex tasks of the modern material science.*

Електротехнічна промисловість ставить вимоги до матеріалів, які повинні задовільняти комплекс необхідних електрофізичних характеристик: тангенс кута діелектричних втрат ( $\operatorname{tg} \delta$ ), відносну діелектричну проникність ( $\epsilon$ ). Такі матеріали отримують шляхом формування багатоконпонентних систем на основі наповнювачів та полімерної матриці, що дозволяє направлено керувати діелектричними властивостями композитів. Попередні дослідження неоднозначно пояснюють вплив різних наповнювачів на вказані характеристики. В більшості посилань приводять залежності зміни  $\operatorname{tg} \delta$  та  $\epsilon$  від температури і частоти при різних типах наповнення без врахування впливу дисперсності на діелектричні властивості.

Зокрема автори [1] вказують на те, що зростання концентрації наповнювача призводить, з однієї сторони, до зменшення кількості диполів в одиниці об'єму, що веде до зниження діелектричних втрат. З ростом концентрації наповнювача максимальні значення  $\operatorname{tg} \delta$  дипольно-сегментальних втрат зміщуються в сторону низьких температур, хоча при малому вмісті наповнювача це зміщення приховується близько розміщеною областю дипольно-групових втрат.

При обмеженій пластифікації полімеру - зміна температури склування ( $T_g$ ) і положення температурного  $\operatorname{tg} \delta_{\max}$  відбувається лише до певної концентрації пластифікатора, що відповідає межі сумісності [2]. Подальше збільшення концентрації пластифікатора не змінює положення  $\operatorname{tg} \delta_{\max}$  при зростанні його значення.

Так як головний максимум тангенса кута діелектричних втрат  $\operatorname{tg} \delta_{\max}$  спостерігається при температурі склування полімеру, то суміщення пластифікатора і матриці еквівалентне зниженню температури склування. Тому ступінь затвердження полімерів можна оцінювати по зміні  $\operatorname{tg} \delta_{\max}$ , оскільки вона безпосередньо пов'язана з рухливістю макромолекул.

Очевидним було-б чекати зміни діелектричних властивостей за рахунок зміни міжфазної взаємодії при введенні в полімерну матрицю

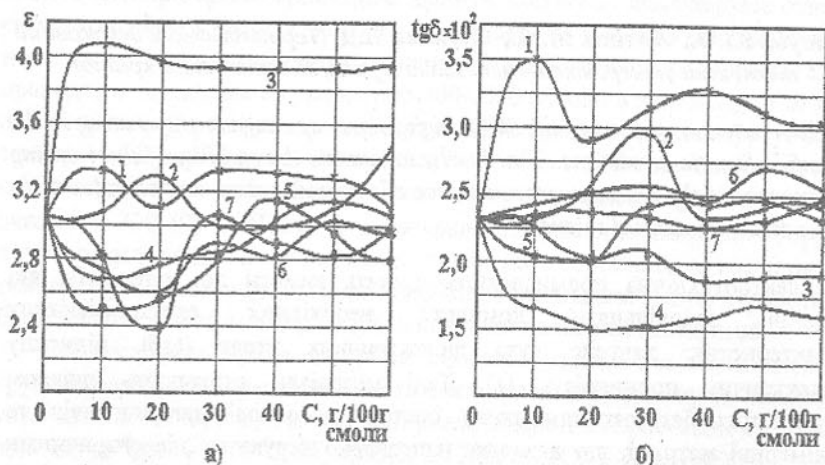


Рис. 1. Залежності відносної діелектричної проникності  $\epsilon$  і тангенса кута діелектричних втрат  $\tan \delta$  від вмісту наповнювача: 1 -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (дисперсність  $d=5$  мкм); 2-  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (дисперсність  $d=100$  мкм); 3 -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (дисперсність  $d=200$  мкм); 4-  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 5 -  $\text{CuO}$  ( $d=50$  мкм); 6-  $\text{CuO}$  ( $d=100$  мкм); 7-  $\text{CuO}$  ( $d=160$  мкм).

однорідних наповнювачів різної дисперсності.

Дослідженням діелектричних втрат і проникності в діапазоні міліметрових та субміліметрових довжин хвиль встановлено [3], що при частотах  $10^{11}$  Гц і вище має місце зростання  $\tan \delta$  та  $\epsilon$ . Цей ріст можна пояснити наявністю бічних гідроксидних -ОН груп, котрі впливають на механізм затвердження двокомпонентних систем. Тому цікавим є оцінка впливу міжфазної взаємодії на межі поділу фаз, що зумовлює створення шарів з особливими діелектричними характеристиками. Це досягали введенням у полімерну матрицю наповнювачів різної дисперсності та активності по відношенню до полімерного в'язучого.

Вихідним матеріалом служили епоксидна діанова смола марки ЕД-20, отверджувач - поліетиленполіамін та дрібнодисперсні наповнювачі - оксид алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), оксид хрому ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), оксид міді ( $\text{CuO}$ ). Композиційні матеріали отримували суміщенням компонентів до отримання однорідної суміші. Затвердження здійснювали при температурі  $T=293-298$  К протягом 24 год. з попереднім вакуумуванням та подальшою термічною обробкою при температурі 393 К протягом 2 год. Для випробувань вибирали плоскі зразки круглого поперечного січення діаметром  $D=35$  мм та товщиною

$t=1,55$  мм, а дослідження проводили за стандартизованою методикою [4]. При цьому в резонаторі круглого поперечного січення діаметром  $D=36$  мм збуджували хвилю типу Н01, із частотою 11,15 ГГц. Концентрацію наповнювачів брали в масових частинах на 100 масових частин в'язучого (мас.ч.).

У результаті досліджень встановлена немонотонна зміна величини діелектричної проникності ( $\epsilon$ ) та тангенса кута діелектричних втрат ( $\tan \delta$ ) композитів від кількості наповнювачів (рис.1). На кривих залежності  $\epsilon$  і  $\tan \delta$  від концентрації наповнювача спостерігається ряд екстремумів. Суттєвий вплив на вказані характеристики має концентрація наповнювача та його дисперсність. За допомогою електронного парамагнітного резонансу, інфрачервоної спектроскопії та інших методів структурного аналізу виявлено механізми, що впливають на вказані характеристики. Показано, що екстремальні значення електротехнічних характеристик при даних концентраціях зумовлені впливом вибіркової адсорбції компонентів у полімерній системі на тверду поверхню наповнювача поблизу активних центрів. Такий вплив спричинює утворення фізичних та хемосорбційних зв'язків між активними центрами на поверхні наповнювачів і макромолекулами в'язучого з створенням перехідного шару на границі поділу фаз. Матеріал таких шарів має свої специфічні властивості відмінні від властивостей наповнювача та матриці. Керуючи властивостями та об'ємом матеріалу перехідних шарів, шляхом введення різних по дисперсності та активності до полімерної матриці наповнювачів, можливо суттєво покращувати електротехнічні властивості композитів у цілому.

Таким чином, проведені дослідження показують напрями регулювання діелектричних характеристик шляхом керування механізмами, що впливають на зміну взаємодії компонентів у системі композита. Це дозволяє цілеспрямовано керувати діелектричною проникністю і тангенсом кута діелектричних втрат при створенні матеріалів електротехнічного призначення.

Список літератури: 1. Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В. Курс физики полимеров. Под ред. проф. С.Я. Френкеля -Л.: Химия, 1976.-288с. 2. Тагер А.А. Физикохимия полимеров. 3-е изд., перераб. -М.: Химия, 1978.-544с. 3. Электрические свойства полимеров. / Сажин Б.И., Лобанов А.М., Романовская О.С. и др. Под ред. Б.И. Сагина - 3-е изд., перераб. - Л.: Химия, 1986.-224с. 4. Зайцев А.Н., Иващенко П.А., Мельников А.В. Измерения на



сверхвысоких частотах и их метрологическое обеспечение. -М.: Изд-во стандартов, 1989.-382с.

## ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ДОНБАССА

Киричок А.С., Ященко Ю.П. (Госинспекция по энергосбережению,  
г. Донецк, Украина)

*The present article deals with principles and results of economics and  
energetic analyses of energy consumption in the Donbass machine building.*

Украина - один из мировых «лидеров» по энергоемкости общественного производства. Ее доля в мировом потреблении составляет (по данным ООН) 2,5%, хотя численность населения - менее 1%. Потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) промышленностью Украины в целом превышает 50% (в Донецкой области - около 75%), а в развитых странах мира этот показатель составляет в среднем около 30%.

Энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) по первичной энергии в Украине более чем в 2. раза превышает аналогичный показатель стран Европейского Союза, в 2,5 раза - Германии, в 2,7 раза - США и в 4,5 раза - Японии.

В сравнении с 1990 годом энергоёмкость ВВП Украины возросла более, чем на 40%. И это при том, что уровень обеспеченности Украины собственными топливно-энергетическими ресурсами составляет около 44%.

Увеличение энергетической составляющей в ВВП приводит к увеличению конечной цены продукции, её не конкурентоспособности на внешнем рынке, уменьшению товарооборота и, как результат, снижению отчислений в бюджет и в целом - к снижению энергетической и национальной безопасности Украины. Поэтому реализация потенциала энергосбережения является одним из основных приоритетов технической политики Госинспекции по энергосбережению.

В структуре потребления ТЭР машиностроительным комплексом Донецкой области основную часть занимают технологические процессы, для обеспечения которых используется 55 - 60 % котельно-печного топлива, 90-95% электроэнергии и до 45% тепловой энергии от общего объёма их потребления машиностроением области. В связи с недостаточным объёмом оборотных средств большинство машиностроительных предприятий

области не выполняет в срок капитальные и планово-предупредительные ремонты энергетического и технологического оборудования. Невыполнение этих работ увеличивает удельные затраты энергоносителей в среднем на 3% в год. На большинстве предприятий отрасли налажен лишь коммерческий учёт энергоносителей, их потери в подразделениях, цехах, на энергоемком оборудовании не определяются.

Уменьшение потерь ТЭР при таких обстоятельствах можно достичь применением системного энергоэкономического анализа (ЭЭА), который основывается на системном использовании информации о предприятии, его подсистемах, целях и условиях их деятельности, составе, энергетических и технико-экономических характеристиках систем энергопотребления и др. Анализ не ограничивается выявлением существующего положения: разрабатываются варианты альтернативных решений, обосновываются преимущественные варианты, на основе которых разрабатываются мероприятия, составляющие план работ по энергосбережению.

Программа ЭЭА в общем случае включает ряд последовательных этапов и операцию по переводу объекта из существующего в новое, более эффективное состояние:

- определение целей анализа; сбор предварительной информации об объекте (размеры, расположение, режим работы); составление баланса электрической мощности и топливно-энергетического баланса по видам энергии и основным потребителям; анализ счетов за энергию (структура тарифов, таблицы и графики потребления по сезонам, на протяжении суток); выявление зон сосредоточения резервов (отдельных подсистем, объектов) и определение общих направлений, мероприятий по их реализации; функционально-стоимостной анализ по каждому объекту, отобранному для углубленного анализа; энергоэкономические оценки вариантов, определение предпочтительных и выбор оптимального варианта; подготовка, отчёта с обоснованием рекомендаций заказчику по включению мероприятий в план энергосбережения и внедрению на предприятии системы управления потреблением энергии.

Для каждого машиностроительного предприятия указанная схема уточняется и детализируется.

Подсистемы включают универсальные, общие для любого предприятия элементы (здания: системы отопления, вентиляции, кондиционирования; система электропитания, система освещения; котлоагрегаты и пароподача; горячее водоснабжение; сжатый воздух; двигатели).

К специфичным подсистемам энергопотребления относят технологическое оборудование специального назначения.

В свою очередь, внутри указанных подсистем анализ проводят по более детальным направлениям возможного энергосбережения (в области рационального использования электродвигателей, например, предлагается анализировать 20 направлений возможной оптимизации их использования: стабилизация напряжения, снижение небаланса фаз, повышение коэффициента мощности, выбор типоразмера и вида двигателя, использования приводов с регулируемой скоростью вращения и др.). Конечная цель анализа достигается путём пошагового приближения.

Оценки показывают, что на предприятиях машиностроения лишь примерно 30 % энергоресурсов может быть отнесено на чисто технологические процессы, остальное относится к универсальным подсистемам потребления энергии.

Первые результаты применения ЭЭА во время экспертных обследований государственной инспекцией по энергосбережению предприятий машиностроительного комплекса Донбасса позволяют выделить три группы мероприятий. Беззатратные и осуществляемые в ходе технического обслуживания мероприятия (устранение неполадок в работе оборудования, соблюдение оптимальных режимов работы) дают снижение затрат энергии в пределах 5-15%. Малозатратные и быстрокупаемые мероприятия (приведение мощности оборудования в соответствие с действительно потребной, изменение режимов работы предприятия, его подразделений, установление КИП и др.) дают экономию до 30%.

Внедрение новой техники и комплексных мероприятий (например, применения накопителей энергии с целью сдвига пика нагрузки, использование концентрированных источников энергонагрева металла и др.) дают экономию энергии до 50% и более, но требуют высоких затрат и связаны с длительной окупаемостью. При нынешнем состоянии экономики Украины для большинства машиностроительных предприятий первоочередными являются первые две группы мероприятий.

Большой потенциал энергосбережения существует и в металлообработке. За счёт внедрения таких энергоэкономичных технологических процессов как ультразвуковая, электроискровая и электрохимическая обработка металла, электролучевая и диффузионная сварки можно уменьшить затраты электрической энергии на 20-25% от общего объема их потребления в процессах металлообработки.

Наивысшим уровнем было бы внедрение в машиностроении автоматизированных систем контроля, учета потребления и управления потерями энергоносителей. Организовать производство основных компонентов таких систем можно на машиностроительных предприятиях Донецкой области, а внедрение - в народнохозяйственном комплексе Украины.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСА ПРОФИЛЯ АБРАЗИВНОГО ОРИЕНТИРОВАННОГО КРУГА

Клюшниченко В.Н., Венжега В.И., Пасов Г.В.  
(ЧТИ, г. Чернигов, Украина)

*The present scientific report deals with a new method of simulations grinding with periphery and end face of an oriented tool. The influence of cutting conditions and tool parameters on the wheel profile wear is analysed.*

Круглое наружное шлифование является одним из наиболее распространенных методов обработки различных деталей типа тел вращения. Одним из перспективных направлений повышения его производительности является применение глубинного шлифования. При котором почти вся работа по съему припуска осуществляется у переднего в направлении подачи торца шлифовального круга. В этой зоне происходит интенсивный износ круга и интенсивное тепловыделение, возникают максимальные силы резания, что приводит к ухудшению качества обработанной поверхности. Чтобы устранить эти отрицательные явления, применяют новые прогрессивные способы шлифования, к которым относится способ одновременного шлифования периферией и торцом ориентированного круга [1]. Методика для определения износа ориентированного круга недостаточно разработана и полностью отсутствуют экспериментальные данные.

Износ кругов оценивают в линейных и относительных величинах. Под линейным износом  $I(i)$  подразумевается износ абразива при определенной скорости шлифования в направлении, нормальном к профилю инструмента. Под удельным износом  $q$  подразумевается объемный или весовой износ круга  $Q_a$ , за какой-либо промежуток времени, отнесенный к объему или весу металла  $Q_m$ , сошлифованному кругом с обрабатываемой поверхности за тот же промежуток времени [2]

$$q = \frac{Q_a}{Q_m} \quad (1)$$

При шлифовании ориентированным инструментом различные участки круга снимают неодинаковые объемы металла, и в процессе шлифования износ профиля инструмента будет неравномерным.

Мгновенный съём металла, срезаемый участком профиля инструмента в единицу времени в окрестности  $i$ -той точки контакта круга с заготовкой определяется по формуле

$$Q_m = Q_u(i) \cdot \Delta l = \int_l Q_u(i) dl \quad (2)$$

$$Q_u(i) = \int_{u_2}^{u_1} R(i) \cdot V_n du \quad (3)$$

где  $Q_u$  - удельная производительность в окрестности  $dl$   $i$ -той точки;  $R(i)$  - радиус инструмента в  $i$ -той точке;  $V_n$  - проекция вектора относительной скорости на вектор нормали к поверхности контакта круга и детали;  $u_1, u_2$  - угловые координаты размеров пятна контакта.

Объем изношенного абразива за то же время, тем же участком профиля круга, в окрестности той же  $i$ -той точки, можно определить по формуле

$$Q_a(i) = k_a \cdot \omega_i \cdot \pi \cdot \Delta h(i) \cdot I(i) \cdot (2 \cdot R(i) - I(i)) \quad (4)$$

где  $k_a$  - коэффициент, учитывающий перекрытие режущих кромок в направлении подачи врезания круга;  $\omega_i$  - угловая скорость вращения круга;  $\Delta h(i)$  - элементарный участок круга, в окрестности которого находится  $i$ -тая точка.

Решая совместно (1), (2) и (4), определим линейный износ круга в  $i$ -той точке

$$I(i) = R(i) - \sqrt{R(i)^2 - \frac{q \cdot Q_u(i) \cdot \Delta l(i)}{k_a \cdot \omega_i \cdot \pi \cdot \Delta h(i)}} \quad (5)$$

Для подтверждения правильности предложенной методики был сконструирован стенд на базе станка с ЧПУ ВЗ - 208 - ФЗ, который позволяет производить обработку одновременно периферией и торцом ориентированного инструмента. Эксперименты проводили для случая круглого наружного шлифования ориентированным инструментом валика диаметром 50 мм, длиной 50 - 250 мм из стали 45 (HRC 42 - 45) кругом I - 200×25×32 25A 25 CM2 7 K 35 с углом ориентации 5 градусов при различных скоростях круга 20 - 35 м/с, глубинах резания 0,5 - 2 мм, подачах на оборот 1 - 8 мм/об. Экспериментально определяли линейный и удельный износ круга. Линейный износ в  $i$ -тых точках поверхности круга определяли, снимая профиль круга на легкообрабатываемых пластинах. Износ абразива определяли измерением полученных профилей и взвешиванием.

Анализ полученных теоретических выражений и экспериментальных исследований показывает: с увеличением глубины резания, подачи на оборот и частоты вращения детали износ профиля круга увеличивается, а при увеличении скорости, диаметра и высоты круга износ - уменьшается. Расчетные и теоретические данные близки друг к другу и сходны с данными ВНИИАШ для традиционных методов обработки [2].

**Список литературы:** 1. Кальченко В.И. Научные основы шлифования криволинейных поверхностей с управляемой ориентацией абразивного инструмента. Автореферат на соискание ученой степени докт. техн. наук. Харьков, 1994. - 34с. 2. Лурье Г.Б. Шлифование металлов. - М.: Машиностроение, 1969. - 172с.

## КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ И ПРЕОДОЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ В ТОРГОВЛЕ

Клягин Г.С. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*The products (goods and services) quality improvement, the Ukraine products competitiveness at domestic and foreign markets, the Ukraine's possessive share in international trade, the investment process and Ukraine integration into the European and world's economy structures assistance are main tasks which Ukraine, and the Donbass region in particular, face in their attempts to overcome the economy crisis.*

Начиная с 1989 года, во всем мире каждый второй четверг ноября под эгидой ООН проводится Всемирный день качества. Его девиз, выражающий главную мысль мероприятия, - "Качество во имя лучшей жизни".

Учитывая возрастающее значение качества для конкурентоспособности европейской экономики, с 1995 года по инициативе Европейской комиссии ООН проводится Европейская неделя качества, приуроченная к Всемирному дню качества.

В то время, когда многие государства мира заявили о приоритетности вопросов качества продукции, услуг и качества жизни людей при проведении экономических реформ, Украина еще не имеет национальной политики в области качества.

Сегодня довольно популярной является мысль о том, что настоящий рынок сам автоматически обеспечит и высокое качество нашей продукции. Это далеко небезобидная ошибка. Жестокое рыночное конкурентное просто уничтожает предприятия, которые выпускают продукцию низкого качества. Идет разорение целых отраслей промышленности, которые не выдерживают конкуренции с ведущими компаниями мира.

Ситуация усугубляется еще и тем, что у нас неоправданно быстро и непоследовательно идет либерализация внешнеэкономической деятельности. Под давлением торговых партнеров Украины снимаются как та-



рифные, так и нетарифные регуляторы доступа товаров на внутренний потребительский рынок.

Иными словами именно на этапе перехода к рыночной экономике нужна четкая политика в этой области на государственном, региональном уровнях и на уровне отдельного предприятия.

В качестве положительного примера можно привести китайский опыт государственного регулирования экономических преобразований. Еще одним примером является Япония после второй мировой войны, которая определила свою экономическую стратегию как стратегию повышения качества своей продукции.

Однако свободная конкуренция на мировом рынке ограничивается бесконечным количеством национальных стандартов (это нетарифное или техническое регулирование), со стороны правительств, а также тарифным регулированием при поступлении товара на таможенную территорию.

Наибольшие трудности возникают при нетарифном регулировании, поскольку учет требований национальных стандартов страны-импортера требуют перестройки технологии производства продукции страны-экспортера. В частности, Украина занимает одно из ведущих мест в мире по производству металлопродукции. Производственные возможности металлургического комплекса превышают потребности в металлопродукции, что обеспечивает экспортный потенциал предприятий [1].

Обобщение мирового опыта развития промышленности и формирование мировых рынков показало отрицательную роль национальных стандартов, которые создали так называемые "технические барьеры" в торговле. Мировая торговля требует мировых стандартов!

В настоящее время в Украине деятельность в области качества, стандартизации, метрологии и сертификации регламентируется 13 Законами и Декретами Украины и более чем 20 Указами, Постановлениями и распоряжениями Президента и Кабинета министров Украины.

В стране создан и функционирует 121 технический комитет по стандартизации, при непосредственном участии которых разработана 1900 государственных стандартов Украины, большинство из которых (60%) гармонизированы с международными, а 298 являются прямым внедрением международных стандартов. 507 стандартов являются терминологическими. Около 50 стандартов составляют основу национальной системы стандартизации, вооружения и военной техники. Как новый рыночный инструмент регулирования в Украине создана и внедрена национальная система сертификации УкрСЕПРО. В рамках этой системы аккредитовано 138 органов по сертификации, 680 испытательных лабораторий. Подготовлено и занесено в Государственный реестр 130 экспертов-аудиторов. Сертифи-

кация стала эффективным инструментом защиты внутреннего рынка от опасной продукции, а производителя - от недобросовестной конкуренции. Только за прошлый год более 300 видов продукции не прошли сертификационных испытаний.

Госстандарт проводит кропотливую работу по заключению двухсторонних договоров о взаимном признании результатов сертификации. Сегодня такие договоры имеются с 27 странами. Первой европейской страной, с которой заключен такой договор на межправительственном уровне, стала Франция.

28-29 октября 1997 года в городе Донецке состоялась украинско-французская встреча - семинар "Преодоление технических барьеров в торговле и взаимное сотрудничество". Встреча-семинар послужила первым практическим шагом после подписания в 1997 году двух документов: Договора между Госстандартом и французской Ассоциацией по стандартизации AFNOR в январе и Соглашения на межправительственном уровне в апреле 1997 года в Париже.

Соглашения направлены на содействие вхождению Украины в систему европейских норм и стандартов, на развитие взаимовыгодного технического и торгово-экономического сотрудничества между нашими странами. На встрече-семинаре обсуждались две основные проблемы: преодоление технических барьеров в торговле на уровне национальных органов сертификации Украины и Франции на примере использования в электротехнической промышленности и в энергетике и отработка систем постоянных и устойчивых торгово-экономических связей.

В работе семинара приняли участие представители промышленных и внешнеторговых фирм Украины и Франции, таможенных органов, торгово-промышленной Палаты, научно-исследовательских и учебных институтов, товарных бирж, сотрудники Посольства Франции в Украине.

Работать над проблемами качества необходимо на всех уровнях, в том числе и на региональном. Нам известно, например, что в Ярославской и Нижегородской областях России созданы и реализуются региональные программы повышения качества продукции.

Еще один уровень - это уровень предприятия. К сожалению, многие наши руководители еще не прониклись современной философией качества [2]. В большинстве случаев дело ограничивается закупкой современного оборудования, технологий, модернизацией производства. Однако без внедрения системы управления качеством на базе стандартов ДСТУ, ISO - 9000 все это может стать напрасной тратой средств и времени. Поэтому на предприятии, которое хочет выжить в условиях жесткой конкуренции, необходимо начинать работы, связанные с внедрением современных методов

управления качеством, улучшать организационную структуру, а также повышать квалификацию персонала.

Без этого путь на европейский рынок просто невозможен.

**Список литературы:** 1. Минаев А.А., Клягин Г.С. "Тенденции развития черной металлургии Украины и реализации продукции на мировых рынках" - Труды Семинара по экономическим аспектам применения чистых технологий..., Экономическая комиссия для Европы ООН, 22-24 апреля 1998г., г. Линц, Австрия. 2. Гог Ж-М., Клягин Г.С., Воскобойникова Н.П. "Чувство перемен: ментальный прорыв" - в сб. трудов IV Международной научно-технической конференции "Прогрессивные технологии машиностроения и современность", 9-12 сентября 1997г., г. Севастополь, Украина.

### ДИАГНОСТИКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДУГОГАСЯЩЕГО РЕАКТОРА

Кобазев В.П. Чупайленко А.А. Кошкин Б. А. Прокопенко А.И.  
(ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*The capacitiv currents compensation problem is actual for the modern power engineering. This paper considers the model of compensated electric net on basis of IMDS program packet and the basic requirements for the control system.*

Дугогасящий реактор (ДР) в электрических сетях напряжением 6...35 кВ с большим емкостным током замыкания на землю является важным технологическим элементом системы электроснабжения. Он позволяет значительно уменьшить ток однофазного замыкания на землю и возникающие в этом режиме уровни перенапряжений. Эти свойства реактора обуславливают его широкое использование в схемах электроснабжения для повышения надежности и безопасности электрических сетей, поэтому теория и практика автоматической компенсации емкостного тока продолжает развиваться.

В настоящее время в литературных источниках описано большое количество различных регуляторов. В связи с существенными затратами на экспериментальную проверку принципиальных электрических и структурных схем регуляторов авторы предлагают использовать для этого программу расчета автоматических систем регулирования IMDS. В ней система регулирования представляется в виде структурной

алгоритмической схемы, сформированной из типовых блоков входного языка пакета.

При расчете переходного процесса в системе регулирования используется жестко устойчивый метод интегрирования - неявный метод Эйлера. Программа позволяет вести интегрирование как с постоянным так и с переменным шагом.

Для непрерывного поддержания резонансной настройки плавно-регулируемых ДР применяются различного рода регуляторы. Однако, как и любое электронное устройство, они имеют ограниченный ресурс безотказной работы. При несвоевременном обнаружении неисправности регулятора расстройка ДР порядка 10 %...15 % может сохраняться достаточно долго. Известно что эффективность

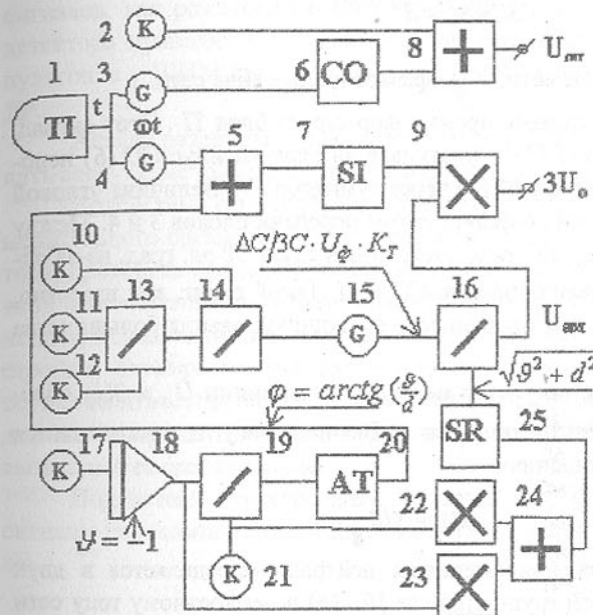


Рис. 1. Структурная схема. Значения констант:  $K2 = U_n K_T$ ;  $K10 = \Delta C$ ;  $K11 = I_C$ ;  $K12 = \omega U_\phi$ ;  $K17 = 1$ ;  $K = 1$ ;  $K21 = d$ .

реактора максимальна при резонансной настройке, поэтому быстрое обнаружение повреждений в регуляторе является актуальной задачей.

На рис.1. приведена структурная схема формирования входных сигналов регулятора при помощи программы IMDS. При моделировании на ЭВМ принципиальных схем регуляторов необходимы синусоидальные напряжения опорное  $U_{оп}$  и нейтрали  $3U_0$ , причем угол  $\phi$  между ними зависит от степени расстройки реактора  $\theta$ , а амплитуда напряжения нейтрали от соотношения емкостей сети  $3C$  и дополнительного конденсатора  $\Delta C$ , и добротности сети  $d$ . Конденсатор  $\Delta C$  в реальной электрической сети включается между одной из фаз сети и землей для создания искусственного смещения нейтрали, необходимого для работы регулятора в нормаль-

ном режиме. Входные напряжения регулятора формируются в соответствии со следующими соотношениями:

$$U_{on} = U_n \cos(\omega t),$$

$$3U_o = \frac{\Delta C}{3C\sqrt{g^2 + d^2}} \cdot U_\phi \sin(\omega t + \varphi),$$

$U_n$  - линейное напряжение сети;  $U_\phi$  - фазное напряжение сети.

В схеме рис.1. системное время  $t$  формирует блок П1. Этот сигнал, пройдя через усилители G (3,4), поступает на блок косинус CO (6) непосредственно, а на блок синус SI (7) через сумматор (5). Величина угловой частоты сети определяется коэффициентом передачи блоков 3 и 4. Между напряжениями  $U_{on}$  и  $3U_o$  имеется постоянный сдвиг 90 эл. град. из-за одновременного использования блоков CO и SI. Такой сдвиг, как известно, необходим для обеспечения правильного функционирования большинства фазовых регуляторов.

Переменный сдвиг по углу  $\varphi$  между напряжениями  $U_{on}$  и  $3U_o$  обеспечивается подачей на сумматор 5 угла  $\varphi$ . Вычисление угла  $\varphi$  выполняется в блоках 19,20 по соотношению:

$$\varphi = \arctg \frac{g}{d},$$

Амплитуда напряжения смещения нейтрали определяется в двух группах блоков. В первой группе (блоки 10...15) по емкостному току сети  $I_c$ , фазному напряжению, емкости конденсатора  $\Delta C$  вычисляется выражение:

$$\Delta C / 3C \cdot U_\phi \cdot K_T$$

где  $K_T$  - коэффициент трансформации измерительного трансформатора.

Во второй группе блоков (19...25) вычисляется выражение:

$$\sqrt{g^2 + d^2}.$$

Полученные значения выражений делятся в блоке (16). В результате на выходе блока 16 появляется напряжение пропорциональное амплитуде смещения нейтрали:

$$U_{ам} = \frac{\Delta C}{3C\sqrt{g^2 + d^2}} U_\phi K_T$$

Напряжение  $3U_o$  будет формироваться на выходе блока (9) в результате умножения  $U_{ам}$  на  $\sin(\omega t + \varphi)$ .

На основе разработанной модели были проведены исследования различных типов фазовых детекторов, стандартного, цифрового, ШИМ детектора, с различными видами неисправностей.

Результаты расчетов АСР показали, что детектор с перемножением сигналов и ШИМ детектор, воспринимают отсутствие одного из входных сигналов, как резонансную настройку ДР. Отказы элементов цифрового детектора приводят к исчезновению на его выходе прямоугольных импульсов, а у ШИМ детектора к появлению ложного сигнала о расстройке ДР.

Анализ различных схем регуляторов на ЭВМ позволил также составить следующие основные требования к системе диагностики.

Подсистема самоконтроля должна: осуществлять оценку работы измерительного органа и контролировать наличие входных сигналов регулятора; проверять прохождение сигнала с выхода измерительного органа на вход исполнительного органа; выявлять автоколебательный режим работы исполнительного органа; контролировать продолжительность сигнала расстройки; блокировать регулятор при неправильном функционировании, осуществлять индикацию и передачу сигнала об аварии; подсистема должна возвращаться в исходное состояние после устранения причины, вызвавшей ее срабатывание.

Подсистема тестирования должна формировать четыре вида сигнала: перекомпенсация, недокомпенсация, резонанс, замыкание на землю.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПОР ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ковалев В.Д. (ДГМА, г. Краматорск, Украина)

*The method of experimental researches of fluid friction bearings are adduced. It allows to spread data of single experiment on a group of effects and to generalize results of researches.*

При создании современных машин приходится сталкиваться со сложными проблемами, так как процессы, протекающие при функционировании отдельных узлов (например, узлов трения), а также технологии получения деталей (например, труднообрабатываемых материалов), отличаются сложностью протекающих физических процессов и взаимосвязью различных факторов исследования. Полнофакторный эксперимент в ре-



альных условиях на натуральных установках во всех диапазонах режимов эксплуатации и возможных сочетаниях конструктивных параметров обходится дорого, является трудоемким и не всегда информативен, так как не позволяет понять внутренние связи сложного процесса. Поэтому необходимо разрабатывать специальные модели, позволяющие вести целенаправленное изучение явлений в различных аспектах.

Научной основой постановки экспериментальных исследований и обобщения полученных результатов является теория подобия [1], которая базируется на следующих основных теоремах:

- Подобные явления имеют одинаковые критерии подобия.
- Зависимость между переменными, характеризующими явления, может быть представлена как зависимость между критериями подобия ( $\pi$ -теорема).
- Необходимым и достаточным условием подобия является подобие условий однозначности и равенства определяющих критериев подобия изучаемого явления.

Для экспериментально-теоретического изучения сложных процессов надо проанализировать дифференциальные уравнения, характеризующие общие функциональные связи между основными факторами и условия однозначности, включающие геометрические характеристики, физические свойства и краевые условия. Условия подобия и закономерности моделирования устанавливаются на основании  $\pi$ -теоремы подобия, согласно которой результаты физического эксперимента могут быть обработаны в виде зависимостей между безразмерными комбинациями величин, участвующих в исследуемом процессе. Функциональные зависимости, характеризующие процесс и представленные в виде безразмерных критериев подобия, остаются справедливыми для всех процессов, имеющих численно одинаковые с изучаемым критерии подобия.

Проблема исследования рабочих процессов, протекающих в опорах жидкостного трения современного станочного оборудования отличается особой важностью, обусловленной как сложностью происходящих взаимосвязанных физических явлений, так и определяющим влиянием эксплуатационных характеристик опор на точность, надежность, долговечность, надежность и общий технический уровень станочного оборудования.

Теоретические исследования позволяют определить особенности поведения тонкого слоя вязкой несжимаемой жидкости, разделяющей поверхности опоры, находящиеся в относительном движении и взаимно передающие нагрузки, а также установить количественные соотношения ме-

жду величинами, описывающими механическое и термическое состояние в каждой точке слоя смазочного материала в исследуемой области [2].

Для того, чтобы определить границы распространения данных единичного опыта, необходимо выделить группу подобных явлений, для которых уравнения связи, выражающие количественные соотношения связей между величинами, характеризующими эти явления, должны допускать линейно подобную группу преобразований. Для рассматриваемой задачи уравнением связи является дифференциальное уравнение в частных производных второго порядка, описывающее закон распределения давлений в исследуемой области.

Для выделения из общего решения этого уравнения частных, однозначно определяющих искомую функцию давления в рассматриваемой точке, надо присоединить к уравнению связи условия моновалентности (однозначности) - геометрические параметры опоры, граничные и начальные краевые условия, величины физических постоянных, входящих в уравнение связи. При присоединении условий однозначности устанавливается их подобие, то есть различие таких явлений заключается лишь в масштабах соответствующих величин.

Из анализа исходного уравнения связи и условий однозначности следует, что две опоры жидкостного трения различных размеров будут работать подобно, и, соответственно, распределения давлений, скоростей, температур будут подобными только тогда, когда следующие основные критерии подобия примут одинаковые значения для обоих сопоставляемых опор - безразмерные величины, характеризующие:

- давление  $p$  в рассматриваемой точке исследуемой области

$$\overline{p}_{i,k} = p_{i,k} / p^*; \quad \{h, \bar{\Lambda}, \bar{\mu}(T);$$

- несущую способность  $W$

$$k_w = W / (p^* n^2); \quad \{h, \bar{\Lambda}, \bar{\mu}(T);$$

- координаты  $X_w, Y_w, Z_w$  вектора равнодействующей сил давления ( $X'_w, Y'_w, Z'_w$  - характерные геометрические параметры опоры в направлении соответствующей координаты)

$$k_{w(x,y,z)} = X_w(Y_w, Z_w) / X'_w(Y'_w, Z'_w); \quad \{h, \bar{\Lambda}, \bar{\mu}(T);$$

- мощность  $N_{тр}$ , затрачиваемую на преодоление сопротивления вязкого сдвига сопрягаемых поверхностей:

$$k_{N_{mp}} = \frac{N_{mp} h_0 \bar{H}_1^{-2}}{\mu n^2 U^2}; \{ \bar{h}, \bar{\Lambda}, \bar{\mu}(T);$$

-расходные характеристики  $Q$  опоры

$$k_Q = \frac{Q\mu}{h_0^3 p}; \{ \bar{h}, \bar{\Lambda}, \bar{\mu}(T);$$

- температуру нагрева смазочного  $\Delta T$  материала при прохождении его через исследуемую область

$$\Delta T = \frac{\mu^2 \left( \frac{U}{H_1} \right)^2 n^4 k_{N-p}}{c \rho h^4 p^* k_Q} + \frac{p_c}{c \rho}; \{ \bar{h}, \bar{\Lambda}, \bar{\mu}(T),$$

где  $\bar{h} = h/h_0$  - безразмерная величина, характеризующая закон изменения толщины слоя смазочного материала;  $\bar{\Lambda}$  - безразмерная характеристика геометрических соотношений исследуемой области, а также границ начала и обрыва зон избыточных давлений;  $\bar{\mu}(T)$  - определяющий критерий, соответствующий зависимости вязкости  $\mu$  от температуры;

$$p^* = [G_\mu (U/H_1) A C h_0^{-2} + p_c]; \bar{n}_1 = n_1/c;$$

$h_0$  - минимальная толщина слоя смазки,  $U$  - скорость взаимного перемещения поверхностей опоры,  $p_c$  - давление в системе питания;  $\Pi, A, C, H_1$  - характерные величины, определяющие геометрические параметры опоры.

При этом строго выполнить последний критерий подобия не представляется возможным, так как нельзя учесть подобие отвода тепла через сопрягаемые поверхности. Поэтому этот критерий является оценочным критерием теплового режима.

**Список литературы:** 1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1997. 440 с. 2. Ковалев В.Д. Общий алгоритм расчетов опор жидкостного трения /Трение и износ. - 1997. - Т.18.- №6.- С.750-760.

## ВИЗНАЧЕННЯ БОКОВИХ ЗАДНІХ КУТІВ ДИСКОВОЇ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБКИ ЧЕРВ'ЯКІВ ПРИ РУСІ ПОДАЧІ, ЯКИЙ НЕ СПІВПАДАЄ З НАПРЯМКОМ ЇХ ВИТКІВ

Ковришкін М.О. (КИСМ, м. Кіровоград, Україна)

*Considered determination lateral back disk mill angles for processing a worm, at the feed direction of presenting disk mill under angle to worm turns.*

Передачі з вгнутих профілем мають високі технічні характеристики і за останній час їх все ширше використовують в техніці. Відомо декілька конструктивних різновидів таких передач. Загальним для них недоліком є те, що вони утворюються за другим способом Олів'є. Тому, як і всі черв'ячні передачі, утворені таким способом, вони мають такі недоліки як чутливість до похибок виготовлення і монтажу та деформаціям під навантаженням. До того треба додати, що їх виготовлення пов'язане із значними технологічними складностями.

В останній час є багато наукових робіт, які направлені на розробку черв'ячних передач з локалізованим контактом. Найбільш універсальним способом утворення активних поверхонь таких передач є спосіб жорсткої неконгруентної виробляючої пари [1, 2].

Найбільш повно в науковій літературі розглянуто випадок нарізування черв'яка дисковою фрезою, при якому черв'як є циліндричним, а рух подачі дискової фрези у верстатному зачепленні направлений вздовж витків черв'яка.

В роботі [2] показано, що з використанням цього способу можна утворити передачі з вгнутих профілем витка червяка. Але при такому способі формоутворення поверхонь витків черв'яка напрямком швидкості подачі не співпадає з напрямком витків. Тому важливий вплив на якість обробки витків черв'яка і умови роботи дискової фрези має величина заднього кута на бокових різучих лезах.

Для визначення цього кута розглянемо картину відносного руху виробляючої та оброблюваної поверхні у верстатному зачепленні.

Для загальності прийемо, що початковою поверхнею черв'яка є конус.

При нарізуванні черв'як встановлюють так, щоб твірна початкових конусів розташовувалася в початковій площині. Початкова площина паралельна вектору швидкості подачі інструменту.

Розрахункова точка верстатного зачеплення розташована в початковій площині. Через неї проходять розрахункові перерізи початкових по-

верхонь черв'яка та інструмента, які перпендикулярні до початкових поверхонь.

При нарізуванні черв'яка дискову фрезу подають під кутом до витків черв'яка.

Для визначення бокових задніх кутів розташуємо в довільній точці ріжучої кромки систему координат, вісь  $Z$  якої співпадає з віссю інструменту, вісь  $Y$  лежить в дотичній площині, а вісь  $X$  перпендикулярна цій площині. В цій же дотичній площині розташовуються складові вектора відносного руху  $\vec{V}_z$  та  $\vec{V}_y$ , і вектор  $\vec{r}$  дотичної до поверхні витків черв'яка.

Згідно з методикою, запропонованою в працях професора Шишкова В.А. та професора Родіна П.Р. [3,4] задній кут на бокових лезах повинен бути таким, щоб не було затирання задньої поверхні зуба фрези і поверхні витка черв'яка. Задній кут повинен бути більше лімітуючого значення, яке визначається умовами компланарності цих векторів  $(\vec{V}_z \vec{V}_y, \vec{r}) = 0$ .

Величина цього кута повинна визначатися для задньої поверхні зуба, яка розташована в напрямку вектора руху подачі.

Аналіз геометрії задньої поверхні для випадка нарізання згідно з [5] показують, що зміни бокових задніх кутів вздовж ріжучого леза незначні.

Враховуючи це можна запропонувати при виготовленні цих фрез мінімальну величину заднього кута в межах 3,5-4 градусів.

**Список літератури:** 1. Давыдов Я.С. Образование сопряженных поверхностей в зубчатых передачах по методу жесткой неконгруэнтной производящей пары. - Вестник машиностроения, 1963, №2, с.9-13. 2. Безруков В.И., Надеин В.С. Применение принципа жесткой неконгруэнтной производящей пары для образования передач типа спироидных. - В кн.: Перспективы развития и использования спироидных передач и редукторов. - Ижевск: ИМИ, 1979, с.30-35. 3. Шишков В.А. Образование поверхностей резанием по методу обкатки. - М.: Машиностроение, 1951. - 152 с. 4. Родин П.Р. Геометрия режущей части спирального сверла. - К.: Техніка, 1971. - 136 с. 5. Надеин В.С., Ковришкин Н.А. Производящая пара для нарезания червячных передач с вогнутым профилем червяка // Проблемы качества и долговечности зубчатых передач и редукторов: Тр. междунар. научн.-техн. конф. - Харьков, 1997. - С.68-74.

## УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ ПАР МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ

Комарова В.И., Басинюк В.Л., Комаров А.И., Белоцерковский М.А.  
(ИНДМАШНАНБ, г. Минск, Беларусь)

*The results of investigations of oxidokeramics composites service characteristics on alloys AK7 type and ferrous metals are presented. It is shown the high efficiency of oxidokeramics employment in friction rubbing surfaces.*

Долговечность и безопасность транспортных средств в значительной мере регламентируются работоспособностью тормозных систем, основными причинами выхода из строя которых являются низкие служебные свойства фрикционных пар трения. Одним из путей обеспечения высоких прочностных, износостойких и теплостойких свойств пар трения является создание на их поверхностях металлокерамики методом микродугового оксидирования.

В настоящей работе проанализированы и подобраны материалы для ряда фрикционных пар трения тормозных систем. В частности, выполнен комплекс работ по замене таких материалов пар трения, как конструкционные стали и чугуны на алюминиевые литейные сплавы типа АК5М2, АК7 с последующим упрочнением поверхностей трения соответствующих узлов путем создания оксидокерамики.

Для решения этих задач разработана технология микродугового оксидирования фрикционных пар трения, позволяющая без традиционно сложной технологической специализированной оснастки формировать оксидосодержащие слои глубиной до 0,300 мкм на локальных поверхностях. Формирование оксидокерамики осуществлялось в анодно-катодном режиме при напряжении 420 В и плотности тока 15...20 А/дм<sup>2</sup>. В качестве электролита использовался раствор жидкого натриевого стекла с модулем 3...3,4, плотностью 1,4...1,5 г/см<sup>3</sup> и гидроксида калия в дистиллированной воде с концентрациями 6 г/л и 3 г/л соответственно.

Проведены металлографические исследования и измерения твердости и стендовые испытания оксидированных образцов и фрикционных пар трения, изготовленных по обычной серийной технологии и пар с упрочненными оксидокермической поверхностями трения. Результаты стендовых испытаний показали, что износ поверхностей трения фрикционных пар с оксидокерамикой либо отсутствует, либо чрезвычайно невелик. Так, величина износа передних ступиц мотоциклов после 22 тысяч циклов торможения в одних случаях не превышала 0,025 мм, в других - не регистриро-



валась вовсе. При этом величина износа ответных деталей пары трения (колодок), изготовленных из специального фрикционного материала, в 1,5...2 раза была меньше по сравнению с износом колодок в паре с чугунным тормозным барабаном, используемым в серийной технологии изготовления ступиц.

Наряду с высокой износостойкостью поверхностей трения с оксидо-керамикой они характеризуются также высоким упрочнением. Так, максимальное значение твердости оксидокерамического слоя, сформированного на поверхностях пар трения из сплавов АК5М2, АК7 составляет 11... 12 ГПа. В то же время твердость материала, не подвергнутого микродуговому оксидированию, составляет 1,7 ГПа.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать заключение, что оксидокерамические слои, сформированные на поверхностях трения фрикционных пар, изготовленных из литейных сплавов типа АК7, АК5М2, обеспечивают высокие их износостойкие и прочностные свойства.

Наряду с исследованием фрикционных пар трения из алюминиевых сплавов исследована возможность формирования покрытий на «черных» металлах и сплавах - сталях и чугунах. С этой целью на образцах из конструкционных сталей методом газопламенного напыления наносилось покрытие из алюминия или сплавов на его основе. В последствии на этом покрытии создавалась металлокерамика посредством микродугового оксидирования.

Исследования полученных упрочненных слоев показали, что глубина оксидокерамического слоя составила 0,330 мм, при этом покрытие имело неоднородное строение и состав по глубине. Область с наибольшей твердостью, равной 7,9...12,4 ГПа, располагается на расстоянии 0,045... 0,055 мм от зоны перехода к неоксидированному материалу. При переходе к поверхности твердость снижается до 3,7...5,0 ГПа.

Пористость покрытий, сформированных на поверхности напыленного алюминиевого слоя, также изменяется по их глубине. Так, пористость покрытия в области максимальных значений твердости равна 10...13 %, а на поверхности слоя - 27...32%. Выявлено влияние на характер формирования оксидокерамических слоев, его твердости режимов газопламенного напыления.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о высоких прочностных свойствах покрытий, созданных на сталях и чугунах и показывают перспективность работ в направлении создания металлокерамики на этих материалах.

## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

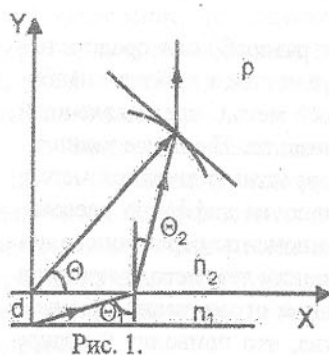
Кондратенко В.И., Пастухов М.И., Сытько В.В.

(Республика Беларусь, Гомельский Государственный университет  
им. Ф. Скорины, г. Гомель)

*In work the application of the special optical element translating spectral distribution from limited area of corners in limited area of a plane without loss of a high-frequency component is offered.*

Из существующего на настоящий момент разнообразия средств неразрушающего контроля технологических поверхностей в качестве наиболее перспективного выделяется фотометрический метод, представленный широким спектром вариантов технической реализации. Наиболее технологичным и в определенном смысле наиболее корректным является метод, основанный на измерении отношения интенсивности диффузно рассеянного излучения к интенсивности зеркальной компоненты отраженного поля. Однако, как показывают исследования последних лет, методу присущи весьма существенные погрешности, обусловленные ограниченностью частотной характеристики свободного пространства, что приводит к потере высокочастотных составляющих в спектре рассеянного поля, в свою очередь отвечающих за высокочастотные компоненты спектра шероховатости поверхности. Как следствие - при обработке данных не учитывается информация о короткопериодических составляющих спектра пространственных частот анализируемой поверхности. Впрочем - данный источник погрешностей характерен практически для любого способа контроля качества поверхности ввиду ограниченности размеров измерительного зонда, как механического шупа, так и любого другого. При этом данные о величине параметров статистического распределения оказываются заниженными, т.е. - истинное качество поверхности, характеризующееся данными величинами хуже, чем представляется на основе измерений при наличии высокочастотной фильтрации. Кажущимся выходом из сложившейся ситуации является введение систематической поправки основанной на учете ограниченности регистрируемой области спектра пространственных частот. Однако, данная процедура требует экстраполяции функции распределения за пределы интервала измерений, что может быть корректно осуществлено лишь при знании статистики распределения неоднородностей поверхно-

сти. Регламентируемое многочисленными нормативными документами нормальное распределение, как показывает анализ литературы и собственные исследования авторов, как правило, не отвечает реальному распределению, что обусловлено, в первую очередь дискретностью реальной структуры материала, в то время как нормальное распределение подразумевает ее непрерывность. Более широкими возможностями в данном направлении обладают методы дифференциального контроля, основывающиеся на измерении и исследовании функции углового распределения интенсивности, которая в силу дуализма пространственных частот позволяет определить вид спектра мощности пространственных частот. Однако, реальные поверхности, в особенности поверхности трения обладают выраженной анизотропией, что затрудняет применение данного метода, в то



время, как методы интегрального светорассеяния нечувствительны к поверхностной анизотропии. Разумной альтернативой представляется объединение достоинств обоих методов путем проведения измерения индикатрисы рассеяния с одновременным интегрированием рассеянного поля по азимутальному углу методами когерентной оптики. При этом существенным оказывается влияние ограниченности угловой апертуры оптических когерентных информационных систем, что приводит к необходимости раз-

работки оптических средств повышения разрешающей способности за расширения угловой апертуры системы. В настоящей работе предлагается применение специального оптического элемента, переводящего спектральное распределение из ограниченной области углов в ограниченную область плоскости без потери высокочастотных составляющих. В случае малых объектов (микроскопия), когда поперечный размер не превышает 0.1 мм возможно создание фазированного элемента, лишенного апертурных ограничений (рис. 1.).

Для этого с геометрической точки зрения необходимо, чтобы все лучи, выходящие из точки расположения объекта, находящегося на оси системы, после преломления в элементе распространялись под одним углом к нормали.

В полярных координатах данное требование может быть записано в виде дифференциального уравнения, определяющего форму поверхности.

$$\rho'[(\cos \varphi - \cos \theta) \cos \theta - (n \sin \theta - \sin \varphi) \sin \theta] - \rho[(\cos \varphi - \cos \theta) \sin \theta + (n \sin \theta - \sin \varphi) \cos \theta] = (n \sin \theta - \sin \varphi) n d \cos \theta$$

В случае, когда расстояние между объектом и входной плоскостью элемента мало ( $d \rightarrow 0$ ) Данное выражение примет вид

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos(\theta - \varphi) - n},$$

решением которого будет при нормальном падении

$$\rho = \frac{c}{n - \sin \theta}$$

или переходя к декартовым координатам

$$x^2 + (n^2 - 1) \left[ y - \frac{c}{(n^2 - 1)^2} \right]^2 = \frac{n^2 c^2}{n^2 - 1}$$

где  $c$  — произвольная постоянная.

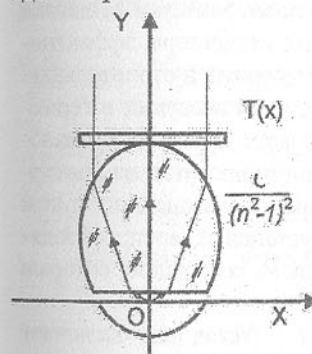


Рис. 2.

Форма элемента и ход лучей в нем представлен на рис. 2. Элемент представляет собой эллипсоид вращения.

Т.к. из закона Снелиуса

$$k_1 \sin \theta_1 = k_2 \sin \theta_2$$

то пространственной частоте  $\omega$  в первой среде соответствует та же пространственная частота в преобразованном на входной границе поле. Тогда учитывая, что

$$y = \frac{\pi}{2} - \theta, \quad \text{а} \quad x = \rho \sin \varphi$$

можно установить связь между пространственной частотой и координатой в выходной плоскости элемента, что приводит к связи между полем в плоскости  $X$  и спектром пространственных частот объекта.

$$u(x) = G\left(\frac{c\omega}{nk_1 - \omega}\right)$$

Неравномерность амплитудно-частотной характеристики может быть компенсирована введением в плоскости  $P(X)$  компенсирующего амплитудного транспаранта. В области малых пространственных частот спектр пространственных частот можно считать неискаженным. На основе данного элемента в совокупности с призматическим процессором преобразования масштаба оказывается возможным синтез оптической системы, осуществ-

ляющей формирование изображения без потери высоких пространственных частот вплоть до  $k$ .

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕПАРАТОРА ДЛЯ ПНЕВМО-КЛАССИФИКАЦИИ МЕРТЕЛЕЙ

Кононыхин С.В., Дворников В.И., Рыбалко Р.И.  
(ДонГАСА, г. Макеевка, Украина)

*The working out of pneumatic classifier for division of pounded building materials. It is worked out the installation to investigate the final separator of pounded materials. This separator allows to increase the efficiency of classification more than 50%, as research is showing.*

Для создания современных автоматических дробильно-помольных линий соответствующих требованиям экологии и промсанитарии решается ряд вопросов, одним из которых является создание сепаратора, эффективно разделяющего измельченные в мельницах огнеупорные и строительные материалы. Транспортировка материалов производится воздухом в герметично закрытых трубопроводах, а отделение готового продукта производится сразу после измельчения, с возвратом крупного продукта на повторное измельчение. Совершенствование сепаратора производилось путем создания его опытной модели и лабораторной установки, воспроизводящей процесс транспортировки и подачи материала на сепарацию, которые представлены на рис. 1.

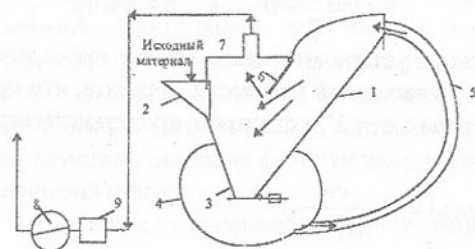


Рис. 1. Установка и сепаратор для разделения материала.

Установка включает сепаратор 1, имеющий загрузочное устройство 2 и запорное устройство 3, находящееся над бункером осажденного продукта 4. Бункер осажденного продукта соединен воздухопроводом с входным каналом сепаратора. В верхней части сепаратора установлена лопасть 6, за которой расположен выходной канал сепаратора 7, соединенный со всасывающим устройством типа дымососа 8, которое через фильтр 9 соединено с атмосферой.

Установка работает следующим образом. Исходный материал подается в загрузочную воронку 1, из которой поступает в загрузочную часть сепаратора 2. Из нижней части сепаратора измельченный материал под действием разрежения, создаваемого всасывающей установкой 8, по трубопроводу 5 поступает в расширительную камеру инерционного сепаратора 1. В сепараторе под действием сил инерции измельченный материал разделяется по крупности. Крупные частицы по инерции поступают в нижнюю часть сепаратора и далее подаются на повторное дробление. Мелкие частицы потоком воздуха уносятся вверх и по трубопроводу уносятся в готовый продукт.

Исследования проведены с применением методов планирования эксперимента, их результаты представлены в виде уравнений регрессии, описывающих зависимость выхода готового продукта от варьируемых факторов:  $X_1$  - разрежения в пневмомагистральной и  $X_2$  - положения лопасти сепаратора, изменяющей направление воздушного потока с измельченным материалом. Значения факторов представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Натуральные и кодированные значения варьируемых факторов.

| Наименование факторов            | Кодированные обозначения |     |     |
|----------------------------------|--------------------------|-----|-----|
|                                  | -1                       | 0   | +1  |
| $X_1$ - Разрежение, кПа          | 1.0                      | 3.0 | 5.0 |
| $X_2$ - Положение лопасти, град. | 0                        | 45  | 90  |

Зависимость выхода готового продукта от варьируемых факторов имеет следующий вид

$$Y_1 = 17.6 + 6.4X_1 + 1.7X_2 + 1.75X_1 X_2 + 2.8X_1^2 + 5.7X_2^2 \quad (1)$$

Графически это выражение представлено на рис. 2. Максимальное значение осажденного продукта достигается при максимально закрытом положении лопасти и максимальном разрежении в пневмотрубопроводе.

Зависимость производительности сепаратора по выходу готового продукта от варьируемых факторов имеет следующий вид

$$Y_2 = 23.5 + 2.8X_1 + 0.9X_2 + 0.3X_1 X_2 - 9X_1^2 + 0.3X_2^2 \quad (2)$$

Рис. 2. Выход кл. 0 - 3 мм в зависимости от разрежения в сепараторе и положения лопасти.



Графически это выражение представлено на рис. 3. Максимальное значение производительности сепаратора



ра достигается при среднем положении лопатки и максимальном разрежении в магистрали.

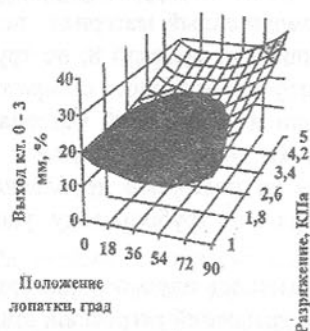


Рис. 3. Производительность сепаратора в зависимости от разрежения и положения лопатки.

Уравнение (3) показывает, что при среднем положении лопатки (50 - 70 град.) и разрежении 3 - 4 кПа в готовом продукте содержится до 90 - 99 % кл. 0-1 мм. Поворот лопатки на 90 град. и увеличение разрежения до 5 кПа позволяет увеличить в готовом продукте содержание кл. 1 - 2 мм до 2 % (4) и содержание кл. 2 - 3 мм до 20 % (5). При открытом положении лопатки и минимальном разрежении в пневмомагистрале содержание кл. 1-3 мм достигает 10 %, а содержание кл. 2 - 3 мм достигает 20 %.

Проведенные исследования показали, что управление направлением и скоростью воздушного потока в сепараторе позволяет управлять количеством и качеством готового продукта. Поворот установленной лопатки изменяет поперечное сечение сепаратора и отклоняет пылегазовый поток материала в широкое сечение сепаратора на осаждение, где проявляются наиболее полно свойства инерционного сепаратора.

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАШИН ПРИ СЛОЖНОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Котенева Н.В., Максименко А.А., Перфильева Н.В.  
(АлмГТУ, г. Барнаул, Россия)

The greatest part of the tentatively-stationary joints operates under the conditions of preliminary shift. The report in question aims to investigate the preliminary tightness of a thread joint according to the contact fixity at the complex

dynamic loading.

Высокое качество выпускаемых машин определяется не только прочностью, но и жесткостью, как важным критерием надежной работы любой машины.

Жесткость в основном определяется двумя компонентами: собственной и контактной жесткостью. Контактная жесткость (как нормальная, так и тангенциальная) определяет способность поверхностных слоев контактирующих деталей, сопротивляться деформации.

Резьбовые соединения являются одним из распространенных видов условно-неподвижных соединений и зачастую в значительной степени предопределяют в целом работоспособность всей конструкции.

Большую часть резьбовых соединений собирают с предварительной затяжкой. Правильная затяжка соединения - одно из основных условий его надежной работы.

Одним из факторов, вызывающим в динамически нагруженном соединении уменьшение силы предварительной затяжки, являются касательные контактные деформации по стыковым поверхностям и в резьбе.

В условиях сложного динамического нагружения контактные колебания возникают одновременно в нормальном и тангенциальном направлениях. Причем, в каждый момент времени на касательные контактные колебания резьбового соединения оказывает влияние нормальная составляющая динамической силы.

Для оценки упругих нормальных колебаний за основу берется уравнение Крагельского-Демкина для расчета сближения шероховатых поверхностей. Дифференциальное уравнение нормальных контактных колебаний в резьбовом соединении получено путем разложения в ряд Тейлора. Коэффициенты ряда определяются по рекуррентным формулам. Касательные контактные колебания при сложном динамическом нагружении также описываются дифференциальным уравнением, решение которого находится методом разложения в степенные ряды. При этом касательное смещение является функцией от нормального смещения в каждый момент времени [1-3].

Исследования на плоских стыках показали, что связь между усилием сдвига и касательной контактной деформацией в другой области выполняется соотношением

$$\delta = k_r \tau,$$

где  $k_r$  - коэффициент касательной контактной податливости.

С увеличением касательных контактных деформаций повышается контактная податливость и, как следствие, коэффициент основной нагруз-

ки.

Увеличение коэффициента основной нагрузки снижает контактную жесткость стыка, что приводит к возникновению дополнительных усилий в стержне и резьбе болта; стык раскрывается, нарушается его герметичность, возможно свинчивание гайки.

Данный метод расчета дает возможность определять достаточную силу предварительной затяжки, удовлетворяющую условиям герметичности и плотности (жесткости) стыка. Последнее является необходимым условием обеспечения прочности резьбовых соединений при сложном динамическом нагружении.

**Список литературы:** 1. Максак В.И. Предварительное смещение и жесткость механического контакта. - М.: Наука, 1975. - 61 с. 2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчета на трение и износ. - М.: Машиностроение. 1977. - 526с. 3. Максименко А.А. Динамика механического контакта в пределах трения покоя. Дисс... докт. техн. наук: Барнаул, 1995. - 247с.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ОПОРНЫХ УЗЛОВ С ВКЛАДЫШАМИ ИЗ ПОЛИМЕРОВ

Кочергин В.Г., Горкуша А.Е., Стеблянюк В.Г.  
(ДонГТУ, ДГКИ, г. Донецк, Украина)

*The given work presents recommendations on the construction of slide bearings with polymeric inserts made of caprolon.*

В последнее время во многих видах оборудования различных отраслей промышленности применяют опорные узлы с вкладышами из полимерных материалов. Однако, эти материалы имеют понижаемый модуль упругости, который дополнительно снижается с ростом температуры в опоре. Это приводит к сильной деформации рабочей зоны, и, как следствие, образования участка с минимальным зазором увеличенной протяженности по окружности подшипника, в котором происходят значительные тепловыделения, снижающие несущую способность подшипника, а в отдельных случаях, приводящие к выходу его из строя.

Известно [1, 2], что низкая контактная жесткость полимерных материалов и заметная зависимость их свойств от температуры вынуждает иным путем, чем в случае металлических подшипников скольжения, подходить к вопросу определения минимально допустимых зазоров. Эта вели-

чина в первую очередь зависит от режимов работы влияющих на теплообразования в процессе эксплуатации.

Авторами с целью определения предельной несущей способности подшипника с вкладышем из капролона были изготовлены втулки подшипников диаметром 100мм и длиной 100мм с гладкой рабочей поверхностью и со сквозной канавкой в рабочей зоне шириной 6мм, глубиной 3мм (толщина стенки вкладыша равнялась 8мм, а параметр шероховатости  $Ra$  внутренней поверхности вкладыша имел значение 0,4...0,8мкм).

Исследования показали значительную зависимость температуры в подшипнике от температуры подаваемой смазки. При этом основная роль в отводе тепла из рабочей зоны таких подшипников принадлежит циркулирующей смазке и валу, так как тело вкладыша является теплоизолятором.

Так, при нагрузке  $P_{ср}=2,5\text{МПа}$  и скорости 8м/с увеличение температуры масла на входе с  $17^{\circ}\text{C}$  до  $43^{\circ}\text{C}$  в подшипник с относительным диаметральный зазором  $\psi=0,00125$  привело к росту максимальной температуры рабочей зоны до  $118^{\circ}\text{C}$ , а дальнейшее увеличение температуры на входе вывело подшипник из строя. Наименьшая температура в подшипнике была зафиксирована при диаметральный зазоре  $\psi=0,01\text{мм}$ , величина которого была наибольшей.

Дополнительный подвод свежей смазки через канавку, расположенную в конце рабочей зоны, повысил несущую способность таких подшипников в 1,3 раза по сравнению с существующими конструкциями.

Таким образом, при конструировании подшипников с полимерными вкладышами из капролона необходимо диаметральный зазор принимать равным  $\psi=0,01\text{мм}$ , а предельную температуру выхода не более  $50^{\circ}\text{C}$ .

**Список литературы:** 1. Полимеры в узлах трения. - Под ред. А.В. Чичинадзе - М.: Машиностроение, 1988. - 328с. 2. Альшиц И.Я., Снеговский Ф.П. Об использовании упругих свойств пластмассовых подшипников скольжения. - Вестник машиностроения, №2, 1970. - С.39-42.

## КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ОБЪЕКТОВ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Кравченко П.Д. (ВНГТУ, г. Волгодонск, Россия)

*Conception of optimal manufacturing process of heavy objects of Machinebuilding on a base of using of mobile milling machines is represented.*

Технологические процессы обработки объектов тяжелого машиностроения обычно проектируются по известным методикам для легкого и среднего машиностроения, исходя из наличия производственных площадей и тяжелого технологического, транспортного и нестандартного оборудования, как показано на рис.1.

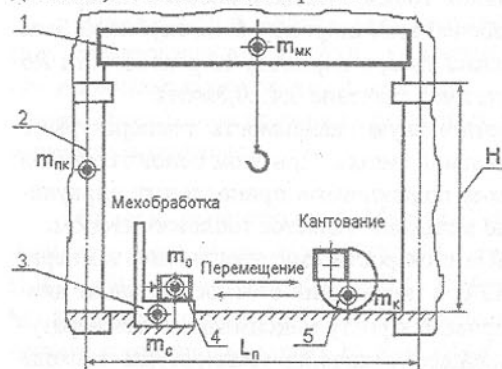


Рис.1. Схематический разрез цеха с оборудованием для обработки тяжелых цилиндрических обечайки корпуса ядерного реактора.

Рис.1. Схематический разрез цеха с оборудованием для обработки тяжелых цилиндрических обечайки корпуса ядерного реактора.

По данным АО "Атоммаш" можно условно принять среднюю массу обрабатываемой обечайки  $m_o=100$ т; масса кантователя  $m_k=110$ т, массы  $m_c$  станка и  $m_{мк}$  мостового крана в 3...5 раз больше  $m_o$ ; масса  $m_{пк}$  подкранового основания на порядок больше  $m_o$  [7, 9, 11, 17]; в целом

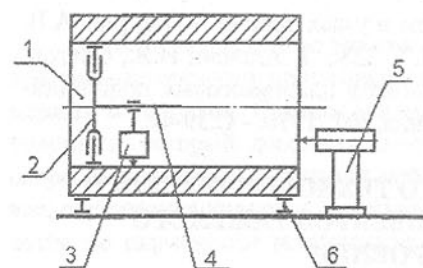


Рис. 2. Схема обработки обечайки на роlikопорном стенде с помощью мобильных металлорежущих блоков.

Рис.2. Схема обработки обечайки на роlikопорном стенде с помощью мобильных металлорежущих блоков.

В разрезе цеха представлены мостовой кран 1 массой  $m_{мк}$ , перемещающийся по подкрановому основанию 2 массой  $m_{пк}$ , карусельный станок 3 массой  $m_c$  с установленной на планшайбе обечайкой 4 массой  $m_o$  и кантователь 5 массой  $m_k$ . В процессе обработки обечайка перемещается со станка на кантователь и обратно для смены опорных торцов.

Массы  $m_{мк}$  и  $m_{пк}$  изменяются в зависимости от высоты  $H$  и ширины  $L_n$  пролета

масса технологического, транспортного и нестандартного оборудования составляет тысячи тонн, энергонасыщенность - тысячи киловатт.

Используя системные и эвристические методы проектирования [1, 2, 5, 6, 8, 15, 18], можно предложить новую, близкую к оптимальной по критериям удельной металлоемкости и энерговооруженности, схему механической обработки обечайки на роlikопорных стендах без перемещения [9], как представлено на рис.2.

Внутренняя поверхность обечайки 1 обрабатывается с помощью блока 3, вращающегося относительно оси 4, жестко закрепленной внутри обечайки с помощью распорных элементов 2. Наружную и торцевые поверхности можно обработать с помощью мобильного блока 5; возможны и другие схемы базирования мобильных блоков при обработке обечайки на роlikопорах 6 [9, 10], причем масса блоков и направляющих колец составляет менее 10т, установленная мощность - менее 10кВт.

Новая схема позволяет уменьшить массу и установленную мощность всего технологического оборудования на 2...3 порядка, что приводит к экономическому эффекту в десятки и сотни миллиардов рублей, однако требует высококвалифицированного инженерного обоснования конструктивного исполнения блоков, что вполне выполнимо с использованием методов системного и эвристического проектирования [2-6, 8-11, 13-16].

Снижение времени перемещения, манипулирования и установки объекта на одной технологической позиции достигнуто с применением подвесных манипуляторов [12], однако это было связано с решением частной задачи - отказа от приварных грузозахватных элементов с целью повышения эксплуатационной безопасности.

Основными критериями оптимизации обработки в нашем случае можно считать удельные показатели металлоемкости и энерговооруженности оборудования, обеспечивающего требуемые показатели качества [6, 9, 11, 14, 15, 17, 18].

Концепция оптимального технологического процесса предлагается на основе использования эвристических приемов [1, 2, 5, 15, 18] и системных методов проектирования [2, 3, 5, 6, 8, 9, 11-16, 18].

Суть концепции заключена в оценке технологичности тяжелой крупногабаритной корпусной детали как станины, базы для мобильного малогабаритного технологического оборудования, обрабатывающего поверхности самой детали, и на основе этого создания нового технологического процесса. Производственное здание в этом случае выполняет роль шагра с расчетом стен и крыши на несущую способность от воздействия ветровых нагрузок, осадков согласно климатическим условиям и зоне сейсмичности; необходимые операции перемещения и сборочные выполняются с помощью напольных транспортных и грузоподъемных средств, оптимизация конструкций которых проводится по аналогичной схеме.

Список литературы: 1. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука.-М.: Сов. радио, 1979.-176с. 2. Амиров Ю.Д. Основы конструирования: Творчество- стандартизация- экономика: Справ. пособие.- М.: Изд-во стандартов, 1991.-392с. 3. Брауде В.И., Тер-Мхитаров М.С. Системные методы расчетов грузоподъемных машин. -Л.: Машиностроение, 1985.-181с.



4. Гаспарский В. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок. - М.: Мир, 1978.-178с. 5. Джонс Дж. К. Методы проектирования: Пер. с англ.- М.: Мир, 1986.-326с. 6. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход.- М.: Мир, 1981.-456с. 7. Корсаков В.С., Выговский В.Ф., Михан В.И. Технология реакторостроения: Учеб. пособие для вузов.- М.: Атомиздат, 1977.-272с. 8. Кравченко П.Д. Применение системных методов проектирования нестандартного оборудования студентами машиностроительных специальностей /Новочеркасск. гос. техн. ун-т.- Новочеркасск, 1995.-9с.-Деп в ВИНТИ 19.07.95, № 2210-В95. 9. Кравченко П.Д., Берела А.И. Применение перспективной технологической схемы механической обработки массивных крупногабаритных изделий// Проблемы современных технологий: Сб. науч. тр./Волгодон. ин-т Новочерк. гос. техн. ун-та.- Новочеркасск: Изд-во "Набла", 1996.- Вып.1.С.185-191. 10. Кравченко П.Д., Дудченко А.Н. Оценка жесткости направляющих колец при механической обработке крупногабаритных цилиндрических обечаек на роlikоопорном стенде / Новочерк. гос. техн. ун-т.-Новочеркасск, 1997.-10с.-Деп. в ВИНТИ 25.08.97, № 2733-В97. 11. Кравченко П.Д. Применение наукоемкой малотоннажной технологии механической обработки массивных крупногабаритных объектов// Прогрессивные технологии машиностроения и современность: Тез. докл. междунар. науч.- техн. констр., Донецк-Севастополь, 1997.-с.132-134. 12. Кравченко П.Д., Ольховский В.С. Подвесные манипуляторы-кантователи в атомном машиностроении// Подъемно-транспортная техника и склады.- 1989.-№ 6.-С.8.-11. 13. Моисеева Н.К. Выбор технических решений при создании новых изделий. -М.: Машиностроение, 1980.-181с. 14. Орлов П.И. Основы конструирования: Справ. -метод. пособие. в 2-х кн. Кн.1.- М.:Машиностроение, 1988.-560с. 15. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества.- М.: Машиностроение, 1988.-368с. 16. Самойлович В.Г. Прогнозирование оптимального технико-экономического уровня машин. - М.: Машиностроение, 1978.-136с. 17. Справочник по кранам: В 2-х т. Т.2/М. П. Александров, М.М. Гохберг, А.А. Ковин.- М.: Машиностроение, 1988.-559с. 18. Хубка В. Теория технических систем.- М.: Мир, 1987.-208с.

#### ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ РУКОЯТИ МАНИПУЛЯТОРА С ВНУТРЕННИМ ЗАХВАТОМ ОБЪЕКТА

Кравченко П.Д., Дудченко А.Н. (ВИ НГТУ, г. Волгодонск, Россия)

*Process of optimisation of parameters of cross section of beam of manipulator with inside grip for heavy objects is represented.*

Проектирование манипуляторов с внутренним захватом объектов атомного машиностроения [1] является весьма сложным процессом, включающим в себя оптимизацию параметров несущих металлоконструкций, в частности, рукояти манипулятора, ограниченной кромками манипулируемого объекта.

На рис.1 представлена схема для определения границ поперечного сечения металлоконструкции рукояти манипулятора, предназначенного для перемещения, манипулирования и точной установки на технологическую позицию крупногабаритной цилиндрической обечайки с внутренним диаметром  $D$ .

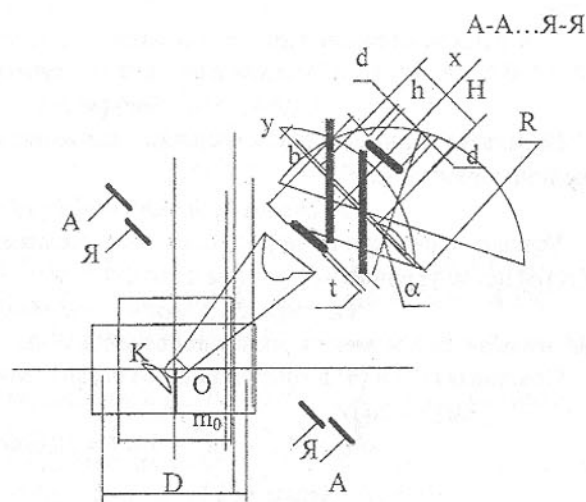


Рис.1. Схема для определения границ оптимального поперечного сечения металлоконструкции рукояти.

Обечайка массой  $m_0$  вращается относительно точки  $O$  в направлении стрелки  $K$  на угол  $90^\circ$  и занимает положение, показанное тонкими линиями. Используя множество сечений  $A-A...Я-Я$ , или аналитический метод проектирования образующегося просвета, в котором может размещаться поперечное сечение рукояти, получаем фигуру в виде чечевицы, ограниченной радиусом  $R$ , приближенно равным  $0.7D$ .

Оптимизируемая площадь представлена в виде коробчатого сечения с шириной  $b$  и толщиной  $d$  полок, толщиной  $t$  и высотой  $h$  стенок.

В качестве целевой функции принимаем ядровый радиус сечения, равный отношению осевого момента сопротивления к площади  $\omega = W_x / A$ , в качестве основного параметра – центральный угол  $\alpha$ ; дополнительные параметры – размеры  $b, d, h, t$  коробчатого сечения.

Геометрические характеристики сечения выражаются через параметры: площадь сечения  $-A=2(A_n+A_{cm})$ , где  $A_n=bd$  — площадь полки;  $A_{cm}=ht$  — площадь стенки.

Осевой момент инерции без учета собственных моментов полок:

$$I_x=2(I_{x,n}+I_{x,cm})\cong A_n(h+d)^2/2+A_{cm}h^2/6.$$

Осевой момент сопротивления:  $W_x=I_x/y_{max}=(A_n(h+d)^2/2+A_{cm}h^2/6)/(h/2+d)$ .

Ядровый радиус сечения:  $\omega=W_x/A=(A_n(h+d)^2/2+A_{cm}h^2/6)/[(h+2d)(A_n+A_{cm})]$ .

Оптимизацию проводим при постоянной гибкости стенки  $\lambda=h/t=\text{const}$ , т.к. в этом случае можно получить конструктивно допустимое сечение.

При данном ограничении оптимизация достигается [2] в окрестности  $A_n/A=0.5$ , т.е.  $A_n=A_{cm}$ . С учетом этого целевая функция:

$$\omega=1/12(4h^2+3d^2+6hd)/(h+2d). \quad (1)$$

Используя данные из рис.1, выразим параметры  $h$  и  $d$  через оптимизирующий параметр  $\alpha$ :

$$b=2R\sin\alpha/2; \quad h+2d=H-4R\sin^2\alpha/4. \quad (2)$$

Условие прочности по нормальным напряжениям при изгибе  $M/W_x \leq [\sigma]$  после упрощения с учетом  $A_n=A_{cm}=ht$  дает

$$t \geq 3M(h+2d)/(h[\sigma](4h^2+3d^2+6hd)), \quad (3)$$

где  $M$  — изгибающий момент в расчетном сечении А-А.

Подставляя (2) и (3) в конструктивное ограничение  $ht=bd$ , получаем:

$$\begin{cases} 3M(h+2d)/([ \sigma ](4h^2+3d^2+6hd)) = 2R\sin(\alpha/2)d \\ h+2d = H-4R\sin^2(\alpha/4) \end{cases} \quad (4)$$

Система (4) сводится к кубическому уравнению при известном пока параметре  $\alpha$ . Упростим первое уравнение системы, заменяя соотношение

$$4h^2+3d^2+6hd/(h+2d) \cong 2(2h-d).$$

Погрешность замены при среднем соотношении для тонкостенных стержней  $h/d=20$  составляет приблизительно 1,5%, что несущественно для инженерных расчетов.

Решая упрощенную линейную систему (4), получаем:

$$\begin{cases} d=1/5(H-4R\sin^2(\alpha/4))-\sqrt{1/25(H-4R\sin^2(\alpha/4))^2-3M/(20R[\sigma]\sin(\alpha/2))} \\ h=H-2d-4R\sin^2(\alpha/4) \end{cases} \quad (5)$$

Условие экстремальности целевой функции (1):  $d\omega/d\alpha=0$ , или

$$(8hh'\alpha+6d(d'\alpha+h'\alpha)+6hd'a)(h+2d)-(h'\alpha+2d'a)(4h^2+3d^2+6hd)=0, \quad (6)$$

где  $h'\alpha=-2d'\alpha-R\sin(\alpha/2)$ ;

$$d'\alpha=-1/5R\sin(\alpha/2)+\frac{-2/25R\sin(\alpha/2)(H-4R\sin^2(\alpha/4))+3M\cos(\alpha/2)/40[\sigma]R\sin^2(\alpha/2)}{\sqrt{1/25(H-4R\sin^2(\alpha/4))^2-3M/(20R[\sigma]R\sin(\alpha/2))}}$$

Трансцендентное уравнение (6) решается одним из численных методов. Аналитический корень  $\alpha_0$ , обеспечивающий экстремум целевой функции (1) может быть дополнительно исследован в его окрестности. Кроме того, функция (1) проверяется на максимум на границах допустимой области  $\alpha$ , исходя из конструктивных ограничений.

**Список литературы:** 1. Кравченко П.Д., Ольховский В.С. Подвесные манипуляторы-кантователи в атомном машиностроении // Подъемно-транспортная техника и склады.-1989.-№6.-с.8-11. 2. Виноградов А.И. Проблема оптимального проектирования в строительной механике.-Харьков. «Вища школа», 1973.-167 с.

## УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА ОТНОСИТЕЛЬНО ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ ГИБКОГО ПОДВЕСА

Кравченко П.Д., Нарыжный В.А. (ВИ НГТУ, г. Волгоград, Россия)

*Equations of dynamics of rotatory movement of manipulator for heavy objects relatively vertical axis of flexible suspension are represented.*

Предназначенные для ориентирования, манипулирования и установки на технологические позиции массивные крупногабаритные объекты типа цилиндрической обечайки подвесные манипуляторы на гибком подвесе требуют детальных исследований динамики рабочих процессов, в частности, вращения объектов относительно вертикальной оси.

На рис.1 представлена упрощенная конструктивная схема гибкого подвеса манипулятора УГМ-100 грузоподъемностью 100тс на приводном поворотном крюке.

Известные [1,2] методики исследования динамики вращения груза на крановом гибком подвесе относительно вертикальной оси предлагают в качестве основных условий рассматривать систему подвешенной на канатах с изменяющейся высотой  $h$  и шириной  $b$  полиспастного блока с изменением углов  $\varphi_{\Gamma}$  закручивания груза  $\Gamma$  (в нашем случае состоящего из двурогого крюка К, подвесного манипулятора ПМ и объекта О в виде мас-

сивной цилиндрической обечайки) и поворота траверсы  $\varphi_H$ , состоящей из полиспастного блока и платформы-водила Н.

Привод поворота груза Г осуществляется при включении мотора М через двухступенчатый червячный редуктор Р с шестерней открытой зубчатой передачи, приводящей во вращение центральное зубчатое колесо, жестко соединенное с подвесом груза.

Движение системы описывается двумя уравнениями Лагранжа II рода.

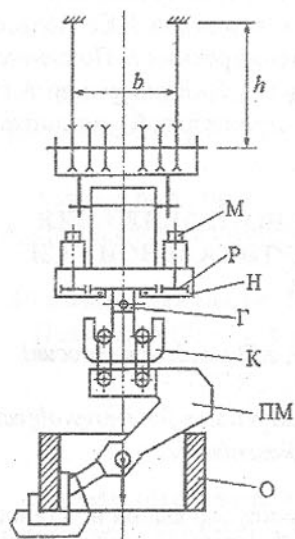


Рис.1. Схема гибкого подвеса манипулятора УПМ-100 с приводным поворотным крюком.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_G} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_G} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_G} &= Q_G \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_H} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_H} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_H} &= Q_H \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\varphi_G, \varphi_H$  - обобщенные координаты системы;

$T, \Pi$  - кинетическая и потенциальная энергии системы;

$Q_G, Q_H$  - обобщенные силы, соответствующие обобщенным координатам  $\varphi_G$  и  $\varphi_H$ .

В соответствии с конкретной схемой двухступенчатого червячного редуктора и механической характеристикой электродвигателя М, представленной в виде  $M_{\partial s} = M_0 - \tilde{b} \omega_m$ , и пренебрегая ввиду малости кинетической энергии системы всего подвеса при поступательном движении по вертикали за счет поворота траверсы, уравнения (1) будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \ddot{\varphi}_G + a_{12} \ddot{\varphi}_H + a_1 \dot{\varphi}_G + a_2 \dot{\varphi}_H &= 2u_M^{(H)} M_0 \\ a_{12} \ddot{\varphi}_G + a_{22} \ddot{\varphi}_H + \tilde{a}_1 \dot{\varphi}_G + \tilde{a}_2 \dot{\varphi}_H + \frac{mgb^2}{4h} \cdot \varphi_H &= 2M_0 \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где  $a_{11}, a_{12}, a_1, a_2, a_{22}, \tilde{a}_1, \tilde{a}_2$  - постоянные коэффициенты, определяемые массовыми и инерционными характеристиками и передаточными отношениями в передачах "привод-исполнительный механизм", работающих как дифференциальный планетарный редуктор с 2 степенями свободы;

$\frac{mgb^2}{4h} \varphi_H$  - слагаемое, определяемое реактивным моментом подвеса, угловая жесткость которого  $C = \frac{mgb^2}{4h}$ ;  $u_M^{(H)}$  - передаточное отношение от вала

двигателя к грузу при неподвижной траверсе-водителе Н.

Представленная система уравнений (2) является линейной системой дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами и позволяет исследовать динамику системы для изучения рабочих характеристик гибкого подвеса при ориентации и установке крупногабаритных массивных объектов на технологические позиции без применения численных методов решения.

Список литературы: 1. Вайнсон А.А., Андреев А.Ф. Крановые грузозахватные устройства: Справочник. М.: Машиностроение, 1982.-304с. 2. Таубер Б.А. Подъемно-транспортные машины: Учебник для вузов.-М.: Лесн. пром-ть, 1980.-456с.

## МЕТОД ОТОБРАЖЕНИЯ В МОДЕЛИРОВАНИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ФОРМ

Краснова Н.В., Юнусов Ф.С. (КГТУ, г. Казань, Россия)

*In the piece of work the problem of identify between the points of the complex geometrical figure of detail and the volume cut instruments was approached for to put to work the results for modernization and design the construction of the special manufactured cut machines.*

Объектом исследования являются геометрические поверхности сложных технических форм типа пера лопаток газотурбинных двигателей и рабочие поверхности их формообразующих элементов - обкаточных инструментов - копиров при сопряженно-профильной обработке.

Цель исследований - разработка метода геометрического отображения криволинейных поверхностей сложных технических форм для проектирования геометрии рабочих поверхностей инструментов-копиров и расчета параметров кинематики формообразования.

Результаты исследований использованы при модернизации и создании ряда прогрессивных специальных станков ВКЛ-1, ВКЛ-2 для финишной обработки пера лопаток газотурбинных двигателей. Оборудование из-



готовлено и внедрено на Казанском моторостроительном производственном объединении.

Научной гипотезой разработанного подхода является положение о взаимно-однозначном соответствии поверхностей пера лопатки и обкаточных инструментов-копиров, сохраняющем метрические свойства отображаемых поверхностей.

Идентифицированным видом отображения с учетом заданных условий является изометрическое отображение соответствующих поверхностей, наложимых друг на друга при изгибании. Изометрия предполагает равенство параметров внутренней геометрии поверхностей.

Необходимым признаком наложимости друг на друга двух соответствующих поверхностей является равенство их линейных элементов (первой квадратичной формы) и, как следствие, равенство полных (гауссовых) кривизн в соответствующих точках.

Метод изгибаний в классе непрерывных изгибаний допускает аналитическое решение задачи по нахождению изометричных перу лопатки ГТД поверхностей инструментов-копиров при условии задания поверхностей спинки и корыта как выпуклых эллиптических оболочек с положительной полной кривизной аналитической моделью и начальных (краевых) условий изгибающих полей вдоль границы оболочки.

Исследования показывают, что точное аналитическое решение применительно к сложным техническим формам допускает класс лопаток ГТД, имеющих на поверхностях спинки и корыта асимптотические линии или прямолинейные образующие. В этом случае искомые поверхности инструментов-копиров определяются в классе линейчатых, но неразвертываемых поверхностей. В остальных случаях реальные рабочие, т.е. формообразующие поверхности инструментов-копиров, построенные на базисных линейчатых поверхностях, должны отвечать условиям приближенного квазиизометрического отображения.

Множеством базовых линейчатых поверхностей, согласно теореме об изгибании накладываемых друг на друга поверхностей, служат линейчатые винтовые и поверхности вращения.

Основанная на результатах приведенных теоретических исследований разработанная методика включает в себя последовательные этапы перехода от наиболее общего аналитического решения для классических геометрических форм к частным приближенным решениям применительно к конкретным техническим поверхностям типа пера лопаток ГТД.

#### 1. Этап аналитического решения.

Исходными данными являются: задание пера лопатки как эллиптической оболочки аналитической или регулярной математической моделью с начальными (краевыми) условиями изгибающих полей.

Решение ищется в классе наложимых друг на друга поверхностей при изгибаниях без сжатий и растяжений:

- при непрерывных изгибаниях, допускающих бесконечное число поверхностей, изометричных исходной (данной);
- при дискретном соответствии конечных форм изгибания, допускающем начальную исходную поверхность (образ) изометричную конечной поверхности (прообразу).

Для аналитического решения используется аппарат дифференциальной геометрии и теории поверхностей (метод изгибаний на главном основании) и тензорный анализ. Однако, точное решение допускает узкий класс поверхностей. Применительно к лопаткам ГТД аналитическое решение допускают поверхности спинки и корыта, имеющие прямолинейные образующие.

Данный этап решения может быть принят за идеальный вариант, к которому должны стремиться приближенные методы решения для реальных поверхностей спинки и корыта пера лопатки ГТД, имеющих криволинейные образующие.

2. Этап аналитического решения для базовых (замещающих) линейчатых поверхностей деталей и инструментов.

Данный вариант или этап решения предполагает строгое аналитическое решение для выделенных (замещающих) линейчатых поверхностей лопатки и обкаточных инструментов-копиров. Возможными базовыми поверхностями копиров являются три класса поверхностей:

- винтовые линейчатые поверхности;
- поверхности вращения с прямолинейной образующей;
- цилиндрические поверхности.

#### 3. Этап численного решения.

На геометрических поверхностях базовых линейчатых форм инструментов-копиров определяются с учетом кривизны профильных сечений спинки и корыта реальные поверхности рабочей, формообразующей части инструментов. Вводятся критерии приближенного квазиизометрического изображения.

Разработанная методика предполагает возможность решения задачи геометрического отображения сочетанием метода изгибаний (точное аналитическое решение) с кинематическим методом образования криволинейных поверхностей в пространстве (приближенное решение).

Поиск конкретного решения к заданной номенклатуре изделий возможен на достаточно широком допускаемом множестве геометрических поверхностей в классе линейчатых.

Допускаются на основе поверхностей вращения-однополостных гиперболоидов различные виды базовых поверхностей инструментов:

- копиры гиперболоидного типа с постоянным радиусом горлового сечения и с постоянным или переменным углом наклона их прямолинейных образующих к оси вращения, а также гиперболоидные сегментарные копиры с дискретным изменением угла;
- копиры спиралевидного типа с переменными или постоянными углами наклона образующих к оси вращения.

Тип базовой поверхности выбирается для каждого конкретного наименования в зависимости от вида и характера функции угла закрутки пера по высоте лопатки. С учетом выбора типа базовых поверхностей копиров и возможностей кинематических схем формообразования виброполировальных станков ВКЛ-1, ВКЛ-2 и 4ПСЛ-300П определены функциональные зависимости и рассчитаны параметры движений формообразования системы "деталь-копир".

## РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ НАВАНТАЖЕННЯ ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ ПРИВОДА ПОДАЧІ СИЛОВОЇ ГОЛОВКИ

Крижанівський В.А. (КИСМ, м. Кировоград, Україна)

*In this work question of operation conditions of general loading scheme of executive organ of feed drive of flat-cam power head for transfer machines and automatic versatile lines is considered.*

Проведеними у роботах [1], [2] дослідженнями умов функціонування приводів подачі з ексцентричним та осьовим навантаженням зусиллям подачі відносно осьової силової технологічного навантаження встановлено, що оптимальними умовами функціонування приводів подачі силових головок, є забезпечення максимальної продуктивності при мінімальному зносу напрямних виконавчого органу привода подачі.

Згідно проведених досліджень, підвищення продуктивності потребує збільшення зусилля приводу подачі силових головок.

Підвищення зусилля подачі обмежується силами тертя у напрямних виконавчого органу привода та його конструктивними параметрами, основним з котрих є ексцентриситет між зусиллям подачі  $P_n$  та осьовою скла-

даючої  $P_x$  технологічного навантаження. Визначеність базування виконавчого органу на напрямних залежить від схеми його навантаження.

Для забезпечення підвищення рівня функціональних можливостей малих силових головок агрегатних верстатів необхідний принципово новий підхід та рішення питань вибору схеми навантаження виконавчого органу привода подачі.

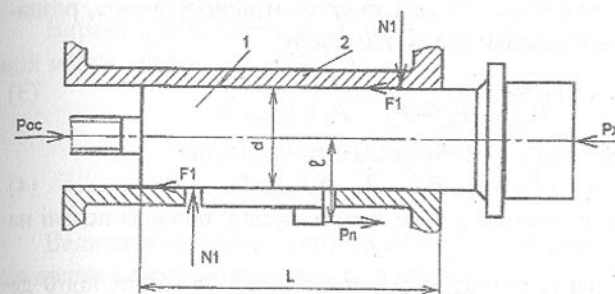


Рис.1. Загальна схема навантаження виконавчого органу нового типу.

Суть цієї схеми полягає в тому, що виконавчий орган 1 навантажується з боку внутрішніх зв'язків двома паралельними зусиллями, спрямованими на компенсацію осьової складової  $P_x$  технологічного навантаження. Одне з цих зусиль  $P_{oc}$  прикладається по лінії дії осьової складової  $P_x$  технологічного навантаження, співпадаючої з геометричною віссю виконавчого органу, та скерована на часткову компенсацію осьового зусилля  $P_x$ .

Друге зусилля  $P_n$  прикладено ексцентрично до виконавчого органу та доповнює осьове зусилля  $P_{oc}$  до величини повністю компенсуючого осьову складову  $P_x$  технологічного навантаження. Крім цього, ексцентричне зусилля  $P_n$  забезпечує необхідне базування виконавчого органу на напрямних 2.

Згідно загальної схеми (рис.1) максимальне зусилля, яке може розвинути привод силової головки дорівнює:

$$P_{max} = P_{oc} + P_n \quad (1)$$

Тоді рівняння рівноваги виконавчого органу привода силової головки можна записати у вигляді

$$\Sigma X = 0; P_{oc} + P_n - P_x - \Sigma F_{TP} = 0 \quad (2)$$

Пошук раціональної схеми навантаження виконавчого органу складається у виборі раціонального співвідношення потоків зусиль  $P_{oc}$  та  $P_n$ , забезпечує необхідні вихідні характеристики та функціональні можливості малих силових головок агрегатних верстатів-автоматів та напівавтоматів.

Поиск конкретного решения к заданной номенклатуре изделий возможен на достаточно широком допускаемом множестве геометрических поверхностей в классе линейчатых.

Допускаются на основе поверхностей вращения-однополостных гиперболоидов различные виды базовых поверхностей инструментов:

- копиры гиперболоидного типа с постоянным радиусом горлового сечения и с постоянным или переменным углом наклона их прямолинейных образующих к оси вращения, а также гиперболоидные сегментарные копиры с дискретным изменением угла;
- копиры спиралевидного типа с переменными или постоянными углами наклона образующих к оси вращения.

Тип базовой поверхности выбирается для каждого конкретного наименования в зависимости от вида и характера функции угла закрутки пера по высоте лопатки. С учетом выбора типа базовых поверхностей копиров и возможностей кинематических схем формообразования виброполировальных станков ВКЛ-1, ВКЛ-2 и 4ПСЛ-300П определены функциональные зависимости и рассчитаны параметры движений формообразования системы "деталь-копир".

## РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ НАВАНТАЖЕННЯ ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ ПРИВОДА ПОДАЧІ СИЛОВОЇ ГОЛОВКИ

Крижанівський В.А. (КИСМ, м. Кировоград, Україна)

*In this work question of operation conditions of general loading scheme of executive organ of feed drive of flat-cam power head for transfer machines and automatic versatile lines is considered.*

Проведеними у роботах [1], [2] дослідженнями умов функціонування приводів подачі з ексцентричним та осьовим навантаженням зусиллям подачі відносно осьової силової технологічного навантаження встановлено, що оптимальними умовами функціонування приводів подачі силових головок, є забезпечення максимальної продуктивності при мінімальному зносу напрямних виконавчого органу привода подачі.

Згідно проведених досліджень, підвищення продуктивності потребує збільшення зусилля приводу подачі силових головок.

Підвищення зусилля подачі обмежується силами тертя у напрямних виконавчого органу привода та його конструктивними параметрами, основним з котрих є ексцентриситет між зусиллям подачі  $P_n$  та осьовою скла-

даючої  $P_x$  технологічного навантаження. Визначеність базування виконавчого органу на напрямних залежить від схеми його навантаження.

Для забезпечення підвищення рівня функціональних можливостей малих силових головок агрегатних верстатів необхідний принципово новий підхід та рішення питань вибору схеми навантаження виконавчого органу привода подачі.

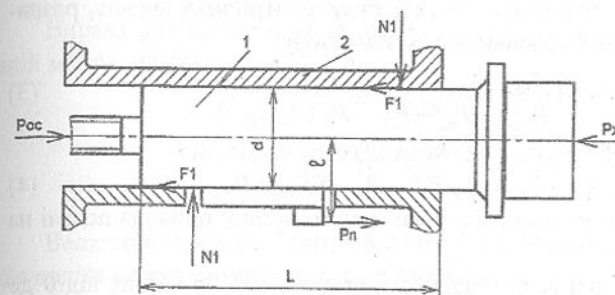


Рис.1. Загальна схема навантаження виконавчого органу нового типу.

Суть цієї схеми полягає в тому, що виконавчий орган 1 навантажується з боку внутрішніх зв'язків двома паралельними зусиллями, спрямованими на компенсацію осьової складової  $P_x$  технологічного навантаження. Одне з цих зусиль  $P_{oc}$  прикладається по лінії дії осьової складової  $P_x$  технологічного навантаження, співпадаючої з геометричною віссю виконавчого органу, та скерована на часткову компенсацію осьового зусилля  $P_x$ .

Друге зусилля  $P_n$  прикладено ексцентрично до виконавчого органу та доповнює осьове зусилля  $P_{oc}$  до величини повністю компенсуючого осьову складову  $P_x$  технологічного навантаження. Крім цього, ексцентричне зусилля  $P_n$  забезпечує необхідне базування виконавчого органу на напрямних 2.

Згідно загальної схеми (рис.1) максимальне зусилля, яке може розвинути привод силової головки дорівнює:

$$P_{max} = P_{oc} + P_n \quad (1)$$

Тоді рівняння рівноваги виконавчого органу привода силової головки можна записати у вигляді

$$\Sigma X = 0; P_{oc} + P_n - P_x - \Sigma F_{TP} = 0 \quad (2)$$

Пошук раціональної схеми навантаження виконавчого органу складається у виборі раціонального співвідношення потоків зусиль  $P_{oc}$  та  $P_n$ , забезпечує необхідні вихідні характеристики та функціональні можливості малих силових головок агрегатних верстатів-автоматів та напівавтоматів.



Для забезпечення такого пошуку було введено поняття коефіцієнту розподілу навантаження  $K_p$ .

Фізичний зміст коефіцієнту розподілу навантаження - полягає у встановленні співвідношення потоків зусиль, спрямованих на реалізацію осьової складової  $P_x$  технологічного навантаження та сил тертя.

Коефіцієнт розподілу навантаження  $K_p$  чисельно показує питому вагу осьового зусилля  $P_{oc}$  у рівнодіючій осьовій та ексцентричних зусиль, розвиваємих приводом силової головки або зусиль опору:

$$K_p = \frac{P_{oc}}{P_{max}} = \frac{P_{oc}}{P_{oc} + P_{\Pi}} = \frac{P_{oc}}{P_x + \Sigma F_{TP}}, \quad (3)$$

Після введення коефіцієнту  $K_p$  у рівняння (2) отримаємо, що:

$$P_{max} \cdot K_p + P_{max} \cdot (1 - K_p) - P_x - \Sigma F_{TP} = 0 \quad (4)$$

Рівняння (4) описує рівновагу виконавчого органу привода подачі на напрямних.

При зміні коефіцієнту розподілу навантаження  $K_p$  в межах від 0 до 1,0 відбувається зміна схеми навантаження виконавчого органу.

Так при  $K_p = 1,0$  виконавчий орган привода подачі навантажується згідно схеми осьового навантаження. Оскільки граничні значення коефіцієнта розподілу навантаження  $K_p$  не забезпечують оптимальних умов функціонування виконавчого органу привода силової головки, то мабуть раціональну схему навантаження слід шукати в середині діапазону зміни значення коефіцієнта  $K_p$ :

$$1 > K_p > 0.$$

Раціональній схемі навантаження виконавчого органу привода силової головки відповідає така схема, коли будуть витримані умови максимальної продуктивності, довговічності та визначеності базування виконавчого органу на напрямних. Ці вимоги можуть бути виконані при умові що  $P_{oc} \rightarrow P_{max}$  а  $P_{\Pi} \rightarrow \min$ .

Критерієм вибору раціональної схеми навантаження виконавчого органу є умови його функціонування, до котрих відносяться контактні деформації виконавчого органу та його напрямних, питомий тиск та знос напрямних.

Вираз для визначення величини ексцентричного силового потоку  $P_n$  одержано після ряду перетворень, який має вигляд:

$$P_n = P_{max} (1 - K_p)$$

Згідно методики [2] визначення умов функціонування виконавчого органу, одержані залежності для умов функціонування виконавчого органу привода силових головок згідно загальної схеми навантаження (див. на рис. 1).

Величину питомих тисків з урахуванням коефіцієнту розподілу навантаження визначають по наступним формулам:

$$P_{1max} = \frac{10,28 \cdot P_{max} \cdot (1 - K_p) \cdot e}{L^2 \cdot d};$$

$$P_{2max} = \frac{7,8 \cdot P_{max} \cdot (1 - K_p) \cdot e}{L^2 \cdot d}.$$

Вирази для визначення величини максимальних контактних деформацій мають вигляд:

$$\delta'_{1max} = K \cdot \frac{10,28 \cdot P_{max} \cdot (1 - K_p) \cdot e}{L^2 \cdot d};$$

$$\delta'_{2max} = K \cdot \frac{7,8 \cdot P_{max} \cdot (1 - K_p) \cdot e}{L^2 \cdot d}.$$

Величина максимального зносу напрямних виконавчого органу привода подачі можна визначити за формулами:

$$U'_{1max} = K_1 \cdot \frac{10,28 \cdot P_{max} \cdot (1 - K_p) \cdot e}{L^2 \cdot d} \cdot S;$$

$$U'_{2max} = K_1 \cdot \frac{7,8 \cdot P_{max} \cdot (1 - K_p) \cdot e}{L^2 \cdot d} \cdot S.$$

Величина коефіцієнту  $K_p$  вибирається для конкретної конструкції виконавчого органу. Так для плоскокулачкових силових головок при максимальному силовому зусиллі привода подачі 4000 Н, цей коефіцієнт повинен лежати в межах 0,125 - 0,325. В цьому разі ексцентричний силовий потік  $P_n$  забезпечує компенсацію сил тертя в напрямних виконавчого органу та зусилля замикаючої пружини на ділянці швидкого підводу.

Згідно досліджень [3] зусилля на ділянках швидкого підводу досягають величини від 1,5 до 2 кН в залежності від типорозміру кулачка. З урахуванням цих даних величина коефіцієнта розподілу може досягти 0,5.

У загальному випадку коефіцієнт розподілу не повинен досягти свого межового значення та повинен лежати в межах  $K_p = 0,1 - 0,5$ , що забезпечує визначеність базування виконавчого органу на напрямних на протязі усього циклу роботи привода.

**Список літератури:** 1. Пестунов В.М. Исследование влияния различных факторов на удельные давления и деформацию направляющих пиноли силовой головки. - М.: Машиностроение, 1968, N 6, С. 172 - 177. 2. Крыжановский В.А. Исследование условий функционирования привода подачи силовых головок с эксцентрично нагруженным исполнительным органом. / В сб. Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. - Киев: Техніка, 1981, вып. 17, С. 97-102. 3. Пестунов

В.М., Кариков Е.А. Повышение точности и производительности металло-режущих станков. — Киев: Техніка, 1979. — 96 с.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

Кузнецов В.Н., Крахт В.Б., Колерко Г.В.  
(СОФ МГИСис, г. Старый Оскол, Россия)

*Considered automatic system of drain water on sewage pumping stations, realizing technologies to account of reducing a time of working an additional pumping unit.*

В условиях непрерывно изменяющегося в течении суток притока сточных вод оперативное управление откачкой из приемного резервуара осуществляется с помощью задвижек в линиях нагнетания насосов. Кратковременные запуски и остановки насосных агрегатов для регулирования откачки сточных вод не применяются, что связано со сложностью пуска мощных синхронных электродвигателей.

АСУ ОСВ решает следующие основные задачи:

а) повышение информированности персонала КНС за счет внедрения современных средств сбора, обработки и отображения технологической информации;

б) определение оптимального по удельному расходу электроэнергии режима откачки стоков;

в) автоматическую реализацию найденного оптимального режима или режима, заданного машинистом (например, стабилизацию требуемого уровня жидкости в приемном резервуаре);

г) контроль и учет основных технико-экономических показателей функционирования КНС;

д) передача информации о функционировании КНС на центральный диспетчерский пункт;

АСУ ОСВ может работать в трех режимах:

а) Режим оптимизации. В нем минимизируется удельный расход электроэнергии за счет:

- сокращения времени работы второго насосного агрегата;

- поддержания максимального уровня в приемном резервуаре при двух работающих НА для создания максимального подпора на всосе насосов.

График изменения желаемого уровня в приемном резервуаре определяется самой АСУ ОСВ. Система автоматического регулирования (САР) АСУ ОСВ реализует этот график.

В оптимальном режиме при отсутствии значительных атмосферных осадков один насосный агрегат работает непрерывно, второй имеет только одно включение-выключение, которое производится машинистом КНС по рекомендации АСУ ОСВ.

Оптимизация режимов откачки производится в рамках технологических ограничений на уровень в приемном резервуаре. б) Полуавтоматический режим. В этом режиме график изменения желаемого уровня в приемном резервуаре определяется машинистом. САР реализует этот график. И в этом режиме включение-выключение второго насосного агрегата производится машинистом по рекомендации АСУ ОСВ.

в) Режим ручного управления. В этом режиме и определение графика изменения желаемого уровня, и его реализация осуществляются машинистом. Этот режим не требует программного обеспечения по подсистеме управления.

В АСУ ОСВ можно выделить четыре функционально различных подсистемы: измерительно-информационную, управления, регулирования и реализации регулирующих воздействий.

Измерительно-информационная подсистема реализует сбор информации на КНС, подготовку к передаче по каналу связи и отображению ее на ЦДП.

При нормальных метеорологических и технологических условиях АСУ ОСВ работает в автоматическом режиме оптимизации по критерию удельных затрат электроэнергии с учетом требований разумной интенсивности эксплуатации управляемых задвижек. В этом режиме задача подсистемы управления заключается в определении желаемого уровня  $H^*$  в приемном резервуаре, необходимого числа работающих НА и номера активного НА, т.е. НА, задвижка которого будет использоваться для регулирования уровня.

Подсистема регулирования способна обеспечить устойчивую стабилизацию заданного желаемого уровня  $H^*$  без ошибки в установившемся режиме и с монотонными переходными процессами при движениях из произвольных начальных уровней. При выборе параметров регулятора предпочтение отдано не времени регулирования, а монотонности переходных процессов по положению регулирующей задвижки.

Регулятор на каждом периоде дискретности работы системы определяет необходимое изменение расхода  $\Delta Q$  м<sup>3</sup>/ч. откачиваемой жидкости.

Подсистема на каждом периоде дискретности решает задачу определения направления и величины перемещения  $\Delta h$  задвижки активного напона по необходимому изменению  $\Delta Q$  расхода откачиваемой жидкости, определенному подсистемой регулирования, и в соответствии с требованиями разумной интенсивности эксплуатации управляемых задвижек 3.

Требованию разумной интенсивности эксплуатации задвижек удастся удовлетворить только в том случае, если отказаться от стабилизации конкретного значения  $H^*$  желаемого уровня и разрешить его изменение в диапазоне ( $H^* - \delta$ ;  $H^* + \delta$ ), где  $\delta = 0,5$  см.

### ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Кузнецов В.Н., Крахт В.Б., Сопилкин Г.В.  
(СОФ МГИСиС, г. Старый Оскол, Россия)

*Considered decision on a matter to automation's of technological processes in systems for tap of water.*

Системы водоотведения (СВ) современных городов и населенных пунктов представляют собой сложные инженерные сооружения, состоящие из взаимосвязанной пространственно - распределенной системы напорных трубопроводов, коллекторов, каналов, насосных станций и очистных сооружений (станций аэрации).

Основной особенностью работы СВ является необходимость бесперебойного и непрерывного отвода всех сточных вод при значительных колебаниях расхода во времени. СВ относятся к классу больших систем, поэтому аварии на отдельных сооружениях и отказы отдельных элементов не приводят к отказу всей системы, а только снижают эффективность ее работы. Территориальная рассредоточенность объектов, сложность технологических процессов, использование значительных объемов текущей информации требует разработки новых информационных технологий автоматического сбора, передачи и обработки данных, применения управляющих вычислительных комплексов для идентификации технологических процессов систем водоотведения.

С точки зрения функционального назначения СВ можно условно разделить на две взаимосвязанные подсистемы: подсистему транспорта и подсистему очистки сточных вод.

Такое разделение технологически обосновано и определяется различием технологических процессов в этих подсистемах.

В структурах современного города СВ является одним из наиболее энергопотребляющих и экологически опасных объектов. Усложнение структуры, увеличение протяженности и возрастание энергоемкости СВ привели к тому, что традиционные методы проектирования и управления, применяемые в этих системах, перестали быть эффективным средством рационального ведения технологических процессов сбора, транспорта и очистки сточных вод. Это привело к резкому возрастанию непроизводительных затрат материальных и энергетических ресурсов, к увеличению энергоемкости СВ, возрастанию вероятности возникновения аварийных ситуаций.

Одной из актуальнейших проблем СВ является задача автоматизации технологических процессов насосных станций так как многие из них используют устаревшее и малоэффективное оборудование для управления технологическими процессами на насосных станциях, т.е. все это приводит к резкому возрастанию непроизводительных затрат материальных ресурсов, снижению эксплуатационной надежности и, как следствие, к возрастанию количества аварий и увеличению объемов сбросов неочищенных сточных вод.

В настоящее время накоплен значительный опыт по автоматизации, моделированию и оптимизации режимов функционирования систем водоотведения. Результаты расчетов оптимальных режимов транспортировки и очистки сточных вод вскрыли значительные внутренние резервы экономии непроизводительных затрат энергетических ресурсов, повышения экономической безопасности этих систем.

На основании сказанного выше, современная автоматизированная система управления технологическими процессами водоотведения должна выполнять следующие основные функции:

- а) централизованный контроль технологических параметров процессов водоотведения и состояния основного и вспомогательного оборудования;
- б) оперативный учет и регистрацию значений параметров оборудования;
- в) идентификацию аварийных ситуаций;
- г) расчет технико-экономических показателей;
- д) Прогнозирование процессов водоотведения;
- е) оптимизацию режимов работы основного и вспомогательного оборудования, диагностика технического состояния этого оборудования и прогнозирование его применения;



Преимуществами автоматизированного управления канализационными насосными станциями (КНС) являются:

- а) бесперебойность, четкость и надежность работы;
- б) возможность уменьшения объемов приемных резервуаров за счет реализации оптимального режима откачки сточных вод;
- в) увеличение срока службы оборудования и приборов;
- г) возможность сосредоточить управление несколькими КНС в одном пункте;

Основными функциями, которые выполняются на насосных станциях приборами автоматики, являются:

- а) прием и передача управляющих сигналов на пуск и остановку насосных агрегатов (НА);
- б) включение одного или нескольких НА в установленной последовательности;
- в) создание и поддержание необходимого разряжения на всасывающем трубопроводе и насосе перед его пуском;
- г) контроль за установленным режимом при пуске, работе и остановке НА;
- д) отключение НА при нарушении установленного режима и включение резервного агрегата;
- е) защита агрегата от тепловых, электрических и механических повреждений;
- ж) передача параметров работы НА на диспетчерский пункт;
- з) открытие и закрытие задвижек на трубопроводах в заданные моменты времени;
- и) контроль и поддержание заданных параметров работы КИС (например: уровня стоков, подачи, напора и т.д.)
- к) включение и выключение дренажных насосов и насосов, подающих воду на охлаждение и уплотнение сальников;
- л) включение и выключение механических граблей;
- м) контроль за отоплением и вентиляцией в помещении насосной станции;
- н) сигнализация затопления насосной станции и т.д.

Таким образом, автоматизированную систему управления КНС (АСУ КИС) в настоящее время целесообразно создавать как двухуровневую распределенную систему контроля и управления, верхним уровнем которой является центральный диспетчерский пункт (ЦДП), выполняющий только информационные функции, а нижним - местные пункты управления каждой КИС.

## СИНТЕЗ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Кузнецов Б. И., Соляник В. П., Чаусов А. А.  
(УИПА, г. Харьков, Украина)

*Optimal control of contour regulators of gas turbine engines for pump gas units is considered. The investigation results of synthesized contours regulators engine type D-336 is given.*

В настоящее время большинство газоперекачивающих агрегатов (ГПА) с газотурбинными двигателями (ГТД) компрессорных станций, расположенных на территории бывшего Советского Союза, занимаются новыми газотурбинными двигателями. Это обусловлено в первую очередь тем, что имеющиеся газотурбинные двигатели, как правило, выработали свой ресурс. Кроме того, такая замена позволяет существенно снизить расход топливного газа, так как новые двигатели имеют более высокий коэффициент полезного действия. Одним из альтернативных вариантов замены является авиационный газотурбинный двигатель Д-336, выпускаемый на Украине научно-производственным объединением «Прогресс».

Существующие газотурбинные двигатели были укомплектованы гидромеханическими системами регулирования авиационного типа. Новые двигатели предполагается оснастить современными электронно-механическими системами с возможностью управления от ЭВМ верхнего уровня - АСУ компрессорных цехов и АСУ компрессорных станций и широкой диагностикой локальных подсистем регулирования. Для отработки технических решений по структуре и параметрам регуляторов применительно к газотурбинному двигателю Д-336 были проведены работы по синтезу оптимальных регуляторов отдельных контуров регулирования. При этом была принята традиционная для систем управления авиационными газотурбинными двигателями идеология построения систем регулирования. Все параметры газотурбинного двигателя, которыми необходимо управлять и значения которых не должны выходить за предельно допустимые величины снабжаются автономными регуляторами.

Основным регулируемым параметром ГТД Д-336 является скорость вращения свободной турбины  $n_{ст}$ . Однако при этом необходимо ограничивать скорости вращения компрессоров низкого  $n_{ню}(t)$  и высокого  $n_{хвд}(t)$  давления, а также температуру за турбиной компрессора низкого давления  $T_{кн}(t)$  в соответствии с требованиями технического задания. Рассмотрим синтез ПИ регуляторов параметров ГТД, так как при таком регуляторе

обеспечивается астатизм по задающему воздействию при достаточно простой методике его синтеза  $y(t)$  и  $y_3(t)$  - регулируемый параметр ГТД и его заданное значение, определяемое уравнением выхода

$$y(t) = C\bar{x}(t) + Du(t) + D\bar{F}$$

при описании ГТД в пространстве состояний

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = A\bar{x}(t) + Bu(t) + B\bar{F}$$

При этом вектор наблюдаемых переменных

$$\bar{y}_1(t) = C_1\bar{x}(t) + D_1u(t) + D_1\bar{F}(t)$$

включает все параметры ГТД кроме регулируемого  $y(t)$ .

Управление  $u(t)$  формируется с помощью ПИ регулятора в виде суммы интегральной и пропорциональной составляющей. Уравнение состояния интегральной составляющей

$$\frac{dz(t)}{dt} = K_u(y_3(t) - y(t))$$

в котором  $K_u$  - коэффициент усиления интегральной составляющей ПИ регулятора. А управление

$$u(t) = z(t) + K_n(y_3(t) - y(t))$$

где  $K_n$  - коэффициент усиления пропорциональной составляющей ПИ регулятора.

Составим уравнение состояния расширенной системы в замкнутом состоянии, включающем вектор состояния ГТД как объекта управления  $\bar{x}(t)$  и интегральную составляющую ПИ регулятора  $z(t)$ . Внешними воздействиями в замкнутой системе являются задающее воздействие  $y_3(t)$  регулируемого параметра ГТД и вектор возмущающих воздействий  $\bar{F}(t)$ , включающий изменение давления  $\Delta P_{\text{вх}}(t)$  на входе  $\Delta P_{\text{вых}}(t)$  - на выходе газотурбинного двигателя

$$\bar{F}(t) = \{\Delta P_{\text{вх}}(t), \Delta P_{\text{вых}}(t)\}^T$$

Управляющее воздействие  $u(t)$  является внутренней переменной замкнутой системы. Получим уравнение состояния и выхода замкнутой системы. Исходные уравнения имеют следующий вид:

$$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + Bu + B\bar{F}$$

$$y = C\bar{x} + Du + D\bar{F}$$

$$y_1 = C_1\bar{x} + D_1u + D_1\bar{F}$$

$$\frac{dz}{dt} = K_u(y_3 - C\bar{x} - Du - D\bar{F})$$

$$U = K_n(y_3 - C\bar{x} - Du - D\bar{F}) + Z$$

Обозначим  $\alpha = 1 + K_n D$

Тогда

$$u = \frac{K_n}{\alpha} y_3 - \frac{K_n}{\alpha} C\bar{x} - \frac{K_n}{\alpha} D\bar{F} + \frac{1}{\alpha} Z$$

Подставим  $u$  в уравнение состояния  $\bar{x}(t)$

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = \left[ A - \frac{K_n}{\alpha} BC \right] \bar{x} + \frac{1}{\alpha} DZ + \left[ B - \frac{K_n}{\alpha} BD \right] \bar{F}$$

Запишем эти уравнения в матричной форме

$$\begin{bmatrix} \dot{\bar{x}} \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A - \frac{K_n}{\alpha} BC & \frac{1}{\alpha} B \\ K_u C \left[ \frac{K_n}{\alpha} D - 1 \right] & -\frac{K_n}{\alpha} D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{K_n}{\alpha} B \\ K_u \left[ 1 - \frac{K_n}{\alpha} D \right] \end{bmatrix} y_3(t) + \begin{bmatrix} B - \frac{K_n}{\alpha} BD \\ -K_u D \left[ 1 + \frac{K_n}{\alpha} D \right] \end{bmatrix} \bar{F}$$

$$\bar{y}_1 = \left\| \frac{K_n}{\alpha} D_1 C - \frac{1}{\alpha} D_1 \right\| \cdot \begin{bmatrix} \bar{x} \\ z \end{bmatrix} + \left[ \frac{K_n}{\alpha} D_1 \right] y_3(t) + \left[ D_1 - \frac{K_n}{\alpha} D_1 D \right] \bar{F}(t)$$

Для газотурбинного двигателя Д-336 основным регулируемым параметром является скорость вращения свободной турбины, при регулировании которой необходимо ограничивать скорости вращения компрессоров низкого и высокого давлений, температуры газов в определенных точках проточной части газотурбинного двигателя. Поэтому синтезированные оптимальные регуляторы отдельных контуров регулирования замыкаются через селекторы минимума и селектор максимума. После синтеза оптимальных регуляторов выполнен анализ полученных динамических характеристик этих контуров регулирования, а затем проведено моделирование полной системы управления, в которой отдельные контуры регулирования взаимодействуют через селекторы минимума и максимума.

Синтезированная таким образом система регулирования позволяет существенно повысить точность поддержания основного параметра при жестком ограничении технологических параметров, что особенно эффективно в динамических режимах при работе газотурбинного двигателя на максимальной мощности.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗУБОПРОКАТНОГО СТАНА ЗПС-250(В)

Кузьменков О.И., Капанец Э.Ф., Князев В.Н.  
(ИНДМАШ НАНБ, г. Минск, Беларусь)

Для повышения надежности и технологической стабильности зубо-прокатных станов серии ЗПС институтом проблем надежности и долговечности машин совместно с Алма-атинским заводом тяжелого машиностроения создана система диагностики таких станов на базе микропроцессоров и ЭВМ.

Такая система обеспечивает полную информативность оператору о процессе пластического формоизменения заготовки при накатке зубчатых профилей шестерен, звездочек, муфт и других деталей. При этом впервые предусмотрено широкое применение индуктивных датчиков для контроля накатного инструмента и заготовок, а также комплексного контроля температуры с помощью пирометров и термопар. Обработку информации и управление можно осуществлять как с помощью встроенного микропроцессора с отражением измеренных параметров (крутящего момента, вибраций, углового рассогласования накатников, температуры нагрева заготовки) на экране цветного дисплея на рабочем месте оператора, так и с помощью мини-ЭВМ СМ-2М и терминала вычислительной связи с объектом (ТВСО) с рабочего места оператора ЭВМ РМОТ-02.

Макетирование системы диагностики осуществлено на лабораторном стане ЗПС-250, дополнительно оборудованном четырьмя индивидуальными датчиками накатчиков ЦИП-1 конструкции ИНДМАШ, пирометром ТЕРА-50, тремя термопарами, встроенными непосредственно в индуктор для нагрева ТВЧ и комплексным потенциометрическим датчиком перемещения накатников и заготовки.

В докладе излагаются результаты макетирования автоматизированной системы диагностики стана ЗПС-250, как автономном, так и в автоматизированном режиме. В качестве модели для прокатки использовались косозубчатые колеса коробок передач автомобилей ЗИЛ-130 с модулем 3,5 мм.

Делается вывод о большой перспективности оборудования станов ЗПС средствами диагностики с управлением от ЭВМ.

## ВИРОБНИЧО-УПРАВЛІНСЬКИЙ АСПЕКТ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ПРИ ОЦІНЦІ ЙОГО ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ

Кулініч Т.В. (ДУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна)

*The complex aspect of production and management activity of an enterprise is one of the most important and of the least explored sides of the diagnosis of his investment attractiveness. There are presented some interesting points of analysis of state and of prospects of the enterprise and a system of monitoring of its investment project.*

Проблему всебічної оцінки інвестиційної привабливості підприємств можна віднести до таких, що постійно еволюціонують, розкриваючи нові сторони. Зокрема в даній статті пропонується по-новому подивитись на виробничо-управлінський аспект діяльності підприємства, яке попало в поле зору потенційного інвестора. А саме, буде показано, що може бути найбільш цікавим для інвестора при оцінці стану та перспектив розвитку виробничої діяльності підприємства, з подальшим переходом до проблеми побудови системи моніторингу реалізації інвестиційного проекту для задоволення інтересів обидвох сторін (інвестора та підприємства).

3 "трьох китів" оцінки стану та перспектив розвитку виробничої діяльності підприємства (зокрема машинобудівного) - 1) аналіз ринку, 2) запланований об'єм та структура виробництва, 3) забезпеченість випуску продукту основними факторами виробництва [1, с.147-155]- найбільше ускладнень при підготовці техніко-економічного обґрунтування інвестиційного проекту викликає саме "третій кит". Тому, виходячи з представлених в [1, с.367-368] та в [2, с.89-91] факторів виробництва, коротко відзначимо цікаві для інвестора деталі та тонкощі при їх оцінці (аналіз для машинобуд. підприємства):

1) Сировина: а) характеристика та джерела сировини; б) показники програми поставок для виробництва даного продукту, їх місце в програмі цілого підприємства; в) залежність організації поставок від сезонних коливань; г) вартість запасів сировини.

2) Розташування підприємства: а) врахування інвестиційного клімату країни, регіону, міста, до якого належить дане підприємство; б) стан існуючої інфраструктури, соціально-економічне середовище, розвинутість відповідного сектору ринку; в) вартість земельної ділянки та річні витрати за оренду, податки і т.п.; г) вплив підприємства в цілому та наслідків випуску даного продукту зокрема на екологію, ландшафт, інфраструктуру.



3) Виробнича програма підприємства: а) підтвердження за допомогою маркетингового дослідження існування відповідного попиту на дану продукцію; б) програма виробництва основної та побічної продукції: відповідність критеріям якості, об'єм виробництва, графік випуску продукції з врахуванням сезонних коливань; в) імовірний процент браку та відходів; г) програма обробки викидів та знищення або переробки відходів.

4) Виробнича потужність підприємства: а) максимальна та номінальна для всього підприємства, окремих цехів, що відпові-датимуть за випуск даного виду продукції; б) номінальна потужність основних видів обладнання; в) передбачення необхідних змін.

5) Технології: а) необхідність в змінах існуючих або в придбанні нових технологій; б) джерела отримання технологій (вітчизинні або закордонні патенти, ліцензії, "ноу-хау"); в) спосіб придбання технологій (ліцензування, купівля, спільне підприємство); г) досвід використання; д) прогноз отримання прибутків; е) річні витрати на технології.

6) Обладнання: а) наявність та стан виробничого, допоміжного та сервісного обладнання; б) шлях отримання обладнання (купівля, лізинг, виготовлення власними силами, тощо); в) вид обладнання (автомати, полу-автомати, роботи, маніпулятори, тощо); г) потужність і вартість встановленого обладнання; д) вік, строк служби, вартість заміни обладнання, амортизація та витрати на ремонт; е) стан та обґрунтовані зміни в автоматизації та комплексній механізації (АКМ) виробництва, а також в комп'ютеризації підприємства.

7) Цивільне будівництво: а) стан будов та споруд; б) види робіт по цивільному будівництву (підготовка та освоєння земельної ділянки, зведення нових та реставрація або зміни в існуючих основних та допоміжних будовах та спорудах, будівельні роботи, пов'язані з комунальними послугами, транспортом, видаленням відходів, внутрішніми дорогами, огорожами, тощо); в) вартість робіт по цивільному будівництву, будов та споруд; г) амортизація та витрати на ремонт.

8) Трудові ресурси (ТР): а) наявність, зміни та потреби в кваліфікованій робочій силі та службовцях; б) витрати на ТР; в) акцент підприємства на залученні "дорогих" спеціалістів з професіями, найбільш критичними для реалізації даного проекту.

Зрозуміло, що для "підтримування" інвестиційної привабливості підприємства на належному рівні і інвестору, і підприємцям необхідно постійно проводити спостереження та нагляд за станом його виробничої діяльності, не обмежуючись навіть дуже ретельною попередньою оцінкою. Тут кращою пропозицією буде проведення різностороннього моніторингу,

під яким будемо розуміти і зовнішній моніторинг (моніторинг інвестиційного ринку), і внутрішній моніторинг (моніторинг реалізації інвестиційного проекту на даному підприємстві), який потрібно проводити в комплексі, враховуючи тісно переплетені виробничу, управлінську, маркетингову та фінансову сторони діяльності підприємства.

Для забезпечення об'єктивного контролю в складних умовах сьогодення пропонується використовувати зовнішню моніторингову групу, яка буде фінансуватись інвестором. До основних функцій цієї групи крім нагляду пропонується включити: проведення різного роду експертиз, аудиторські та консалтингові функції.

Серед аудиторських функцій такої групи головними будуть:

- перевірка внутрішнього контролю над ходом виробництва та за іншими видами використання залучених підприємством коштів, а також аудит річних рахунків;

- контроль "щирості" інформації, що передається акціонерам;

- складання звіту за річними та консолідованими рахунками, пов'язаними з використанням інвестицій, а також з розвитком виробництва та внутрішніх підрозділів і служб підприємства, що викликаний даними інвестиціями.

Основні консалтингові функції цієї моніторингової групи:

- діагностика підприємства (на всіх стадіях впровадження інвестиційного проекту);

- попередження та пропозиції щодо запобігання труднощів на підприємстві;

- в разі потреби - план реструктуризації підприємства;

- поради щодо загального та фінансового менеджменту підприємства;

- поради щодо організації управління підприємством, пов'язаного з розробкою ним певної інвестиційної стратегії;

- діагностика загального стану інформатизації підприємства.

До функцій зовнішньої моніторингової групи може належати також проведення різного роду експертиз:

- моделювання ситуацій для попередження помилок та коректування певної інвестиційної стратегії підприємства;

- постійне переоцінювання цінних паперів, придбаних та випущених підприємством;

- вивчення перспектив розвитку та потреб підприємства;

- експертиза та можливе вирішення інших пов'язаних з інвестиціями питань, які виникають не тільки при аналізі господарської діяльності та бухгалтерських звітів компанії, але й в її юридичній, соціальній та фінансовій практиці.

Список літератури: 1. Бланк И.А. Инвестиционный менеджмент. Киев, МП "ИТЕМ" ЛТД, "Юнайтед Лондон Трейд Лимитед", 1995. 2. Беренс В., Хавранек П.М. Руководство по оценке эффективности инвестиций.-М.: АОЗТ "Интерэксперт", "ИНФРА-М", 1995.

## ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕССОВ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Кундас С.П.\*, Достанко А.П., Сороговец Ю.В.\* Гуревич В.А.\*,  
Ильющенко А.Ф.\*\*\*, Оковитый В.А.\*\*, Науменко Н.Н.\*\*\* (\*БГУИР,  
г. Минск, Беларусь, \*\*НИИПМ, г. Минск, \*\*\*ИМАФАН РБ, г. Минск)

*The integrated technological complex for simulation, research and development of new plasma spraying processes is developed. Complex involves program system for integrated simulation of all plasma spraying stages with. data base, measurement systems and program-controlled vacuum plasma spraying equipment.*

Применение методов компьютерного моделирования в технологии плазменного напыления является наиболее перспективным направлением ускорения технологической подготовки новых процессов плазменного напыления и сокращения затрат на экспериментальные исследования [1-3].

Важное значение для практического применения методов компьютерного моделирования имеет экспериментальная верификация разработанных моделей, применительно к конкретному технологическому оборудованию, новым материалам покрытий, условиям напыления.

Для решения изложенных выше актуальных задач технологии плазменного напыления нами предложена концепция создания интегрированного технологического комплекса, с помощью которого возможно проведение работ по моделированию, экспериментальному исследованию и практическому осуществлению напыления опытных партий изделий в соответствии с разработанной технологией [3]. Применение комплекса в технологии плазменного напыления позволяет проводить на одном рабочем месте технолога-исследователя весь комплекс работ, связанных с разработкой новых технологических процессов плазменного напыления изделий машиностроения техники и других отраслей промышленности.

Разработка комплекса (рис. 1) проводилась с учетом следующих требований:

- возможность моделирования всех стадий процессов плазменного

напыления покрытий в отдельности и в режиме сквозной передачи данных;

- наличие в составе комплекса базы данных свойств веществ, применяемых при плазменном напылении покрытий и их температурных зависимостей;

- возможность экспериментального измерения основных параметров плазменного напыления и ввода их в компьютер в режиме реального времени;

- графическая визуализация результатов моделирования и экспериментальных исследований;
- возможность разработки и автоматизированного выпуска комплектов технологической документации на вновь создаваемые технологические процессы плазменного напыления;

- изготовление опытных партий изделий согласно разработанной технологии.

Датчики параметров плазменного напыления встраиваются в установку плазменного напыления и обеспечивают выделение необходимого информационного сигнала на фоне помех. Информационные сигналы усиливаются до необходи-

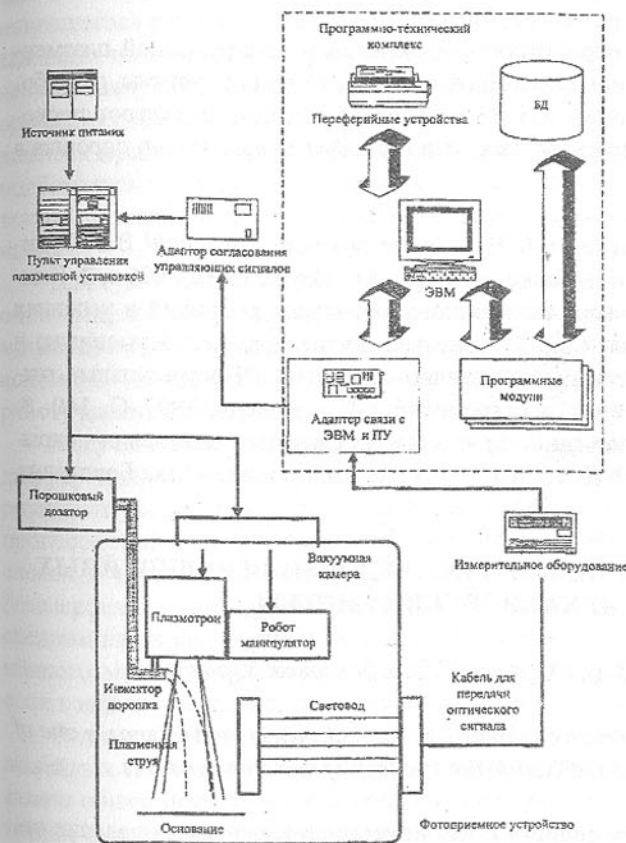


Рис.1. Структурная схема интегрированного технологического комплекса.

ма, обеспечивая выделение необходимого информационного сигнала на фоне помех. Информационные сигналы усиливаются до необходи-

мого уровня и подаются на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для их ввода в программно-математический комплекс для дальнейшей обработки. Для синхронизации работы всей системы должна существовать связь между работой ЭВМ и работой датчиков. Эта связь осуществляется путем синхронизации работы АЦП, который осуществляет преобразование только по сигналу от ЭВМ.

Комплекс разработан на основе установки плазменного напыления в вакууме фирмы "Plasmatechnik" (Швейцария), которая имеет более широкие технологические возможности по сравнению с установками для напыления в атмосферных условиях (APS).

Для измерения параметров загруженной и незагруженной плазменной струи в состав комплекса введены оптоэлектронные системы, разработанные совместно ИМАФ АН РБ и НИИПМ, которые позволяют проводить измерения температуры, скорости и распределение частиц порошка в плазменной струе.

**Список литературы:** 1. Нанесение покрытий плазмой/ В.В. Кудинов, П.Ю. Пекшев, В.Е. Белашенко и др. - М.: Наука, 1990. - 406 с. 2. Комплексная модель процесса плазменного напыления покрытий в условиях пониженного давления/ С.П. Кундас, А.Н. Кузменков, А.Ф. Ильющенко и др.// Сб. трудов международной научно-техн. конф. "Прогрессивные технологии машиностроения и современность". - Донецк, 1997.-С. 140. 3. Компьютерное моделирование процессов плазменного напыления покрытий / С.П. Кундас, А.П. Достанко, А.Ф. Ильющенко и др.. - Мн.: Бестпринт, 1998. -212 с.

## МЕТОД ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Куница А.В. (АДИ ДонГТУ, г. Горловка, Украина)

*Method of theoretical research noline mechanical system by it essence is one of the versions of practical realisation reserve task of machine dynamics.*

При исследовании свойств и закономерностей функционирования автоматических бесступенчатых механических машинных агрегатов с двумя и более степенями свободы, инерционно-импульсных в частности, приходится иметь дело с нелинейными системами [1,2]. Особое место среди нелинейных систем занимают машинные агрегаты, преобразующие почти равномерное вращение приводного вала в неравномерное движение рабо-

чего органа, колебательное в частности. Исследование всех таких систем сопровождается известными серьезными затруднениями, вызванными тем, что универсальных методов построения общих решений системы нелинейных дифференциальных уравнений, особенно обладающих переменной структурой и содержащих переменные коэффициенты, не существует [2].

Во многих работах отмечается тот факт, что при исследовании механических нелинейных систем нет необходимости искать общее решение дифференциальных уравнений. Чаще всего находят общее решение обладающее определенными свойствами, например, периодическое для установившегося режима движения машинного агрегата при соответствующих заданных начальных условиях. По этой причине в теории нелинейных колебаний получили распространение методы решения основанные на априорном представлении о физической природе нелинейного явления и определенных предположениях о характере искомого решения. На основе этого подбирается тот или иной математический приём, который предположительно позволит наиболее эффективно найти максимально точное решение.

Для существенно нелинейных систем, к которым относятся и инерционно-импульсные, в принципе на сегодняшний день нет универсального математического приёма, позволяющего в достаточной мере выявить закономерности их функционирования, нелинейные эффекты и обеспечить работу машинного агрегата с желаемыми параметрами.

Полученное тем или иным образом решение системы нелинейных дифференциальных уравнений обязательно подвергается проверке экспериментом, роль которого для нелинейных систем особенно существенна. В процессе эксперимента появляется возможность выявления тех или иных сложных нелинейных явлений (синхронизации, захватывания, эффекта Зоммерфельда), которые могут быть и не выявлены в теоретических исследованиях в силу принятых допущений и(или) несоответствием применённого математического приёма данной нелинейной системе, особенно если в ней источник энергии имеет ограниченную мощность.

В данной работе предлагается несколько иной метод исследования нелинейных систем, в основе которого лежит положение о том, что не столь важно общее исследование и решение системы дифференциальных уравнений, сколь необходимо конкретное согласование элементов системы, состоящей из источника энергии - преобразующего устройства (колебательный контур) - приёмника энергии. При этом необходимо определить собственные входные и выходные характеристики каждого из элементов, обусловленные их внутренней структурой. Определение этих ха-



рактических основано на использовании закона сохранения энергии применительно к колебательным системам.

Первым этапом предлагаемого метода являются известные и хорошо отработанные приёмы перехода от реальной механической системы к её физической модели, оставляя наиболее существенные свойства и параметры применительно к конкретной постановке технической задачи [2].

На втором этапе используются известные принципы и уравнения нелинейной механики с целью создания системы нелинейных дифференциальных уравнений, представляющих по своей сути математическую модель реальной механической системы. Каждое из дифференциальных уравнений системы описывает одну из степеней свободы механической системы и по форме будет либо уравнением движения точки с переменной массой, либо уравнением вращения тела с переменным моментом инерции [4].

На третьем этапе, прежде чем начать исследовать систему дифференциальных уравнений необходимо выяснить и уточнить физический смысл входящих в них членов [3,5]. Для этого в правых частях оставляем: движущий момент источника энергии, внешние моменты и силы сопротивления, обусловленные выполнением технологического процесса; внутренние реакции системы, получаемые при введении обобщенных координат. Внутренними потерями в механической системе на первоначальном этапе можно пренебречь, с тем, чтобы выяснить её принципиальные свойства, а потом, зная эти свойства, можно будет учесть и потери. В левой части каждого из уравнений располагаем остальные его члены. Одни члены являются либо силами либо моментами от сил инерции (на установившемся периодически неравномерном режиме движения их работа равна нулю). Другие же члены, в одном из уравнений, отражают действие колебательной системы на источник возбуждения, а в других уравнениях описывают воздействие колебательной системы на приёмник энергии или же взаимодействия между элементами этой системы соответственно степеням свободы [3] в дифференциальной форме.

При установившемся периодически неравномерном режиме работы интегральное воздействие колебательной системы на источник энергии определяется только её собственной структурой, обуславливает диапазоны загрузки источника энергии по его механической характеристике [4] и обеспечивает устойчивую или неустойчивую работу машинного агрегата в целом.

Другие уравнения позволят определить интегральное воздействие колебательной системы на приёмник энергии и (или) какие-то передаточные и преобразующие элементы машинного агрегата.

Самым важным будет четвёртый этап. На этом этапе, имея в дифференциальной форме выражения воздействий необходимо найти их интегральное выражение. Для этого найдём аналитическое выражение работы, совершаемой каждым из этих воздействий. Аналитические выражения работы определим для каждого из этих воздействий как интеграл аналитического выражения этого воздействия в дифференциальной форме умноженный на элементарные линейные либо угловые перемещения. Аналитические выражения элементарных перемещений предопределены структурой данной колебательной системы. Интегральные воздействия определим как отношения полученных аналитических выражений работ к аналитическому выражению суммарного перемещения по данной обобщенной координате за цикл установившегося периодически неравномерного режима движения, определяемого структурой данной колебательной системы.

В итоге получим аналитические выражения интегральных воздействий колебательной системы по каждой обобщенной координате. Это позволит построить так называемую идеальную каноническую характеристику колебательной системы [5].

Если же теперь уточнить математическую модель, введя в неё новые члены, учитывающие внутренние потери в колебательной системе в дифференциальной форме и выполнить аналогичные преобразования, получим рабочие канонические характеристики.

Такие характеристики колебательной системы позволят осознанно согласовать её элементы между собой, подобрать источник энергии с требуемой механической характеристикой, обеспечив тем самым устойчивую работу колебательной системы без наличия нежелательных нелинейных эффектов и требуемые параметры технологического процесса.

Предлагаемый метод позволит существенно снизить поле поиска возможных конструктивных решений по созданию нелинейных механических систем с требуемыми свойствами.

По своей сути предлагаемый метод является одним из вариантов практической реализации обратной задачи динамики машин, когда определяются силовые параметры, обеспечивающие требуемые законы движения машинного агрегата и его отдельных элементов.

**Список литературы:** 1. Леонов А.И. Инерционные автоматические трансформаторы вращающего момента, - М.: Машиностроение, 1978. - 224 с., ил. 2. Вульфсон И.И., Коловский М.З. Нелинейные задачи динамики машин. - Л.: Машиностроение, 1968. - 284 с., ил. 3. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). - т.2. Колебания нелинейных механических систем. - М.: Машиностроение, 1979. - 351 с., ил.

4. Колчин Н.И. Механика машин. - т. 2. Кинестатика и динамика машин. - М. - Л.: Машгиз, 1963. - 536 с., ил. 5. Антонов А.С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин. - Л.: Машиностроение, 1975. - 480 с., ил.

# КАНОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИТВМ ПРЯМОГО ХОДА

Куница А.В. (АДИ ДонГТУ, г. Горловка, Украина)

*Knowledge of canonical characteristic of the inertial transformer of revolving moment of straight stroke permit in common with mechanical of the characteristic of the source energy and by under certain diapason changing moments of power resistance technological of the process ensare stability work of the system.*

В работах [1,2] приводятся выражения кинетической энергии, математической модели инерционных трансформаторов вращающего момента (ИТВМ). Последняя исследуется с учётом переменности структуры ИТВМ методом малого параметра. В работе [1] отмечается, что "... когда решаются сложные нелинейные уравнения ... надеяться на хорошие результаты при использовании аналитических оценок не приходится".

Применим метод [3] к исследованию ИТВМ прямого хода с инерционно-импульсным механизмом (ИИМ) Хоббса при введомом солнечном колесе, математическая модель которого имеет вид [2] (символика работы сохранена):

$$\left\{ \begin{array}{l} A\ddot{\Theta} - B\ddot{\Psi} + 0,5 A'_\Theta (\dot{\Theta} - \dot{\Psi})^2 - (0,5 A'_\Theta - B'_\Theta) \dot{\Psi}^2 = M_d \\ C\ddot{\Psi} - B\ddot{\Theta} + (0,5 A'_\Theta - B'_\Theta) \dot{\Theta}^2 = -M_{3,5} \\ I_5 \ddot{\varepsilon} = M_{3,5} - M_5 \end{array} \right.$$

Примем два допущения. Первое допущение: скоростной фактор выходного потока ИИМ мгновенно изменяет своё значение в начале положительной фазы [3, 4] от 0 до какого-то постоянного значения  $\dot{\Psi}$ , а в начале отрицательной фазы мгновенно становится равным 0.

Второе допущение: исследование ИТВМ проводим для установившихся периодически неравномерных режимов. Тогда членами, содержащими  $\ddot{\Theta}$ ,  $\ddot{\Psi}$  можно пренебречь, а значение частоты  $\dot{\Theta}$  считаем постоянным и равным какому-то среднецикловому её значению.

Оставшиеся члены в правой части двух первых уравнений в дифференциальной форме отражают воздействие ИИМ на источник энергии посредством входного момента  $M_I$  и приёмник энергии посредством выходного момента  $M_\Pi$ .

Работу  $W_I$  момента  $M_I = 0,5 A'_\Theta (\dot{\Theta} - \dot{\Psi})^2 - (0,5 A'_\Theta - B'_\Theta) \dot{\Psi}^2$  за цикл найдём как сумму работ  $W_I^* + W_I^{**}$  за положительную и отрицательную фазы.

Работа  $W_I^* = \int_0^\pi M_I d\Theta$ , где  $d\Theta$  - элементарное приращение координаты

$\Theta$  в положительной фазе. Из структуры ИИМ:  $d\dot{\Theta} = \dot{\Theta} d\varphi / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ , где  $d\varphi$  - элементарное приращение фазового угла  $\varphi$  грузового звена [4].

Тогда  $W_I^* = (A_\Theta \dot{\Theta}^3 - 2A_\Theta \dot{\Theta}^2 \dot{\Psi} + 2B_\Theta \dot{\Psi}^2 \dot{\Theta}) / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ . Здесь:  $A_\Theta = A'_\Theta \sin \varphi$ ;  $B_\Theta = B'_\Theta \sin \varphi$ . Конечное значение угла  $\Theta$  за время положительной фазы равно  $\dot{\Theta} \pi / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ .

Работа  $W_I^{**} = \int_\pi^{2\pi} M_I d\Theta$ , где  $M_I = 0,5 A'_\Theta \dot{\Theta}^2$  (т.к.  $\dot{\Psi} = 0$ ), а  $d\Theta = d\varphi / q$ .

Тогда  $W_I^{**} = -A_\Theta \dot{\Theta}^2 / q$ , а конечное значение входного угла  $\Theta$  за время отрицательной фазы равно:  $\Theta = \pi / q$ .

В итоге  $W_I = W_I^* + W_I^{**} = -\dot{\Theta} (A_\Theta \dot{\Theta} - 2B_\Theta \dot{\Psi}) / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$  и суммарное значение входного угла  $\Theta = \pi (2\dot{\Theta} - \dot{\Psi}) / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ . Отсюда найдём интегральное выражение входного момента ИИМ:

$M_I = W_I / \dot{\Theta} = -\dot{\Theta} \dot{\Psi} (A_\Theta \dot{\Theta} - 2B_\Theta \dot{\Psi}) / [\pi (2\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ . Полученная зависимость определяет диапазон загрузки источника энергии при различных  $\dot{\Theta}$  и  $\dot{\Psi}$ .

Работу  $W_2$  выходного момента  $M_2 = (0,5 A'_\Theta - B'_\Theta) \dot{\Theta}^2$  за цикл определим как:  $W_2 = W_2^* + W_2^{**}$ . Работа  $W_2^* = \int_0^\pi M_2 d\Psi$ , где  $d\Psi$  - элементарный угол выходного потока в положительной фазе:  $d\Psi = \dot{\Psi} d\varphi / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ .

Тогда  $W_2^* = (A_\Theta - 2B_\Theta) \dot{\Theta}^2 \dot{\Psi} / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ .

Принятое первое допущение позволяет найти  $W_2^{**}$  через изменение кинетической энергии  $\Delta T$  за цикл. Учитываем только переменные составляющие членов кинетической энергии. Тогда  $\Delta T = \Delta T^{**} - \Delta T^*$ , где  $\Delta T^*$ ,  $\Delta T^{**}$  - изменение кинетической энергии в положительной и отрицательной фазах цикла. Отсюда  $\Delta T^* = \int_0^\pi T^* d\varphi$ , где  $T^* = \left( 0,5 A_\Theta \dot{\Theta}^2 - B_\Theta \dot{\Theta} \dot{\Psi} \right) \cos \varphi / q$ . Тогда

$$\Delta T^* = \left( A_\Theta \dot{\Theta}^2 - 2B_\Theta \dot{\Theta} \dot{\Psi} \right) / q$$

Выражение  $\Delta T^{**} = \int_\pi^{2\pi} 0,5 A_\Theta \dot{\Theta}^2 \cos \varphi d\varphi / q = A_\Theta \dot{\Theta}^2 / q$ . Поэтому  $W_2^{**} = \Delta T = -2B_\Theta \dot{\Theta} \dot{\Psi}$ . В итоге  $W_{II} = W_2^* + W_2^{**} = \dot{\Theta} \dot{\Psi} (A_\Theta \dot{\Theta} - 2B_\Theta \dot{\Psi}) / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ . Суммарное значение угла  $\Psi$  выходного потока равно:  $\Psi = \pi \dot{\Psi} / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ . Откуда  $M_{II} = W_{II} / \Psi = \dot{\Theta} (A_\Theta \dot{\Theta} - 2B_\Theta \dot{\Psi}) / \pi$ .

В выражения  $M_I$  и  $M_{II}$  входит скорость  $\dot{\Psi}$ , выражение которой найдём связав со скоростью  $\varepsilon$  выходного потока ИТВМ. Для этого воспользуемся характеристикой узловой упругой точки [3], которая имеет вид:  $\Psi = \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  - угол поворота наружной обоймы МСХ за цикл. Время продолжительности первой фазы:  $t' = \pi / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ , а время  $t''$  продолжительности отрицательной фазы:  $t'' = \pi / (q\dot{\Theta})$ . Необходимо отметить, что  $t'$  не может иметь отрицательных значений, т. е.  $\dot{\Psi} \leq \dot{\Theta}$ .

Поэтому  $\Psi = \dot{\Psi} t' = \pi \dot{\Psi} / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ , а  $\varepsilon = \varepsilon(t' + t'') = \varepsilon \pi (2\dot{\Theta} - \dot{\Psi}) / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ . Приравняв  $\Psi$  и  $\varepsilon$ , найдём, что  $\dot{\Psi} / \dot{\Theta} = 2\varepsilon / (\dot{\Theta} + \varepsilon)$ . В теории бесступенчатых передач отношение  $\varepsilon / \dot{\Theta} = i$  принято называть передаточным числом.

Внося в выражениях  $M_I$  и  $M_{II}$   $\dot{\Theta}^2$ , подставляя  $i$  и параметры ИИМ в коэффициенты  $A_\Theta$  и  $B_\Theta$ , окончательно получим выражение для  $M_I$  и  $M_{II}$ .

$$M_{II} = 2nm_1 r_1 e q \dot{\Theta}^2 [1 + q(1-i)/(1+i)] / \pi, \text{ а}$$

$$M_I = -2nm_1 r_1 e q \dot{\Theta}^2 [1 + q(1-i)/(1+i)] i / \pi \quad \text{При этом } M_I = -M_\Delta$$

Полученные зависимости позволяют построить каноническую характеристику ИТВМ прямого хода с ИИМ Хоббса при ведомой солнечной шестерне, которая имеет вид (см. рис.). В данном ИТВМ возможен режим динамической муфты.

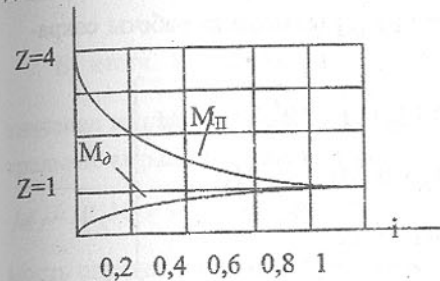


Рис.

Имея каноническую характеристику ИТВМ, механическую характеристику источника энергии и зная диапазон изменения моментов сил сопротивления технологического процесса можно известными методами обеспечить устойчивую работу механической системы.

$$2nm_1 r_1 e q \dot{\Theta}^2 / \pi * Z; Z = q[1 + q(1-i)/(1+i)]; q=3$$

Список литературы: 1. Леонов А.И. Инерционные автоматические трансформаторы вращающего момента, - М.: Машиностроение, 1978. - 224 с., ил. 2. Куница А.В. Инерционный трансформатор вращающего момента с раздельным использованием импульсов: Дис...канд. техн. наук. - Челябинск, - 1983 г. - 239 с. 3. Куница А.В. Метод теоретического исследования нелинейных механических систем/ Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Т2.- Донецк, ДонГТУ, 1998. - с. 122. 4. Антонов А.С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин. - Л.: Машиностроение, 1975. - 480 с., ил.

## КАНОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИТВМ ОБРАТНОГО ХОДА

Куница А.В. (АДИ ДонГТУ, г. Горловка, Украина)

Knowledge of canonical characteristic of the inertial transformer of revolving moment of reverse stroke permit in common with mechanical of the characteristic of the source energy and by under certain diapason changing moments of power resistance technological of the process ensare stability work of the system.



Применим метод [1] к исследованию ИТВМ обратного хода с инерционно-импульсным механизмом (ИИМ) Хоббса при введомом солнечном колесе. В таком ИТВМ угловая скорость  $\dot{\Psi}$  выходного потока мощности ИТВМ имеет знак минус, который внесём в аналитические зависимости.

Тогда модуль скорости выходного потока обозначим  $\dot{\Psi}_0$ . Математическая модель рассматриваемого ИТВМ имеет вид [2] (символика работы сохранена):

$$\left\{ \begin{array}{l} A\ddot{\Theta} + B\ddot{\Psi}_0 + 0,5A'_\Theta\dot{\Theta}^2 + 0,5A'_\Theta\dot{\Theta}\dot{\Psi}_0 + B'_\Theta\dot{\Psi}^2 = M_q \\ C\ddot{\Psi}_0 + B\ddot{\Theta} + (-0,5A'_\Theta + B'_\Theta)\dot{\Theta}^2 = -M_{3,4} \\ I_4\ddot{\delta} = M_4 - M_{3,4} \end{array} \right.$$

Примем два допущения. Первое допущение: скоростной фактор выходного потока ИИМ мгновенно изменяет своё значение в начале отрицательной фазы [1,3] от 0 до какого-то постоянного значения  $\dot{\Psi}_0$ , а в начале положительной фазы мгновенно становится равным 0.

Второе допущение: исследование ИТВМ проводим для установившихся периодически неравномерных режимов. Тогда членами, содержащими  $\ddot{\Theta}, \ddot{\Psi}_0$  можно пренебречь, а значение частоты  $\dot{\Theta}$  считаем постоянным и равным какому-то среднецикловому её значению.

Оставшиеся члены в правой части двух первых уравнений в дифференциальной форме отражают воздействие ИИМ на источник энергии посредством входного момента  $M_I$  и приёмник энергии посредством выходного момента  $M_{II}$ .

Работу  $W_I$  момента  $M_I = 0,5A'_\Theta\dot{\Theta}^2 + 0,5A'_\Theta\dot{\Theta}\dot{\Psi}_0 + B'_\Theta\dot{\Psi}_0^2$  за цикл найдём как сумму работ  $W_I^* + W_I^{**}$  за положительную и отрицательную фазы.

Работа  $W_I^* = \int_0^\pi M_I d\Theta$ , где  $d\Theta$  - элементарное приращение координаты  $\Theta$  в положительной фазе. Из структуры ИИМ:  $d\Theta = d\varphi/q$ , где  $d\varphi$  - элементарное приращение фазового угла  $\varphi$  грузового звена [2].

Тогда  $W_I^* = A_\Theta\dot{\Theta}^2/q$ , т.к.  $\dot{\Psi}_0 = 0$ . Здесь:  $A_\Theta = A'_\Theta/\sin\varphi$ . Конечное значение угла  $\Theta$  за время положительной фазы равно  $\pi q$ .

$$\text{Работа } W_I^{**} = \int_\pi^{2\pi} M_I d\Theta = -(A_\Theta\dot{\Theta}^3 + 2A_\Theta\dot{\Theta}^2 + 2B_\Theta\dot{\Psi}_0^2)/[q(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)].$$

Здесь:  $d\Theta = \dot{\Theta} d\varphi/[q(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ ,  $B_0 = B'_\Theta/\sin\varphi$ . Конечное значение угла  $\Theta$  за время отрицательной фазы равно:  $\dot{\Theta}\pi/[q(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ .

В итоге  $W_I = W_I^* + W_I^{**} = -\dot{\Theta}\dot{\Psi}_0(A_\Theta\dot{\Theta} + 2B_\Theta\dot{\Psi}_0)/[q(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$  и суммарное значение входного угла  $\Theta = \pi(2\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)/[q(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ . Отсюда найдём интегральное выражение входного момента ИИМ:

$M_I = W_I'/\Theta = -\dot{\Theta}\dot{\Psi}_0(A_\Theta\dot{\Theta} + 2B_\Theta\dot{\Psi}_0)/[\pi(2\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ . Полученная зависимость определяет диапазон загрузки источника энергии при различных  $\dot{\Theta}$  и  $\dot{\Psi}_0$ .

Работу  $W_2$  выходного момента  $M_2 = (B'_\Theta - 0,5A'_\Theta)\dot{\Theta}^2$  за цикл определим как:  $W_2 = W_2^* + W_2^{**}$ . Принятое первое допущение позволяет найти  $W_2^{**}$  через изменение кинетической энергии  $\Delta T$  за цикл. Учитываем только переменные составляющие членов кинетической энергии. Тогда  $\Delta T = \Delta T^* - \Delta T^{**}$ , где  $\Delta T^*, \Delta T^{**}$  - изменение кинетической энергии в положительной и отрицательной фазах цикла. Отсюда  $\Delta T^* = \int_0^\pi T^* d\varphi$ , где  $T^* = 0,5A_\Theta\dot{\Theta}^2 \cos\varphi/q$ .

Тогда  $\Delta T^* = A_\Theta\dot{\Theta}^2/q$ .

Выражение

$$\Delta T^{**} = \int_\pi^{2\pi} (0,5A_\Theta\dot{\Theta}^2 + B_0\dot{\Theta}\dot{\Psi}_0) \cos\varphi d\varphi/q = (A_\Theta\dot{\Theta}^2 + 2B_\Theta\dot{\Theta}\dot{\Psi}_0)/q. \text{ Поэтому}$$

$$W_2^* = \Delta T = 2B_\Theta\dot{\Theta}\dot{\Psi}_0/q.$$

Работу  $W_2^{**}$  найдём как:  $W_2^{**} = \int_\pi^{2\pi} M_2 d\Psi_0$ , где  $d\Psi_0$  - элементарный

угол выходного потока в отрицательной фазе:  $d\Psi_0 = -\dot{\Psi}_0 d\varphi/[q(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ .

Тогда  $W_2^{**} = -(2B_\Theta - A_\Theta)\dot{\Theta}^2\dot{\Psi}_0/[q(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ . В итоге  $W_{II} = W_2^* + W_2^{**} =$

$= \ddot{\Psi}_0 (A_\Theta \ddot{\Theta} + 2B_\Theta \dot{\Psi}_0) / [q(\ddot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ . Суммарное значение угла  $\Psi_0$  выходного потока равно:  $\Psi_0 = \pi \dot{\Psi}_0 / [q(\ddot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ .

Откуда  $M_{II} = W_{II} / \dot{\Psi}_0 = -\ddot{\Theta} (A_\Theta \ddot{\Theta} + 2B_\Theta \dot{\Psi}_0) / \pi$ .

В выражения  $M_I$  и  $M_{II}$  входит скорость  $\dot{\Psi}_0$ , выражение которой найдём связав со скоростью  $\dot{\delta}$  выходного потока ИТВМ. Для этого воспользуемся характеристикой узловой упругой точки [3], которая имеет вид:  $\Psi_0 = \delta$ , где  $\delta$  - угол поворота наружной обоймы МСХ за цикл. Время продолжительности первой фазы:  $t' = \pi / q \ddot{\Theta}$ , а время  $t''$  продолжительности отрицательной фазы:  $t'' = \pi \dot{\Psi}_0 / [q(\ddot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ .

Поэтому  $\Psi_0 = \dot{\Psi}_0 t'' = \pi \dot{\Psi}_0 / [q(\ddot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ , а

$\delta = \delta(t' + t'') = \dot{\delta} \pi (2 \ddot{\Theta} + \dot{\Psi}_0) / [q(\ddot{\Theta} + \dot{\Psi}_0)]$ . Приравняв  $\Psi_0$  и  $\delta$ , найдём, что  $\dot{\Psi}_0 / \ddot{\Theta} = (2 \dot{\delta} / \ddot{\Theta}) / (1 + \dot{\delta} / \ddot{\Theta})$ . В теории бесступенчатых передач отношение  $\dot{\delta} / \ddot{\Theta} = i_0$  принято называть передаточным числом. Вынося в выражениях

$M_I$  и  $M_{II}$   $\ddot{\Theta}$ , подставляя  $i_0$  и параметры ИИМ в коэффициенты  $A_\Theta$  и  $B_\Theta$ , окончательно получим выражение для  $M_I$  и  $M_{II}$ .

$$M_{II} = -2nm_{1p}r_1eq\ddot{\Theta} [1 + q(1+i_0)/(1-i_0)] / \pi, \text{ а}$$

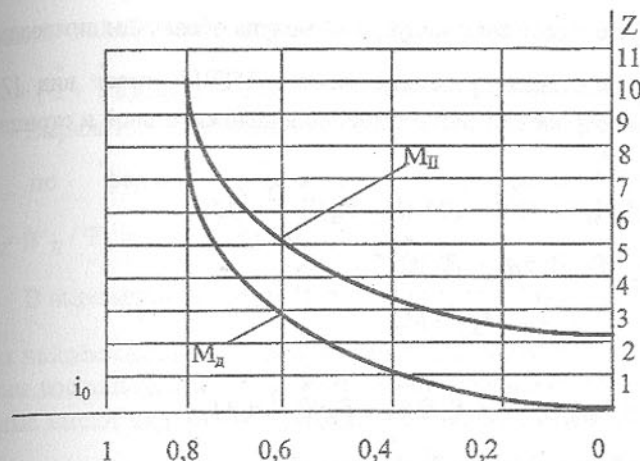
$$M_I = -2nm_{1p}r_1eq\ddot{\Theta} [1 + q(1+i_0)/(1-i_0)]i_0 / \pi. \text{ При этом } M_I = -M_\delta.$$

Зависимости позволяют построить каноническую характеристику ИТВМ обратного хода, у которого диапазон загрузки источника энергии значительно больше чем для ИТВМ прямого хода, а режим динамической муфты невозможен.

Имея каноническую характеристику ИТВМ, механическую характеристику источника энергии и зная диапазон изменения моментов сил сопротивления технологического процесса можно известными методами обеспечить устойчивую работу механической системы.

$$2nm_{1p}r_1eq\ddot{\Theta} / \pi^*Z; \text{ Для } M_{II} \quad Z = q[1 + q(1+i_0)/(1-i_0)]; \quad q=1$$

$$\text{Для } M_\delta \quad Z = q[1 + q(1+i_0)/(1-i_0)]i_0;$$



Список литературы: 1. Леонов А.И. Инерционные автоматические трансформаторы вращающего момента, - М.: Машиностроение, 1978. - 224 с., ил. 2. Куница А.В. Инерционный трансформатор вращающего момента с раздельным использованием импульсов: Дис...канд. техн. наук. - Челябинск, - 1983 г. - 239 с. 3. Куница А.В. Метод теоретического исследования нелинейных механических систем/ Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Т2 - Донецк, ДонГТУ, 1998. - с. 122. 4. Антонов А.С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин. - Л.: Машиностроение, 1975. - 480 с., ил.

## КАНОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИТВМ СМЕШАННОГО ХОДА

Куница А.В. (АДИ ДонГТУ, г. Горловка, Украина)

*Knowledge of canonical characteristic of the inertial transformer of revolving moment of mixed stroke permit in common with mechanical of the characteristic of the source energy and by under certain diapason changing moments of power resistance technological of the process ensare stability work of the system.*

Применим метод [1] к исследованию ИТВМ смешанного хода с инерционно-импульсным механизмом (ИИМ) Хоббса при введомом солнечном колесе. В таком ИТВМ угловая скорость выходного потока мощности ИТВМ в положительной фазе имеет знак плюс и обозначена символом  $\dot{\Psi}$ , а

в отрицательной фазе имеет знак минус, а её модуль обозначим символом  $\dot{\Psi}_o$ . Математическая модель рассматриваемого ИТВМ имеет вид [2] (символика работы сохранена): соответственно в положительной и отрицательной фазах:

$$\left\{ \begin{array}{l} A\ddot{\Theta} - B\ddot{\Psi} + 0,5 A'_\Theta (\dot{\Theta} - \dot{\Psi})^2 - (0,5 A'_\Theta - B'_\Theta) \dot{\Psi}^2 = M_d \\ C\ddot{\Psi} - B\ddot{\Theta} + (0,5 A'_\Theta - B'_\Theta) \dot{\Theta}^2 = -M_{3,5} \\ I_5 \ddot{\varepsilon} = M_{3,5} - M_5 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A\ddot{\Theta} + B\ddot{\Psi}_o + 0,5 A'_\Theta \dot{\Theta}^2 + 0,5 A'_\Theta \dot{\Theta} \dot{\Psi}_o + B'_\Theta \dot{\Psi}^2 = M_d \\ C\ddot{\Psi}_o + B\ddot{\Theta} + (-0,5 A'_\Theta + B'_\Theta) \dot{\Theta}^2 = -M_{3,4} \\ I_4 \ddot{\delta} = M_4 - M_{3,4} \end{array} \right\}$$

Примем два допущения. Первое допущение: скоростной фактор выходного потока ИИМ мгновенно изменяет своё значение в начале отрицательной фазы [1,3] от  $\dot{\Psi}$  до  $\dot{\Psi}_o$ , а в начале положительной фазы от  $\dot{\Psi}_o$  до  $\dot{\Psi}$ .

Второе допущение: исследование ИТВМ проводим для установившихся периодически неравномерных режимов. Тогда членами, содержащими  $\ddot{\Theta}$ ,  $\ddot{\Psi}_o$ ,  $\ddot{\Psi}$  можно пренебречь, а значение частоты  $\dot{\Theta}$  считаем постоянным и равным какому-то среднецикловоому её значению.

Оставшиеся члены в правых частях двух первых уравнений в дифференциальной форме отражают воздействие ИИМ на источник энергии посредством входного момента  $M_I$  и приёмник энергии посредством выходных моментов  $M_\Pi$  и  $M_o$ , соответственно в положительной и отрицательной фазах.

Работу  $W_I$  входного потока мощности найдём как сумму соответствующих работ ИТВМ прямого и обратного ходов [4, 5]. В итоге получим:  $W_I = (\dot{\Psi} + \dot{\Psi}_o) [A_\Theta \dot{\Theta}^2 + 2B_\Theta (\dot{\Theta} \dot{\Psi}_o - \dot{\Theta} \dot{\Psi} - \dot{\Psi} \dot{\Psi}_o)] / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o)]$ . Значение входного угла  $\Theta$  определим аналогично как сумму углов фаз [4, 5] и после преобразований получим:  $\Theta = \dot{\Theta} \pi (2\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o - \dot{\Psi}) / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o)]$ .

Отсюда найдём интегральное выражение входного момента  $M_I$  ИИМ:

$$M_I = (\dot{\Psi} + \dot{\Psi}_o) [A_\Theta \dot{\Theta}^2 + 2B_\Theta (\dot{\Theta} \dot{\Psi}_o - \dot{\Theta} \dot{\Psi} - \dot{\Psi} \dot{\Psi}_o)] / [q \pi (2\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o - \dot{\Psi})].$$

Выражения выходных моментов  $M_\Pi$  и  $M_o$  определены в работах [4, 5] и по форме имеют вид:  $M_\Pi = W_\Pi / \Psi = \dot{\Theta} (A_\Theta \dot{\Theta} - 2B_\Theta \dot{\Psi}) / \pi$ ,  $M_o = W_o / \Psi_o = -\dot{\Theta} (A_\Theta \dot{\Theta} + 2B_\Theta \dot{\Psi}_o) / \pi$ .

В выражения  $M_b$ ,  $M_\Pi$  и  $M_o$  входят скорости  $\dot{\Psi}$  и  $\dot{\Psi}_o$ , выражение которых найдём связав их со скоростями  $\varepsilon$  и  $\delta$  выходных потоков ИТВМ. Для этого воспользуемся характеристиками узловых упругих точек [4,5], которые имеют вид  $\Psi = \varepsilon$  и  $\Psi_o = \delta$ , где  $\varepsilon$  и  $\delta$  - углы поворота наружных обойм МСХ за цикл. Время  $t$  продолжительности первой фазы:  $t' = \pi / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ , а время  $t''$  отрицательной фазы  $t'' = \pi / [q(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o)]$ .

Поэтому:  $\Psi = \dot{\Psi} t' = \pi \dot{\Psi} / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})]$ ;  $\Psi_o = \pi \dot{\Psi}_o / [q(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o)]$ ;

$$\varepsilon = \varepsilon(t'' + t') = \pi \dot{\varepsilon} (2\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o - \dot{\Psi}) / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o)];$$

$\delta = \delta(t'' + t') = \pi \dot{\delta} (2\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o - \dot{\Psi}) / [q(\dot{\Theta} - \dot{\Psi})(\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o)]$ . Приняв  $\Psi = \varepsilon$  и  $\Psi_o = \delta$ , выполнив преобразования, получим:

$$\dot{\Psi} / \dot{\Theta} = (2\dot{\varepsilon} / \dot{\Theta}) (1 - \dot{\varepsilon} / \dot{\Theta}) / [1 + \dot{\delta} / \dot{\Theta} - (\dot{\varepsilon} / \dot{\Theta})^2 - \dot{\varepsilon} \dot{\delta} / \dot{\Theta}^2];$$

$$\dot{\Psi}_o / \dot{\Theta} = (2\dot{\delta} / \dot{\Theta}) / (1 - \dot{\delta} / \dot{\Theta} - \dot{\varepsilon} / \dot{\Theta}). \text{ Обозначим } \dot{\varepsilon} / \dot{\Theta} = i, \dot{\delta} / \dot{\Theta} = i_o. \text{ Вынося в вы-}$$

ражениях  $M_I$ ,  $M_\Pi$  и  $M_o$   $\dot{\Theta}^2$ , выполняя преобразования и подставляя в коэффициенты  $A_\Theta$  и  $B_\Theta$  параметры ИИМ, получим:

$$M_I = 2nm_r r_1 eq \frac{\dot{\Theta}^2 (\dot{\Psi} / \dot{\Theta} + \dot{\Psi}_o / \dot{\Theta})}{\pi (2 + \dot{\Psi}_o / \dot{\Theta} - \dot{\Psi} / \dot{\Theta})} [1 + q(1 + \dot{\Psi}_o / \dot{\Theta} - \dot{\Psi} / \dot{\Theta} - \dot{\Psi} \dot{\Psi}_o / \dot{\Theta}^2)];$$

$$M_\Pi = 2nm_r r_1 eq \dot{\Theta}^2 / \pi [1 + q(1 - \dot{\Psi} / \dot{\Theta})];$$

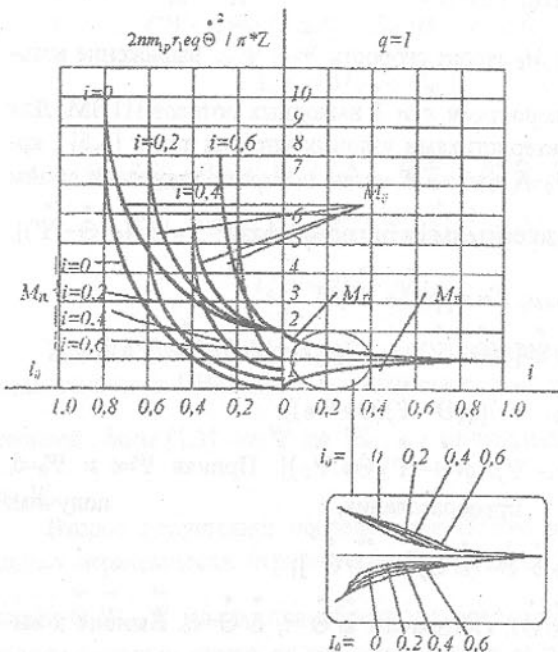
$$M_o = -2nm_r r_1 eq \dot{\Theta}^2 / \pi [1 + q(1 + \dot{\Psi}_o / \dot{\Theta})]$$



Подставлять выражения  $\dot{\Psi}/\dot{\Theta}$ ,  $\dot{\Psi}_0/\dot{\Theta}$  через  $i$  и  $i_0$  в данные зависимости нецелесообразно, т.к. упрощений не получается, а выражения становятся значительно громоздче. Преобразования отношения

$$(\dot{\Psi}/\dot{\Theta} + \dot{\Psi}_0/\dot{\Theta}) / (2 + \dot{\Psi}_0/\dot{\Theta} - \dot{\Psi}/\dot{\Theta}) \text{ приводят его к виду } i + i_0.$$

Полученные зависимости позволяют построить каноническую характеристику ИТВМ смешанного хода с ИИМ Хоббса при ведомой солнечной шестерне, которая имеет вид: (см. рис.) Как видно из канонической характеристики



ИТВМ смешанного хода существенно расширяет преобразующие свойства инерционных трансформаторов, хотя диапазон передаточных чисел обратного хода значительно меньше диапазона передаточных чисел прямого хода.

Имея каноническую характеристику ИТВМ, механическую характеристику источника энергии и зная диапазон изменения и соотношения моментов сил сопротивления технологического процесса на двух рабочих органах машинного агрегата можно известными методами обеспечить устойчивую работу нелинейной механической системы, обладающей как внутренней, органически присущими ей автоматичностью и бесступенчатостью, так и необходимыми связями между двумя рабочими органами, которые обеспечивают наиболее эффективное протекание существующего технологического процесса, создание новых, более прогрессивных и энергосберегающих, технологий.

**Список литературы:** 1. Куница А.В. Метод теоретического исследования нелинейных механических систем/ Машиностроение и техносфера

на рубеже XXI века. Т2. - Донецк, ДонГТУ, 1998. - с. 122. 2. Куница А.В. Инерционный трансформатор вращающего момента с отдельным использованием импульсов: Дис...канд. техн. наук. - Челябинск, - 1983 г. - 239 с. 3. Антонов А.С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин. - Л.: Машиностроение, 1975. - 480 с., ил. 4. Куница А.В. Каноническая характеристика ИТВМ прямого хода/ Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. - Донецк, ДонГТУ, 1998. Т2. - с. 126. 5. Куница А.В. Каноническая характеристика ИТВМ обратного хода/ Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Т2. - Донецк, ДонГТУ, 1998. - с. 129.

## НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Купченко Г.В., Майонов А.В., Поко О.А.  
(ФТИНАНБ, г. Минск, Беларусь)

*The properties and possible application of the eutectic compost's on Ni- Cr-Al base alloys have been described. The method are widely used for the targest regeneration of pure aluminum and aluminum base alloys. Technique are being used to produce the targets for an electronic industries of Belarus.*

Метод кристаллизации сплавов, заключающийся в контролируемом направленном затвердевании слитка, разработан в середине семидесятых годов. Широкое применение направленная кристаллизация (НК) нашла при производстве монокристаллов и изделий из жаропрочных сплавов ввиду возможности получать отливки сложной формы со столбчатыми зёрнами, вытянутыми вдоль оси напряжений, возникающих при эксплуатации и, тем самым повысить прочностные свойства материала.

В ФТИ НАН Б в течение ряда лет проводились работы по созданию методом НК так называемых «естественных композитов» - эвтектик на базе системы Ni-Cr-Al с анизотропной структурой. Выбор указанной системы обоснован наличием в ней моновариантных эвтектических превращений и возможностью варьировать количество Cr и Al в широких пределах. Разработана серия НК эвтектик различных систем легирования, которые как по жаростойкости, так и по коррозионной стойкости превосходят промышленный сплав ЭП539ЛМ.

Композиционный материал НИХРАЛЬ 73, легированный танталом, рекомендован для изготовления сопловых лопаток судовых ГТД. Их использование связано с теми преимуществами, которые получают при по-

вышении на 100 °С температуры газа на входе в турбину, а именно: повышение к.п.д. на 20%, увеличение тяги от 5 до 20%, экономия топлива от 15 до 40 %. Отличительной особенностью сплавов типа НИХРАЛЬ является высокая жаро- и коррозионная стойкость, обеспечиваемая повышенным содержанием алюминия (9-11 масс.%) и хрома (15-20 масс. %). Направленная кристаллизация формирует композиционную структуру, которая в сочетании с термообработкой обеспечивает достижение в композите следующих свойств: сточасовую длительную прочность при 900 °С более 260 МПа а, при 950 °С более 200 МПа, при 1000 °С более 140 МПа. При пониженной плотности  $(7,6-7,8)10^3 \text{ кг/м}^3$  эти характеристики позволяют повысить температуру на материале рабочей лопатки до 950 °С, сопловой - 1000 °С. Методом направленной кристаллизации полнена партия сопловых лопаток судовых газотурбинных двигателей, успешно прошедших испытания на СПБ «Машпроект» (г. Николаев) продолжительностью 500 часов в составе газогенератора.

В последние годы нами развёрнуты работы по адаптации метода направленной кристаллизации к получению изделий для электронной промышленности.

Недостатком технологии магнетронного распыления является низкий коэффициент использования материала мишени, составляющей лишь 30% её массы. Если учесть, что дорогостоящий особочистый алюминий и сплавы на его основе поставляются из-за пределов Беларуси, то переработка остатков мишеней и получение новых, не уступающих по качеству первичным, обеспечивает существенный ресурсосберегающий эффект.

К мишеням предъявляются высокие требования по чистоте, однородности состава, отсутствию пористости, трещин, газовых пузырей. Использование методов обычного литья приводит к получению в отливке междендритной пористости, пустот и раковин. Поэтому полученные заготовки в дальнейшем подвергаются пластической деформации. Переплав и разливка только в вакууме также не обеспечивает получение бездефектной мишени. Поэтому для регенерации остатков мишеней весьма приемлемым оказалось совмещение методов точного литья с направленной кристаллизацией. Перемещение в кристаллизующейся мишени границы раздела жидкое-твёрдое вдоль изделия позволяет устранить междендритную пористость, раковины и пустоты. В результате проявления гравитационных эффектов и перемещения фронта кристаллизации происходит отеснение примесей, оксидных и неметаллических включений в верхнюю отрезаемую часть прибыли. Заготовка мишени получается необходимой чистоты, плотной, бездефектной и не требует дальнейшей пластической деформации.

Плавка, разливка в графитовый кокиль и направленная кристаллизация осуществляются в вакуумной печи ИФВ 0,01.

Налажено серийное производство регенерированных мишеней для крупнейших предприятий электронной промышленности Беларуси - НПО «Интеграл» и завода «Транзистор» -- из алюминия А995, А999, сплавов ЛК1, АК1,5 и АК1М0,5. Внедрение технологии регенерации отработанных мишеней позволило использовать для получения новых качественных катодов металл, ранее отправлявшийся в отходы, и, таким образом довести коэффициент использования высокочистого алюминия и сплавов на его основе до 85-90 %.

Начать работы по использованию метода направленной кристаллизации для получения полуфабрикатов из драгоценных металлов для ювелирной промышленности. При этом реализуется одно из основных преимуществ метода - возможность получения компактных, бездефектных слитков, что в дальнейшем позволяет повысить выход годной продукции (в частности, изделий из серебра) с 8 до 50-70 %.

### ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЗА СЧЕТ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНВЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Курбанов Х.К. (Туркменский политехнический институт,  
г. Ашхабад, Туркменистан)

*The main goal of this work is to create the elements of high-effective heat engineering generators' devices for decrease of a leaving gases, that is for a deeper use of leaving gases' heat, and for a decrease of fuel and electroenergy's losses.*

Вопросы развития энергетики, экономии топливно-энергетических ресурсов, совершенствования технологических процессов производства, передачи и использования тепловой и электрической энергии и проблемы защиты окружающей среды при производстве тепловой энергии всегда играли ведущую роль в развитии народного хозяйства.

Основным резервом в снижении удельных расходов топлива на единицу производимого тепла является повышение КПД котлов за счет более полного использования тепла отходящих газов и более полного сжигания топлива в теплогенераторах. Главную роль в решении этой проблемы должны сыграть воздухоподогреватели, обеспечивающие с одной стороны

более полное использование тепла уходящих газов, а с другой-за счет подачи воздуха для горения с более высокими температурами.

Создание элементов высокоэффективного теплотехнического оборудования промышленно-отопительных котельных для снижения температуры уходящих, т.е. более глубокого использования теплоты уходящих газов, снижение потерь топлива и электроэнергии за счет рационализации процесса сжигания и изменение конструкции газоходов котла способствует уменьшению загрязнения окружающей среды.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- a) анализ работы и оценка совершенства эксплуатируемого оборудования котельных, разработка рекомендаций по его совершенствованию, поиски путей, исследование и разработка новых конвективных поверхностей нагрева;
- b) разработка на базе выполненных исследований методик расчета, конструкторские проработки предложенных новых элементов теплотехнического оборудования, выдача рекомендации по применению, внедрение и опробывание их работоспособности в промышленных условиях, оценка их экономической и экологической эффективности.

На базе проведенного комплекса исследований разработаны и успешно опробованы новые и усовершенствованы старые конструкции различных теплообменных элементов энергетической установки.

Опытное применение разработанных полупромышленных и промышленных установок подтвердило их надежность, эффективность и возможность достижения высоких технико-экономических показателей источников теплоснабжения.

В странах СНГ теплоснабжение развивалось в основном по трем направлениям: печное отопление, децентрализованное, теплоснабжение от домовых или квартальных котельных, централизованное теплоснабжение от ТЭЦ или крупных теплостанций.

Большая потребность в котлах относительно небольшой мощности для квартальных котельных дала толчок интенсивному росту в различных районах машиностроительных предприятий, проектирующих и изготавливающих котлы малой теплопроизводительности. Однако немногие из них имели высокие теплотехнические показатели. В настоящее время в эксплуатации находится большое число промышленно-отопительных котлов, среди них однако количество обладающих оригинальностью и новизной конструкции не очень велико.

Именно поэтому была поставлена задача исследования, разработка методики расчета, проектирование и внедрение простых по конструкции, технологичных в изготовлении, достаточно эффективных в эксплуатации

конвективных поверхностей нагрева (экономайзеры и воздухоподогреватели).

В связи с этим была разработана, изготовлена и использовалась в исследовании крупная аэродинамическая труба для более глубокого изучения всех явлений, происходящих в пучке труб при использовании плоских перегородок (турбулизаторов).

Установка (рис.1) представляла собой аэродинамическую трубу прямоугольного сечения. Нагреваемый воздух забирался из атмосферы по воздуховоду 2 во внутренние полости пучка труб. Нагретый воздух отсасывался вентилятором 7 и выбрасывался в атмосферу. Нагревающая среда (воздух) забиралась из атмосферы и, пройдя нагреватель 12, обтекала снаружи пучок труб, пройдя по воздуховоду 1.

Охлажденный воздух забирался вентилятором и сбрасывался в атмосферу. Таким образом, аэродинамическая труба работала по разомкнутому циклу. Перед началом серийных опытов были проведены наладочные опыты по исследованию традиционного пучка труб при поперечном и продольном его омывании воздухом. Результаты наладки показали, что полученные данные хорошо совпадают с нормативными и экспериментальными. Это убедило в качестве работы экспериментальной установки. Эксперименты проводились при установившемся стационарном тепловом режиме.

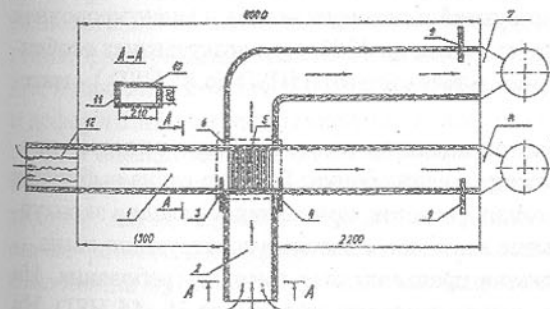


Рис.1.

При обобщении экспериментальных данных значения физических свойств воздуха принимались по справочным данным. Турбулизация потока осуществлялась перегородками, установленными до, в центре и после пучка.

Измерение характеристик теплообмена пучков труб осуществлялось в экспериментальных газоходах сечениями  $0.12 \times 0.21 \text{ м}$  ( $120 \times 210 \text{ мм}$ ). Рабочий участок был установлен на расстоянии 1.5 метра от входа в трубу представляет собой омываемый двенадцатирядный трубный пучок, собранный из гладких металлических трубок.

Список литературы: 1. Курбанов Х.К., Пермяков Б.А., Сугиров Д.У. Исследование влияния перегородки, установленной за пучком теплооб-



менных труб на теплообмен и аэродинамику./ Изв.АН ТССР Сер. физ.-технических, химических, геологических наук, 1991 год, стр. 104-108. 2. Курбанов Х.К. Эффективность применения турбулизирующих перегородок для интенсификации теплообмена на конвективных поверхностях источников теплоснабжения. /Изв.АНТ. Сер. физ.-технических, химических, геологических наук, 1995 год, N 4.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ НАКАТЫВАНИИ

Кухтик Т.В., Решетняк В.В. (ДИТМ МНТУ, г. Краматорск, Украина)

*The outcomes of operations on use of electrotechnological methods are stated at processing of details of heavy engineering. The optimal modes of an electro-mechanical and electromagnetic turning, milling, planing and rolling are reduced.*

За последние годы для производства тонких листов созданы высокоскоростные непрерывные станы, скорость прокатки достигает 25-30 м/сек.

Многообразие типов станов в сочетании с широким сортаментом холоднокатанных полос и особенностями технологии прокатки приводит к большому числу типов, конструкций и размеров валков. Ориентировочная разбивка валков по диаметру (от 100мм до 1200мм): характеризует особенности технологии изготовления, а твердость (от 35HSD до 85 HSD) - материал валков.

Основными параметрами, определяющими габаритные размеры прокатного валка, являются диаметр и длина бочки. Диаметр валка выбирают по результатам соответствующих расчетов, при которых условия эксплуатации, материал, максимальные давления, обжатия и конструкцию стана.

К валкам холодной прокатки предъявляются высокие требования. На поверхности бочки рабочих валков твердость высокая от 35...55 HSD. На рабочих поверхностях валков по условиям работы не допускаются неметаллические включения, трещины, шлифовочные трещины и другие поверхностные дефекты, которые могут вызвать разрушение валка.

Рабочие валки изготавливаются цельнокованными, опорные же валки выполняются как цельнокованными, так и составными. Для изготовления валков холодной прокатки обычно используют высокоуглеродистые легированные стали марок 9Х и 9ХФ.

Изготовление валков - сложный процесс с большим количеством технологических операций. Многолетняя практика выработала ряд специфических приемов производства, общих для всех заводов.

Технология производства валков складывается из двух основных циклов, определяющих качество валков: металлургического и механического. Основными операциями металлургического цикла являются выплавка и разливка стали, ковка и предварительная термическая обработка заготовок, окончательная термическая обработка заготовок. Цикл механической обработки включает токарные, сверлильные, фрезерные, расточные, шлифовальные и слесарные операции. В процессе всех операций обработки происходит формирование свойств рабочих поверхностных слоев валка.

Существующая технология изготовления деталей прокатного оборудования включают в себя большой объем термических операций для стабилизации остаточных напряжений, что в 2-3 раза увеличивает технологический цикл изготовления этих деталей. Существующие методы стабилизации остаточных напряжений, такие как термообработка, виброобработка применяются на заготовительном и черновом этапе обработки, тогда как стабилизация остаточных напряжений происходит и после чистовой обработки. Это приводит к росту остаточных деформаций и в результате - к короблению детали перед сборкой. С целью устранения вредного влияния коробления в процессе сборки выполняются доводочно - пригоночные работы, которые составляют до 40% общей трудоемкости сборки. В этой связи применение в тяжелом машиностроении комбинированных электро-технологических методов, таких как электромеханическое точение, строгание, фрезерование, накатывание электромагнитное точение, фрезерование и накатывание решит проблему стабилизации остаточных напряжений и деформаций по всему технологическому циклу обработки деталей.

Для исследования точности обработки прокатных валков была обработана партия в количестве 16 штук. На валках имелись контрольные пояски, которые перед черновой обработкой были шлифованы, имели наклеенные розетки тензодатчиков на поверхностях шеек валков. Изменения отклонений от точности формы валков проводились в поперечном и продольном сечениях. Обработка валков осуществлялась поэтапно:

- черновое электромеханическое точение  $S = 2.4$  мм/об,  $t = 35$  мм,

$V = 35$  м/мин,  $I = 50$  А;

- чистовая обработка,

- отделочная обработка (электромагнитное накатывание)

$S = 1,2$  мм/об,

$P = 300$  Н,  $V = 60$  м/мин,  $H = 800$  кА/мм.

Для обеспечения точности изготовления прокатных валков разработана новая технология с использованием электротехнологических методов обработки (электромеханическое точение и накатывание) и технологиче-

ская оснастка для механических цехов N 3 и N 5 ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод» и цеха N 8 Ижорского металлургического завода.

Анализ точности изготовления прокатных валков показал, что после обдирки отклонения точности формы бочки и шеек валка превышают поля допуска на размер.

При применении электротехнологических методов обработки микротвердость увеличивается на 20-30%, шероховатость уменьшается до 0,32-0,16.

Применение электротехнологических методов обработки позволяет уменьшить силы резания, что приводит к повышению стойкости инструмента в 2-4 раза, а также повышению производительности процесса резания в 1.5-2 раза и экономит материальные и энергоресурсы на 50-80 %.

Станкостроительное производственное объединение «Краматорский завод тяжелого станкостроения» освоил выпуск тяжелых токарных станков для электромеханического точения прокатных валков и других деталей тел вращения.

## К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Кухтик Т.В., Соломко Т.Ю.  
(ДГМА, ДИТМ МНТУ, г. Краматорск, Украина)

*One of the main problems of increasing the producing parts quality is connected with their warp. This problem is connected with the methods of machining allowances determination. While making such machining allowances determination we recommend to count the value of the warp according to the formula.*

Обеспечение требуемой точности изготовления деталей тяжелого машиностроения неразрывно связано с устранением вредного воздействия остаточных напряжений.

При механической обработке деталей, в результате удаления припусков, равновесие остаточных напряжений нарушается по всему объему. Приведение системы в равновесное состояние сопровождается искажением формы детали, т.е. ее короблением, причем этот процесс в зависимости от формы, размеров детали, материала и других факторов продолжается от нескольких десятков до сотен, а иногда и тысяч часов.

Корпусные детали представляют собой наиболее распространенную группу деталей в тяжелом машиностроении. Установлено, что к корпусным деталям предъявляются наиболее высокие требования к точности формы и взаимного расположения поверхностей.

Необходимость исследования припусков на обработку и их влияния на точность обработки корпусных деталей была вызвана низким качеством их изготовления в тяжелом машиностроении, отчего пригоночные работы превышают остальные виды сборочных операций.

Таким образом, одной из основных проблем повышения качества изготовления деталей, связанного с их короблением, является совершенствование методов расчета припусков на обработку поверхностей.

Одним из методов расчета припуска, широко используемом в настоящее время, является метод профессора В.М. Кована.

Согласно этому методу формула для расчета одностороннего припуска на обработку плоских поверхностей имеет вид:

$$Z_i = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \varepsilon_i + \rho_{i-1},$$

где  $Rz$  — составляющая припуска, характеризующая высоту микронеровностей, полученных при обработке поверхности детали на предшествующем переходе, мкм;

$T$  — составляющая припуска, характеризующая глубину дефектного слоя, полученного на предшествующем переходе, мкм;

$\varepsilon$  — составляющая припуска, характеризующая погрешность установки заготовки на выполняемом переходе, мкм;

$\rho$  — составляющая припуска, характеризующая значение пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей, оставшихся после предшествующего перехода, мкм.

При базировании отливок на плоскость значение  $\rho$  равно величине коробления ( $\rho = f_{кор}$ ). Рекомендуется в формуле для расчета припусков на обработку корпусных деталей величину коробления рассчитывать по формуле:

$$f = k \frac{K_1 \Delta t \alpha \beta (4d^2 - 3e(2d - e)) S_y L^2}{6 \lambda d l_x},$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности;

$\Delta t$  — разность между температурой начала остывания заготовки и температурой окружающей среды;

$\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;

$\beta$  — коэффициент температурного расширения;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности;

$d$  — половина толщины детали;

$e$  - величина удаляемого припуска;  
 $L$  - длина детали;  
 $S_y$  - статический момент площади удаленного припуска;  
 $I_x$  - момент инерции.

Предложенная методика расчета припусков позволяет значительно повысить точность обработки и снизить трудоемкость за счет сокращения пригоночных операций.

## СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ СБОРКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОКАЛЬНОГО НАГРЕВА ДЕТАЛЕЙ

Куцын А.Н., Гапонов А.С. (УИПА, г. Харьков, Украина)

*The local heating of the detail for the following assembly is examined. It is shown that a distribution of temperatures in the disc of constant thickness dose not saves energy. The possible size of saving is giving on the example of heating of the hub of a weell.*

Ответственные соединения с натягом - колесные пары рельсового транспорта, маховики, шестерни редукторов и др. собирают с использованием термовоздействия (после предварительного нагрева охватываемой детали или охлаждения охватывающей), поскольку такой способ образования соединений повышает их прочность по сравнению с запрессовкой в 2 - 2.3 раза [1]. Однако эта технология энергозатратна, что сказывается на стоимости собираемого изделия.

Если соединение крупногабаритное, то можно ограничиться локальным нагревом, то есть нагревать только зону посадочного отверстия - ступицу, что позволяет снизить расход энергии [2]. Однако местный нагрев не всегда приводит к существенному снижению расхода энергии, а в некоторых случаях даже ухудшает качество соединения из-за возникающих недопустимо высоких напряжений в материале детали. Это связано с отсутствием методики расчета локального нагрева. Поэтому для исключения возможного снижения качества соединения обычно ставят эксперименты. Они дорогостоящие, так как связаны с высокотемпературной тензометрией.

Для создания методики расчета режима локального нагрева необходимо решить задачу термоупругости. Предполагается ее решать в следующей постановке: при заданной максимально допустимой температуре нагрева и допустимом напряжении материала найти минимально необходимое количество энергии для достижения заданного расширения  $\Delta = 2\delta$

посадочного отверстия детали сложной формы - осесимметричного диска переменной толщины с центральным отверстием. Состояние материала такого диска в процессе нагрева упругое, т.е. его свойства не зависят от температуры. Иными словами, необходимо найти закон изменения температуры по радиусу диска, при котором обеспечивается перемещение  $\delta$  на радиусе внутренней поверхности и минимизируется энергия.

На нагрев без учета потерь на теплообмен с окружающей средой должно затрачиваться количество энергии:

$$W = 2\pi\rho c \int_{r_1}^{r_2} T(r) r h(r) dr, \quad (1)$$

где  $\rho$  - плотность материала;  $c$  - удельная теплоемкость материала;  $h(r)$  - закон изменения толщины диска по радиусу;  $T(r)$  - закон изменения температуры по радиусу диска;  $r$  - текущее значение радиуса диска;  $r_1$  и  $r_2$  - радиусы внутренней и наружной поверхностей диска.

Функция распределения температуры  $T(r)$  подчиняется ограничениям

$$0 < T(r) \leq [T], \quad (2)$$

где  $[T]$  допустимое значение температуры, определяемое свойствами материала.

В качестве характеристики напряженного состояния используется интенсивность напряжений

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_\theta^2 - \sigma_R \sigma_\theta}, \quad (3)$$

где  $\sigma_R$  - радиальное напряжение,  $\sigma_\theta$  - окружное напряжение.

Ограничение по напряжениям имеет вид:

$$\sigma_i - [\sigma] \leq 0, \quad (4)$$

где  $[\sigma]$  - величина допустимых напряжений, определяемая свойствами материала и возможностями нагревателя;  $\sigma_i$  - интенсивность действующих напряжений.

Варьируя функцией  $T(r)$ , минимизируем (1), удовлетворяя условиям (2) - (4). В рамках данного подхода оказалось возможным оптимизировать нагрев тех профилей дисков, у которых известны аналитические зависимости между количеством тепла, сообщаемого диску, и перемещением  $\delta$  на внутреннем радиусе  $r_1$ .

На нагрев диска постоянной толщины затрачивается энергия

$$W = 2\pi\rho c h \int_{r_1}^{r_2} T(r) r dr, \quad (5)$$

которая обеспечивает перемещение



$$\delta = \frac{r_1 a W}{\pi r c h (r_2^2 - r_1^2)}, \quad (6)$$

где  $h$  - толщина диска.

Таким образом, перемещение на внутреннем радиусе такого диска не зависит от распределения температурного поля, а пропорционально количеству энергии. Следовательно, оптимизация нагрева таких дисков теряет смысл.

Для нагрева диска (рис.1), толщина которого изменяется вдоль радиуса по закону  $h(r) = m/r^n$ , где  $m, n$  - некоторые константы, затрачивается энергия

$$W = 2\pi r c m \int_{r_1}^{r_2} T(r) r^{1-n} dr. \quad (7)$$

Перемещение на внутреннем радиусе диска

$$\delta = \frac{a r_1}{H(c_1 c_2 v_1 r_2)} \int_{r_1}^{r_2} \left[ (c_2 + v)(c_1 + 1) \frac{r_2^{c_2-1}}{r^{c_2}} - (c_1 + v)(c_2 + 1) \frac{r_2^{c_1-1}}{r^{c_1}} \right] T dr, \quad (8)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  постоянные интегрирования, соответственно равные:

$$c_1 = \frac{n}{2} + \sqrt{\frac{n^2}{4} + 1 + m}, \quad c_2 = \frac{n}{2} - \sqrt{\frac{n^2}{4} + 1 + m};$$

$H(c_1; c_2; v; r_1; r_2)$  - некоторая константа, определяемая величинами, стоящими в скобках;  $v$  - коэффициент Пуассона.

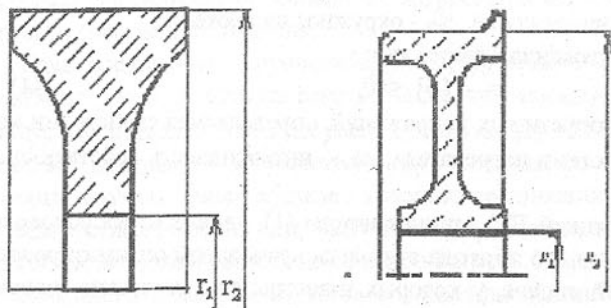


Рис. 1. Диск гиперболического профиля.

Рис. 1. Диск гиперболического профиля.

Для установления степени влияния распределения температурной функции  $T(r)$  на расход энергии при нагреве типичной детали - колеса

Таким образом, связь между перемещением  $\delta$  на внутреннем радиусе и количеством энергии  $W$  неявна и определяется через функцию  $T(r)$ . Оптимизация уравне-

Рис. 2. Колесо тепловоза ТГМ-40.

рельсового транспорта, были проведены эксперименты. Под сборку с осью нагревалась ступица колеса тепловоза ТГМ-40 (рис.2), идеализированное представление которого представлено на рис.3. Требуемое технологическое расширение посадочного отверстия -  $\Delta = 0.25$  мм. Нагрев выполнялся с интенсивностью 67500 дж/сек (1-й режим) и 69375 дж/сек (2-й режим). Необходимое расширение ступицы достигалось при первом режиме за 132 сек., а при втором - за 90 сек. Результаты экспериментов отражены в приведенной ниже таблице:

| № режима | Расширение отверстия ступицы<br>$\Delta$ , мм | Время нагрева<br>$t$ , сек | Максимальная температура<br>$T$ , °C | Интенсивность нагрева<br>Дж/сек | Расход энергии<br>$W$ , Дж | Экономия энергии<br>Дж |
|----------|-----------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1        | 0.25                                          | 132                        | 160                                  | 67500                           | 8910000                    | -                      |
| 2        | 0.25                                          | 90                         | 200                                  | 69375                           | 6243750                    | 2666250                |

На рис.4 приведена зависимость между расширением на внутреннем

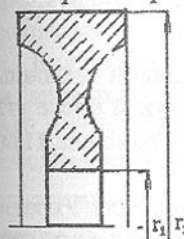


Рис. 3. Приближенное представление колеса тепловоза ТГМ-40 в виде гиперболического профиля.

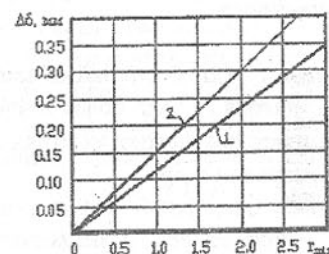


Рис. 4. Расширение внутреннего отверстия ступицы тепловоза ТГМ-40 при разных режимах нагрева 1-первый режим 2-второй режим.

радиусе  $r_1$  и временем нагрева при различных режимах. Из графика видно, что чем больше будет задаваемое расширение

Таким образом, концентрированный нагрев вокруг отверстия ступицы, достигаемый за счет интенсивности, позволяет экономить энергию. В данном случае экономия энергии составила 29%. Здесь, однако, не проверялось напряженно-деформированное состояние материала. Эксперимент лишь показал, что распределение температуры существенно влияет на расход энергии.

**Список литературы** 1. Андреев Г.Я. Тепловая сборка колесных пар. - Издательство Харьковского университета, 1965. - 227 с. 2. Зенкин А.С., Арпентьев Б.М. Сборка неподвижных соединений термическими методами. - М.: Машиностроение, 1987. - 128 с. 3. Тимошенко В.Б., Филиппов А.П. Оптимизация элементов конструкций по механическим характеристикам. - К.: Наукова думка, 1975. - 294 с.

## СОЗДАНИЕ НОВОЙ ПРОГРЕССИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ СОЛЕНЫХ УГЛЕЙ

Кхелуфи А., Белецкий В.С., Сергеев П.В. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*Was considered the problems of creation of new technology of desalting coals of a Novomoskovsk deposit (Western Donbass). By planning experiment's method was obtained a factor model of desalting process. The results of work serve as an experimental basis for studying a mechanism of new process of ennobling of salty coal also can be used for forecasting technological results of process in industrials conditions.*

Солеными называют угли с высокими концентрациями щелочных металлов, в основном, натрия (в золе более 3-4% или в сухой массе угля более 0,4%). Эти угли известны во многих странах мира: Германии, Польше, Украине, США, Австралии и др.

Разведанные запасы этих углей весьма существенны. Для Украины это 25 млрд. т, то есть около 5% всех разведанных запасов. В других странах их доля в энергоресурсах находится в пределах 3-10%.

Прямое использование соленых углей при их сжигании приводит к быстрой коррозии и шлакуемости рабочих поверхностей котла, что обусловлено наличием в угле легкоплавких соединений натрия. Кроме того, сжигание больших масс хлоросодержащего соленого угля приводит к недопустимому загрязнению окружающей среды. Таким образом, проблема переработки соленых углей является актуальной.

В мировой практике, эта проблема решается по разному. Наиболее перспективным решением переработки этих углей является их обессоливание в водной среде. В Государственном Институте минеральных ресурсов Украины (ГИМР, г. Днепропетровск), в Донецком комплексном отделе института ВНИИПИГТ (НПО "Хаймек"), а также в Донецком государственном техническом университете (ДонГТУ) разработаны различные варианты процесса обессоливания угля [1-3]. Причем, во втором варианте он

сочетается с процессом гидротранспорта, а в третьем - с процессом масляной агломерации.

Нами на кафедре "Обогащение полезных ископаемых" ДонГТУ исследован процесс обессоливания соленых углей с помощью планирования эксперимента. Для разработки статистической модели был принят ротатбельный центрально-композиционный план эксперимента, который обеспечивает одинаковую точность модели по всем направлениям гиперпространства при минимальном количестве экспериментов. Функция отклика - остаточное содержание  $Na_2O$  в угле, которая определялось косвенным ионометрическим методом с использованием иономера ИИ15 М.

Основной целью моделирования было получение статистической модели, включающей, во - первых, основные факторы, влияющие на процесс, выделенные ранее (ГИМР) и НПО "Хаймек" и, фактор омасливания угля по технологии ДонГТУ (расход реагента для омасливания -  $Q_1$ ).

Объектом исследования служил уголь пласта  $C_{12}$  Новомосковского месторождения Западного Донбасса. Содержание  $Na_2O$  в этом угле составило 0,9%. Зольность - 20%. Уголь перед обессоливанием предварительно омасливался по предложенной нами технологии [3].

Был проведен полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа  $2^4$ . Исходя из априорной информации, полученной нами, а также в исследованиях ГИМР и НПО "Хаймек", основными факторами, влияющими на процесс обессоливания угля промывкой в водной среде являются продолжительность промывки  $\tau_0$ ; плотность пульпы  $\rho_n$ ; частота вращения импеллера  $n_n$ ; и расход связующего  $Q_1$ . В качестве омасливающего агента использован композиционный реагент на основе топочного мазута марки М100 и флотореагента ААР-1. Кодирование факторов и уровни их варьирования представлены в таблице.

Таблица - Кодирование и уровни их варьирования факторов при изучении процесса обессоливания соленого угля Западного Донбасса.

| Уровень факторов и интервал варьирования | $\tau_0$ , мин | $n_n$ , мин <sup>-1</sup> | $\rho_n$ , г/л | $Q_1$ , мас. % |
|------------------------------------------|----------------|---------------------------|----------------|----------------|
| Кодовое обозначение                      | $X_1$          | $X_2$                     | $X_3$          | $X_4$          |
| Интервал варьирования                    | 4              | 500                       | 100            | 0 - 15         |
| Нижний уровень $X_i = -1$                | 2              | 1000                      | 100            | 0 - 1          |
| Основной уровень $X_i = 0$               | 6              | 1500                      | 200            | 0 - 25         |
| Верхний уровень $X_i = 1$                | 10             | 2000                      | 300            | 0 - 4          |

Полученный полином, адекватный моделируемому процессу обессоливания угля при доверительной вероятности 95 %, имеет

вид:

$$Y = 0,465 - 0,037X_1 - 0,009X_2 + 0,01X_3 + 0,024X_4 - 0,016X_1^2 - 0,01X_2^2 - 0,015X_3^2 - 0,014X_4^2$$

Анализ уравнения регрессии показывает, что наиболее значимым при обессоливании угля является фактор "время" ( $X_1$ ). При этом с увеличением  $X_1$  остаточная концентрация  $Na_2O$  в обработанном угле уменьшается. Кроме того, уравнение регрессии показывает однозначное влияние фактора "гидродинамика" ( $X_2$ ) на процесс обессоливания. В пределах области планирования увеличение турбулентности потока рабочей жидкости (растворителя) снижает остаточную концентрацию  $Na_2O$  в угле, что соответствует классическим теоретическим представлениям о процессе растворения солей [4]. В целом можно отметить, что увеличение факторов  $X_1$  и  $X_2$  благоприятно сказывается на процессе солеудаления. Увеличение фактора "омасливание", как и ожидалось, приводит к незначительному ухудшению процесса солеудаления. При изменении  $X_4$  в пределах 0,1-0,4 мас.% относительное увеличение остаточной концентрации  $Na_2O$  в обессоленном угле составляет 9-11% ( $X_1 = 2-10$  мин;  $X_2 = 1500$  мин<sup>-1</sup>;  $X_3 = 200$  кг/м<sup>3</sup>).

Таким образом, исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. В институтах ГИМР, ДонГТУ и НПО "Хаймек" создано и апробировано в условиях близких к промышленным несколько вариантов новой прогрессивной технологии облагораживания соленых углей;
2. Исходя из проведенных исследований наиболее существенным фактором, влияющим на остаточную концентрацию  $Na_2O$  в угле при его обессоливании промывкой является фактор "время". Фактор "омасливание" не приводит к существенному нарушению процесса обессоливания угля;
3. Полученная факторная модель служит экспериментальной основой для изучения механизма нового процесса облагораживания соленого угля может быть использована для прогнозирования технологических результатов процесса в промышленных испытаниях.

**Список литературы:** 1. Пожидаев С.Д., Бойко П.Г. О возможности получения обогащенного топлива из углей Новомосковского месторождения промывкой технической водой в стационарных условиях // Вопросы химии и химической технологии. Сб. научных трудов - Харьков, 1988 - с. 103-107; 2. Круть А.А., Свитлый Ю.Г. Исследование обессоливания угля в процессе гидротранспорта - Уголь Украины, 1984 - №1, с. 41; 3. Белец-

кий В.С., Пожидаев С.Д., Кхелуфи А. Перспективные технические решения переработки соленых углей // Труды Междунар. конф. "Современные пути развития горного оборудования и технологий переработки минерального сырья". - Днепропетровск, 1996. - С. 93-94; 4. Каражанов Н.А. Основы кинетики растворения солей. - Алма-Ата: Наука, 1989. - 192с.

## ВЛИЯНИЕ ДРОБЕСТРУЙНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ТВЁРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Лалазарова Н.А., Хае Л.Г., Балабан В.В.  
(ХГАДТУ, г. Харьков, СГПИ, г. Славянск, Украина)

*Cutting tools shot-peening is effective way for improvement of whole technological system reliability. Influence of shot-peening on tools surface finish was researched. Shot-peening of carbide tools provides high intensivity rounding of cutting edges. From other hand, shot-peening could not provide big radius of cutting edges.*

Обработка дробью является эффективным средством повышения прочности и надёжности полустогового и чернового твердосплавного режущего инструмента. Повышение эксплуатационных свойств инструмента в результате обработки дробью связано с благоприятными изменениями как структуры поверхностного слоя твёрдых сплавов (фазовые превращения кобальта, изменения дислокационной структуры, возникновение сжимающих остаточных макронапряжений), так и микрогеометрии режущих поверхностей инструмента [1]. Структурные изменения в твёрдых сплавах при дробеструйной обработке изучены достаточно полно [2], в то же время об изменениях микрогеометрии поверхностей имеются лишь отрывочные сведения [3]. Изменения структуры поверхностного слоя твёрдых сплавов обеспечиваются, в основном, за счёт его пластического деформирования, а изменения микрорельефа - за счёт удаления материала [4].

С целью установления механизма и закономерностей удаления материала при обработке дробью изучали микрогеометрические характеристики поверхности образцов из инструментальной керамики ЦМ-332, различных твёрдых сплавов и закалённой стали Р18. Влияние обработки дробью на шероховатость поверхности изучали в зависимости от исходной шероховатости. Прямоугольные образцы получали шлифованием пластин формы 0141А по ГОСТ 2209-69. Различную исходную шероховатость обеспечивали применением абразивных кругов различной зернистости. Образцы



обрабатывали дробью ДЧК № 0,3 по ГОСТ 11964-66 на центробежной установке конструкции авторов с дробемётным колесом шириной 40 мм, окружной его скоростью 60 м/с, углом атаки поверхности 90° и длиной струи дробы 400 мм. На каждом образце обрабатывали дробью 5 участков с различной экспозицией. Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$  по ГОСТ 2789-73 определяли на профилометре-профилографе Talysurf (Великобритания).

Значение  $R_a$  рассчитывали как среднее из 9 измерений - по 3 измерения на трёх образцах. Относительно грубая шероховатость ( $R_a = 1,05$  мкм) при обработке дробью несколько снижается, оставаясь в пределах того же класса. Шероховатость, рекомендуемая для режущих поверхностей твёрдосплавных пластин и резцов по ГОСТ 19086-73 ( $R_a = 0,15...0,50$  мкм) в процессе обработки дробью меняется незначительно. Как кинетика изменения, так и конечные значения шероховатости поверхности образцов из сплавов ВК8 и Т5К10 при обработке дробью отличались несущественно.

Исследование изменений радиуса округления лезвий в зависимости от его исходного значения проводили на аналогичных образцах. Различные исходные значения радиуса округления лезвий получали объёмной виброабразивной обработкой образцов. Величину радиуса округления измеряли методом светового сечения по изображению эллипса на двойном микроскопе МИС-11 [5]. Величины радиуса рассчитывали как среднее из 15 измерений - по 5 измерений на трёх образцах. При обработке дробью образцов после алмазной заточки с радиусом округления 10 мкм происходило округление, как и при виброабразивной обработке [1], причём в нашем случае интенсивность процесса округления значительно выше. Так, радиус округления лезвий 30 мкм при обработке дробью достигается за 50 с, а при виброабразивной обработке - за 1000 с, радиус 50 мкм, соответственно, за 100 с и за 4000 с.

С увеличением экспозиции как при дробеструйной, так и при виброабразивной обработке интенсивность округления монотонно убывает и величина радиуса асимптотически стремится к некоторому предельному (стабильному) значению. При обработке дробью это значение (40...100 мкм) существенно меньше, чем при виброобработке (60...240 мкм), поэтому при обработке дробью лезвий с радиусом более 80...100 мкм дальнейшего округления не происходит. Стабильное значение радиуса зависит от обрабатываемого материала и, слабее, от угла атаки. Со снижением пластичности материала всё большую роль в образовании рельефа его поверхности играет процесс контактного усталостного разрушения и меньшую - пластического деформирования. Изменение рельефа твёрдых сплавов в процессе обработки дробью меньше, чем у керамики и быстро-

режущей стали. Пластичность твёрдого сплава недостаточна для изменения рельефа поверхности путём пластического деформирования, как это происходит у стали. В то же время пластичность твёрдых сплавов достаточна, чтобы предотвратить интенсивное хрупкое разрушение поверхности, происходящее при дробеструйной обработке керамики. В процессе обработки дробью рельеф поверхности менее пластичного сплава Т15К6 меняется сильнее. Значения радиусов округления лезвий образцов из сплавов ВК8 и Т5К10 отличались несущественно. Это позволяет считать, что изменение рельефа поверхности твёрдого сплава в процессе обработки дробью происходит, главным образом, за счёт хрупкого разрушения поверхностного слоя.

Режущие лезвия инструментов из менее пластичных твёрдых сплавов быстрее округляются при обработке дробью, но за счёт меньшей рекомендуемой [1] продолжительности обработки малопластичных сплавов радиус округления у различных сплавов после обработки близок по величине. Оптимальный радиус округления зависит от толщины среза, предельное значение которой определяется механическими свойствами твёрдого сплава. Поэтому обработка дробью сплавов для получистового точения обеспечивает оптимальный радиус округления лезвий одновременно с оптимальной степенью наклёпа режущих поверхностей. При обработке более пластичных сплавов для черновой обработки с оптимальной степенью наклёпа поверхности радиус округления лезвий оказывается значительно меньше оптимального, поэтому требуется дополнительное округление, например, виброобработкой.

Аналогична ситуация при упрочнении пластин для мелких и крупных резцов, у которых оптимальная степень наклёпа одинакова (при одинаковой марке сплава), а оптимальный радиус округления лезвия различен вследствие различной прочности режущей части и, соответственно, различных применяемых толщин среза.

Таким образом, при обработке твёрдого сплава дробью происходит округление кромок, качественно соответствующее аналогичному процессу при виброабразивной обработке. Количественные характеристики процесса существенно различаются: при обработке дробью интенсивность округления выше, а возможность получения больших радиусов округления лезвий ниже, чем при виброабразивной обработке.

**Список литературы:** 1. Хагс Г.Л. Прочность режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1975. - 168 с. 2. Рентгенографическое изучение эффекта дробеструйного упрочнения металлокерамических твёрдых сплавов / Хагс Г.Л., Брусиловский Б.А., Заблочкин В.К., Хагс Л.Г. // Резание и инструмент,

вып.9. - Харьков: Вища школа, 1974. - С. 33-37. 3. Тереник В.Д., Хаєт Л.Г., Литвиченко М.П. Применение жидкости при дробеструйном упрочнении твёрдосплавных резцов // Надёжность режущего инструмента, вып.2. - Киев-Донецк: Вища школа, 1975. - С. 91-95. 4. Хаєт Л.Г., Гах В.М., Левин В.И. Упрочнение твёрдосплавного режущего инструмента поверхностным деформированием. - М.: НИИМаш, 1981. - 54 с. 5. Маликов В.М. Определение остроты режущего лезвия по изображению эллипса // Известия вузов. Машиностроение, 1961, № 4. - С. 187-191.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКОНОМИИ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ЛИНИЙ ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ ПОРЕЗКИ РУЛОННЫХ СТАЛЕЙ

Ландик В.И., Горин А.Н., Макаров А.С.  
(АО "НОРД", ЗАО "ДИХТ", г. Донецк, Украина)

*Updating of technological sawing of blanks for refrigerator details.*

Особое место в производстве холодильников на АО "Норд" занимают технологии изготовления корпусных деталей и дверей. Являясь самыми габаритными, они несут в себе основную долю материалоемкости.

Технология изготовления корпусных деталей включает в себя:

- технологию раскроя листового металла;
- технологию профилирования на автоматических линиях.

Раскрой листового металла осуществляется на автоматических линиях порезки.

Особенностью существующей технологии раскроя листового металла является образование отходов. Кроме того, в отход попадает часть листов деформированных в процессе транспортировки. Таким образом, в общем объеме перерабатываемого металла, отходы составляют до 10%.

Переход на новую технологию раскроя заготовок для деталей холодильников путем внедрения линий продольной и поперечной порезки рулонных сталей даст экономию металла и снижение трудоемкости за счет сокращения обслуживающего персонала. Кроме того, применение линий поперечной порезки позволит получать качественные заготовки с высоким показателем по плоскостности, а линия продольной порезки позволит в скором времени перейти на технологию штамповки деталей с рулона в автоматическом режиме.

Ниже приводится расчет годового экономического эффекта и срока окупаемости линий продольной и поперечной резки.

## РАСЧЕТ

годового экономического эффекта и срока окупаемости при внедрении  
линии порезки рулонного металла.

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$Эг = C * B - 0.15 * 3,$$

где Эг - годовой экономический эффект,

C - снижение себестоимости,

B - плановый выпуск,

0.15 - нормативный коэффициент экономической эффективности,

3 - затраты на внедрение.

Срок окупаемости рассчитывается по формуле:

$$Ток = 3 / (C * B),$$

где 3 - затраты на внедрение,

C - снижение себестоимости,

B - плановый выпуск.

Сводные показатели расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1.

| Наименование показателя               | Показатели |
|---------------------------------------|------------|
| Снижение себестоимости, грн.          | 3.12       |
| Плановый выпуск, шт.                  | 500000.00  |
| Затраты на внедрение, грн.            | 3058050.00 |
| Экономический эффект на единицу, грн. | 2.20       |
| Годовой экономический эффект, грн     | 1101323.15 |
| Срок окупаемости, годы                | 1.96       |

Расчет затрат на заработную плату при внедрении линий порезки приведены в таблице 2.

Таблица 2.

| № п/п | Наименование операции | Трудоемкость, мин | Часовая тарифная ставка, грн | Коэффициент, учитывающий доплаты | Затраты на зарплату, грн. |
|-------|-----------------------|-------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
|-------|-----------------------|-------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|

Существующий вариант

1. Изготовление панелей наружных и

|                                           |     |      |      |         |
|-------------------------------------------|-----|------|------|---------|
| дверей                                    | 1.2 | 0.96 | 1.30 | 0.02496 |
| Предлагаемый вариант                      |     |      |      |         |
| 2. Изготовление панелей наружных и дверей | 0.7 | 0.96 | 1.30 | 0.01456 |

Как видно из приведенного выше расчета, внедрение в производство линий продольной и поперечной порезки рулонных сталей даст значительный экономический эффект при сравнительно небольшом сроке окупаемости. Кроме того, мы получим возможность улучшить качество видовых деталей холодильных приборов, тем самым повысить их конкурентоспособность.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФРЕТТИНГ-ИЗНОСА СОСТАВНЫХ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Лебедь В.Т. (АО НКМЗ, г. Краматорск, Украина)

*It is known that the process of fretting - wear of contact pails is determined by a number of factors but the thorough tests on models do not take into account the scale and time factors. At working out the technology of rebuilding the of composite rolls weighing more than 100 t the said process has been studied on the real parts with the above factors taken into account.*

Известно, что процесс фреттинг-износа контактирующих деталей определяется многими факторами: амплитудой проскальзывания, числом циклов нагружения, давлением, твердостью, частотой взаимных смещений и др. Однако, имеющиеся большие наработки по исследованию фреттинг-износа на моделях сложно сопоставимы с результатами на натурных изделиях.

Развитие математических и физических методов исследования механики разрушения позволило приблизиться к созданию модели описывающей механизм фреттинг-усталости, однако отсутствие реальной информации о состоянии сопрягаемых поверхностей несколько сдерживает дальнейшее развитие разработок.

При циклическом нагружении крупногабаритных составных деталей, например, составных прокатных валков, на посадочной поверхности наблюдаются фреттинг процессы, включающие фреттинг-износ и фрет-

тинг-коррозию. Совместное развитие указанных процессов приводит в критический момент к фреттинг - усталостному разрушению детали, что наиболее характерно для соединений с натягом.

Наиболее сложным для учета и изучения являются временной и масштабный факторы. С этой целью было изучено влияния этих параметров на коэффициент фреттинг-износа при проведении комплекса работ, связанного с совершенствованием ресурсосберегающей технологии по производству составных прокатных валков, который позволил исследовать фреттинг-износ на посадочных поверхностях демонтированных натурных составных деталях массой более 100 тонн, дополнить и сопоставить эти результаты с исследованиями изложенными в работе [1].

Исследование фреттинг-износа в зоне посадочной поверхности "ось-бандаж" было выполнено на серии составных прокатных валков (диаметром 2100 мм, длиной 3000 мм), отработавших 3...6 лет и прошедших  $1,1...2,3 \times 10^6$  циклов нагружения при предельных усилиях до  $7,0 \times 10^4$  кН. При этом натяг  $\Delta$  по длине посадочной поверхности переменный  $\Delta = (0,5 \times 10^{-3} ... 1,0 \times 10^{-3})$  D. Материал бандажей (втулок) - стали 9ХФ и 60ХСМФ, твердость 55...65 HSD, оси - стали 40ХН2МА, 35ХН3МФА, твердость 230...280 HB.

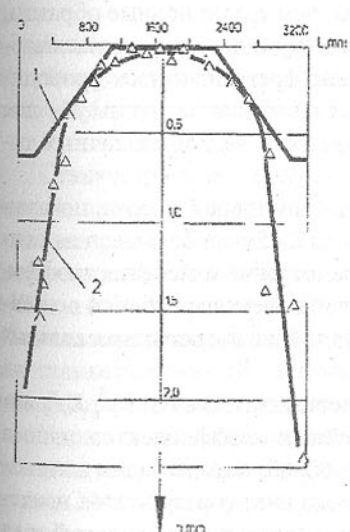


Рис.1. Профиль оси валка нового (1) и обработанного (2).

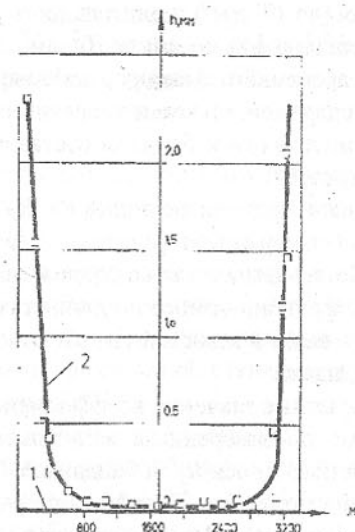


Рис.2. Профиль посадочной поверхности бандажа нового (1) и отработанного (2).



Анализ посадочных поверхностей демонтированных валков показывает, что зона распространения фреттинг-износа имеет протяженность 350...770 мм от края бочки валка, отмечается значительное изменение при сопоставлении натяга вдоль длины посадочной поверхности до и после эксплуатации валка, а также установлено, что зазор, образующийся в зоне контакта оси и бандажа в результате фреттинг-износа за указанный выше период эксплуатации составляет 1,9... 3,7 мм.

Известно, что масштабный и временной факторы, зависят от сочетания продолжительности периодов вылеживания и эксплуатации деталей. Наиболее емким в изучении является временной фактор, поскольку крупные составные детали находятся в эксплуатации в течение ряда лет.

На рис.1 и 2 представлено изменение профиля оси и внутреннего диаметра бандажа за период всего цикла эксплуатации валка. На краю посадочных поверхностей величина износа равна, соответственно, 1,5 мм и 2,5 мм, что привело к устранению натяга и возникновению зазора более 3 мм.

Базируясь на известных методах расчета фреттинг-износа деталей [1], были установлены коэффициенты фреттинг-износа бандажа  $K_F^6$  и оси  $K_F^o$ .

Крупные составные детали имеют значительно большие площади контакта (до  $10^7$  мм<sup>2</sup>) и длительность работы, чем традиционные образцы, имеющие площадь контакта  $10^2$  мм<sup>2</sup>. С целью изучения влияния масштабного и временного факторов на коэффициент фреттинг-износа проводились экспериментальное и теоретическое исследования величины  $K_F$  для зоны контакта оси и бандажа составных прокатных валков различных типоразмеров.

Анализ средних значений  $K_F$ ,  $K_F^6$ ,  $K_F^o$ , в зоне торца бандажа, показывает, что коэффициент фреттинг-износа оси до 2,45 раза больше, чем бандажа. Исследованию также подлежало и рассмотрение изменения коэффициентов фреттинг-износа по длине посадочной поверхности бочки оси составного валка в зависимости от относительной длины зоны проскальзывания бандажа.

Расчетные значения коэффициентов фреттинг-износа  $K_F$ ,  $K_F^6$ ,  $K_F^o$ , полученные по замеренным величинам линейных коэффициентов износа обобщенного  $h_F$  оси  $h_F^o$  и бандажа  $h_F^6$ , были обработаны методом математической статистики. Линейный регрессионный анализ результатов исследования позволил установить коэффициент корреляции  $r$ , который для значений  $K_F$  и  $K_F^o$ , составил 0,9 а для  $K_F^6$  - 0,82.

Анализ эмпирических линий регрессии коэффициентов износа и границы 95%-ной доверительной области, показывает, что по мере удаления

от края посадочной поверхности величины коэффициентов фреттинг-износа убывают. Вышеизложенное возможно объяснить следующим: при приближении исследуемого сечения к торцу бандажа продукты фреттинга интенсивнее удаляются с посадочной поверхности, увеличивая протекание износа. При этом в зазор, образовавшийся между бандажом и осью, проникают технологические жидкости, что, в свою очередь, усиливают развитие процесса фреттинг - коррозии.

Выявлено влияние факторов времени и масштаба на интенсивность изнашивания: при равном числе циклов нагружен и и у деталей диаметром до двух метров и временем работы в несколько лет, величина фреттинг-износа в зоне контакта оси и бандажа в 6...7 раз больше, чем у деталей небольших размеров и незначительного срока службы.

**Список литературы:** 1. Исследование фреттинг-износа крупных деталей, соединенных натягом / В.Т. Фирсов, В.Т. Лебедь, И.А. Бобух, Г.М. Гречушкин. // Вестник машиностроения.-1991.-№3.- С. 14-16.

## НОВОЕ В СТАНКОСТРОЕНИИ УКРАИНЫ

Литвин А.В. (НТУУ "КПИ", г. Киев, Украина)

*Considered particularities of development of machine tools building Ukraine in lasts. Brought structure of issue metal working equipping an Ukraine and structure of export to product.*

Станкостроение Украины сегодня - это 120 промышленных предприятий, научных и научно-исследовательских организаций с 58 тыс. работников против 100 тыс. в 1992 г. За 1997 г. предприятиями отрасли выпущено продукции на 295 млн. грн. В 1995 г. выпущено продукции 80%, а в 1991 г. - 44% от уровня 1996 г. Станкостроение Украины было и есть одной из экспортных отраслей машиностроения. Украина сохранила потенциал станкостроения (87 предприятий и организаций станкоинструментальной отрасли) и одно из ведущих мест в СНГ.

Украина является монополистом в СНГ по производству многошпиндельных токарных автоматов и полуавтоматов, выпускаемых Житомирским ОАО "Станкоуниверсалмаш" и Киевским АО "Веркон". Кроме токарных автоматов и полуавтоматов ОАО "Станкоуниверсалмаш" выпускает токарно-винторезные, деревообрабатывающие станки, АО "Веркон"-токарно-винторезные станки второго габарита, малогабаритные токарно-

винторезные, малогабаритные широкоуниверсальные и горизонтально-фрезерные, деревообрабатывающие станки.

Токарно-револьверные автоматы производятся ОАО "Мелитопольский станкостроительный завод", в т. ч. с диаметром обработки до 40 мм, который производит также резьбофрезерные полуавтоматы, шлищефрезерные, заточные и деревообрабатывающие станки. Токарно-револьверные полуавтоматы и обрабатывающие центры с ЧПУ на их базе выпускает Бердичевское ОАО "Бевеер", производящем также токарно-винторезные, настольные токарные и фрезерные, деревообрабатывающие станки.

Деревообрабатывающие станки выпускают: Городепское АО "Говер" (комбинированные, долбежные и линии обработки брусков), ЗАО "Днепропетровский станкостроительный завод" (фрезерные с нижним и верхним расположением шпинделя, универсальные, многшпиндельные сверлильные, фрезерные с шипорезной головкой, токарные, фуговальные с механической подачей).

Универсальные токарно-винторезные станки выпускают многие заводы: Ивановское ПО "Ивановский станкостроительный завод", в т.ч. настольные сверлильные станки, Одесский станкостроительный завод, в т.ч. токарно-винторезные станки высокой точности, Краматорское станкостроительное ПО, в т.ч. тяжелые токарные, лобо-, вальцетокарные и специальные тяжелые токарные станки, Павлоградское ПО "Станкозавод", в т.ч. токарные обрабатывающие центры с ЧПУ.

Фрезерные станки производят: Львовский завод фрезерных станков (копировально-, гравировально-, вертикально-фрезерные в т. ч. с ЧПУ и электроэрозионные вырезные станки), Луганское ПО "Станкозавод" (обрабатывающие центры с ЧПУ), Одесский завод фрезерных станков (универсально-фрезерные станки с ЧПУ) и Одесское ПО прецизионного станкостроения "Микрон" (фрезерно-сверлильно-расточные обрабатывающие центры с ЧПУ, хонинговальные, балансировочные станки и шарико-винтовые пары).

Абразивно-отрезные, заточные, алмазно-заточные, шлифовально-доводочные, обдирочно-шлифовальные, настольно-сверлильные, деревообрабатывающие станки, а также заточные для деревообрабатывающего инструмента выпускает ОАО "Мукачевский станкозавод". Сумское ОАО "Станкотехмаш" выпускает ленточно-отрезные, дерево-обрабатывающие станки.

Сверлильные станки выпускают: ОАО "Одесский завод радиально-сверлильных станков" (радиально-сверлильные с диаметром обработки до 32 мм, настольно-сверлильные, алмазно-расточные для крупногабаритных деталей, деревообрабатывающие станки), Красноречинское ПО "Станко-

завод" (вертикально-сверлильные, хонинговальные, резьбонарезные и деревообрабатывающие станки), Котовское АОО "Южремстанок" (настольно-сверлильные станки, патроны сверлильные), Черкасское НПО "Ротор" (электроэрозионные, сверлильно-фрезерные станки, координатно-измерительные машины).

Агрегатные и автоматические линии на их базе выпускает ОАО "Харьковский завод агрегатных станков".

Круглошлифовальные станки производят: Харьковское станкостроительное ПО (круглошлифовальные, универсальные и специальные, а также с ЧПУ, специальные кругло- и торцешлифовальные с ЧПУ для коленчатых валов, специальные вальце- и внутришлифовальные станки); Лубенское ОАО "Шлифверст" (универсальные и специальные круглошлифовальные станки для обработки коленчатых валов).

Зубодолбежные станки выпускает ОАО "Корсунь-Шевченковский станкостроительный завод", который освоил выпуск также деревообрабатывающих станков.

Всего в рамках национальной программы планируется обеспечить промышленность Украины на 70 % отечественными станками и поставить на производство 32 новые модели. По прогнозам, ожидаемый экспорт продукции станкостроения Украины в ближайшие годы может составить ежегодно 60-65 млн. \$ US. Экспортная деятельность станкостроения Украины в 1996 г. характеризовалась следующими показателями: объем экспорта- 93957 тыс.грн., удельный вес экспорта в объеме реализации- 37,3 %. В 1997 г. соответственно 115660 тыс. грн. и 39,7%.

Для 87 промышленных предприятий структура экспорта по основной номенклатуре составляет: инструмент абразивный-35,5%; инструмент алмазный- 16,6%; кузнечно-прессовые машины- 16,95%; станки металлорежущие- 14%; деревообрабатывающие станки- 17%; остальное - 15%.

Продукция станкостроения направлялась в: страны Европы- 58%; СНГ -19%; Россию - 15%; страны Азии и Востока - 6%; страны Америки-2%.

За последние годы более 40% продукции станкостроения направлялась на экспорт. В 1997 г. в 1,5 раза вырос удельный вес экспорта абразивного и алмазного инструмента, запчастей за счет металлорежущих станков и кузнечно-прессовых машин. В 2,5 раза вырос экспорт в страны Европы, в 2 раза уменьшился экспорт в Россию. Наибольшим спросом за рубежом находят токарные станки Краматорского станкостроительного ПО, сверлильные станки ОАО "Одесский завод радиально-сверлильных станков", шлифовальные станки Лубенского ОАО "Шлифверст" и Харьковского ПО "Харверст" станкостроительного заводов, тяжелые и уникальные прес-

сы Днепропетровского и Одесского заводов, кузнечно-прессовые автоматы Хмельницкого завода, алмазный инструмент ОАО Полтавского завода шпунтовых алмазов и шлифовальные материалы Запорожского абразивного комбината. Эти предприятия осуществили около 80% экспортных поставок отрасли. Удельный вес экспорта в объемах реализации их составляет около 50%. Предприятиями отрасли за 1995-97 г. заключено контрактов на поставку продукции на сумму, эквивалентную 113,5 млн. \$ US.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРИВОДА КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКОВ

Логвин И.В., Корниенко В.Г. (КубГТУ, г. Краснодар, Россия)

*The researches on working of main motion drive for vertical lathes with gearbox stepping and stepless regulation features are presented in this work.*

Повышение скоростей рабочих движений и точности позиционирования связано с дальнейшим совершенствованием привода станков, поиска новых конструкций, обеспечивающих работоспособность ответственных станочных узлов.

Для обеспечения в каждом конкретном случае оптимальной скорости резания для всех применяемых режущих инструментов при обработке деталей из различных материалов и различных диаметральных размеров станок должен иметь возможно более широкий диапазон частот вращения планшайбы. Однако расширение диапазона регулирования частот усложняет и удорожает конструкцию механизмов главного, что вызывает необходимость оптимально приемлемых ограничений возможностей регулирования. При изменении частоты вращения планшайбы за счет ступенчатого регулирования передаточного отношения кинематической цепи коробки скоростей общий диапазон регулирования  $R = n_{max}/n_{min}$  принимается равным 50. Каждая последующая ступень отличается от предыдущей по закону геометрической прогрессии со знаменателем ряда  $\phi$ , который принимают равным 1,12-1,33. При этом в зависимости от общего диапазона регулирования и принятого знаменателя ряда число ступеней может быть от 12 до 36. Наиболее распространенное значение  $\phi = 1,26$ , при котором в диапазоне регулирования  $R=50$  имеется 18 ступеней частот вращения.

При проектировании, изготовлении и эксплуатации станков все чаще возникает необходимость решения задач, связанных с динамикой.

Эти задачи могут быть сведены к трем основным типам:

1) выбор параметров привода;

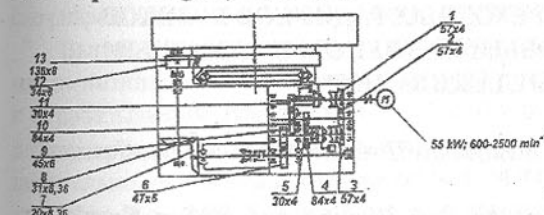
2) анализ поведения станка при перемещении узлов без резания (работа на холостом ходу);  
3) анализ поведения станка в процессе обработки детали (работа станка при резании).

Выбор параметров по которым производится определение показателей системы при внешних воздействиях, определяется конкретными заданиями расчета и анализа, то есть типом задачи и видом критерия для оценки показателя. Такими показателями являются точность обработки и позиционирования, долговечность, производительность, энергетические потери.

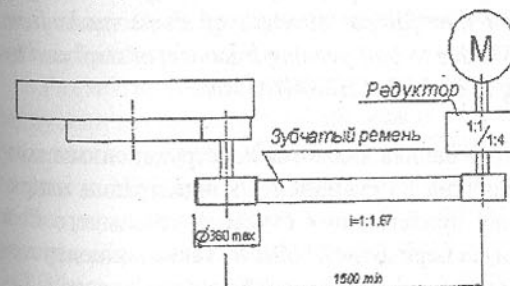
Из кинематической схемы привода видно, что его механическая часть включает в себя большое количество кинематически связанных элементов и узлов: двигатель, муфты, валы, шестерни и т.д. При нагружении эти элементы (валы, опоры, зубья шестерен и др.) деформируются, так как механические связи не являются абсолютно жесткими. В некоторых передачах и соединениях могут существовать зазоры (люфты).

Элементы кинематической цепи имеют различную массу и жесткость и движутся с различными угловыми и линейными скоростями.

Объектом исследования является редуктор привода главного движения токарно-карусельного станка 1A516МФ3. Предлагаются две компоновки привода (рисунок 1 а, б).



а)  $P=55\text{ kW}$ ,  $n_N=700\text{ min}^{-1}$ ,  $n_{max}=3000\text{ min}^{-1}$ ,  $M=750\text{ Nm}$



б)

Рис.

Принимая соответственно по вариантам компоновок колебания упругих деформаций технологической системы под влиянием нестабильных нагрузок и погрешностью износа режущего инструмента одинаковыми, ставится задача выявить влияние погрешности колебания упругих элементов технологической системы на точность обработки.

Совпадение собственной частоты колебаний планшайбы с вы-



нужденной частотой колебаний от сил резания вызывает резонанс, что резко снижает точность обработки и качество обрабатываемой поверхности.

Расчёт крутильной податливости приводов станков имеет специфику, обусловленную наличием шлицевых и шпоночных соединений, зубчатых и ременных передач, подшипников скольжения и качения. С помощью эксперимента установлено, что в балансе крутильная податливость коробок скоростей составляет 15-30 %. Остальное приходится на изгибные деформации шлицевых и шпоночных соединений, зубчатых передач. На рисунке 1а приведена кинематическая схема привода главного движения токарно-карусельного станка 1А516МФЗ, на рисунке 1б - новая конструкция привода с использованием зубчатого ремня.

**Список литературы:** 1. Кудинов В.А. Динамика станков. - М.: Машиностроение, 1967. - 359 с. 2. Пуш В.Э. Автоматические станочные системы. М.: Машиностроение. 1982. 317с. 3. Бондуровский В.В., Логвин И.В., Корниенко В.Г. Влияние компоновок приводов на динамические характеристики токарно-карусельных станков. / 5я международная научно-техническая конференция по динамике технологических систем - ДГТУ-97, Тезисы докладов, т.2, Ростов-на-Дону, С.23-25.

### УПРОЧНЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РАДИУСОВ ВАЛИКОВ ПНЕВМОШАРИКОВЫМ НАКЛЕПОМ И АЛМАЗНЫМ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ

Лунарски Е., Зелецки В. (Жешувская Политехника г. Жешув, Польша)

*Strengthening of Shaft Fillets by Ball Peening and Sliding Burnishing Process. The paper presents the effect of ball peening and sliding burnishing of shaft fillets. It has been shown that fatigue strength of shafts made from 40HNMAl steel increases by 6,5% due to ball peening treatment of shaft and by 23,5% due to sliding burnishing in case of 18H2N4WAl steel.*

Места переходов диаметров валика являются конструкционным концентратором напряжений. Величина коэффициента концентрации напряжений зависит от соотношения прилегающих ступеней (большого  $D$  к меньшему  $d$  диаметров) и радиуса переходной зоны  $R$ . Такие концентраторы вызывают значительное уменьшение усталостной прочности валов. Такое отрицательное влияние концентратора можно уменьшить путём изме-

нения формы (увеличение радиуса, уменьшение разницы диаметров и др.) или методом упрочнения переходной зоны.

Переходные радиуса валиков целесообразно упрочнять методами поверхностного пластического деформирования (ППД) с помощью роликов, шариков или твердыми выглаживателями. В деталях сложной конструкции из твердых материалов переходные зоны можно упрочнять дробеструйным наклёпом (дробь стальная или чугунная) или пневмоструйным методом малыми стеклянными шариками, диаметром не более 0,8 мм.

На кафедре технологии машиностроения и организации производства Жешувского политехнического института разработана технология и проведены исследования упрочнения переходных радиусов методом пневмошарикового наклёпа и методом выглаживания.

Пневмошариковый наклёп производится с помощью стальных шариков диаметром 1,5 - 4,0 мм, разгоняемых воздухом при давлении 0,3 - 0,6 МПа специальными соплами. Упрочнение переходных радиусов реализуется многокамерной головкой специальной конструкции, разработанной для упрочняемой детали. В рабочей камере находится около 100 - 200 штук подшипниковых шариков, которые захватываются эжекторным способом, разгоняются и направляются на обрабатываемую поверхность, упрочняя ее ударом. Упрочнение контролируется с помощью контрольного упрочняемого кольца одновременно с рабочей поверхностью (кольцо после разрезки уменьшает свой диаметр на некоторую величину).

Выглаживание проводилось инструментом с шаровым наконечником из композиционного материала „карбонадо“, который упруго прижимался к обрабатываемой поверхности. Радиус наконечника был меньшим от радиуса переходной поверхности, а инструмент наклонен под углом  $\alpha$  относительно оси валика. Выглаживатель прижимался к торцу большего диаметра  $D$  с силой  $P$  приводимого во вращение валика. После двух оборотов валика включалась подача вдоль меньшей ступени  $d$ . Упругий прижим инструмента к детали гарантировал постоянный контакт с упрочняемой поверхностью [2].

Разработанные технологии использованы для упрочнения деталей с радиусами перехода  $R = 3,0$  мм между ступенями вала  $D/d = 88/75$ , изготовленного из стали 40ХНМА и 18Х2Н4ВА после закалки и отпуска до твердости HRC 35 - 40. Исследовалась микрогеометрия поверхности до и после упрочнения, изменения микротвёрдости поверхностного слоя и влияние обоих методов на усталостную прочность.

Исследования поверхностного слоя стали 40ХНМА показали, что при применении пневмошарикового наклёпа можно получить шероховатость  $Ra = 0,75 - 1,5$  мкм и микрорадиусы углублений от ударов 1385 - 2025 мкм,

микротвёрдость верхнего слоя толщиной 0,1 - 0,2 мм увеличить на 10% по сравнению с твёрдостью сердцевины, а в верхнем слое были получены отрицательные напряжения, вызывающие уменьшение диаметра контрольного кольца на 3 мм. После выглаживания была получена шероховатость  $Ra = 0,26 - 0,52$  мкм, а микротвёрдость верхнего слоя увеличена на 13%.

Исследования поверхностного слоя выглаживаемой детали из стали 18Х2Н4ВА показали, что возможно получить шероховатость  $Ra = 0,24 - 0,61$  мкм, упрочнение поверхностного слоя на глубину 0,02 мм, и приращение микротвердости на 32%.

Усталостные испытания проведены на электродинамической установке ТИРАvib 5142 [1]. Целью этих исследований было обоснование возможности замены, применяемого до сих пор процесса полирования переходных радиусов на упрочняющую обработку. Исследования проведены на специальных образцах, моделирующих упрочняемую поверхность.

Усталостные испытания проведены на образцах, обработанных следующими способами:

- а) вариант 40P - сталь 40ХНМА, переходной радиус полированный;
- б) вариант 40PK - сталь 40ХНМА, радиус полированный и упрочнённый пневмошариковым наклёпом (давление воздуха - 0,43 МПа, диаметр шариков - 2,0 мм, время обработки - 45 мин.);
- в) вариант 40NS - сталь 40ХНМА, переходной радиус после токарной обработки и выглаживания (сила прижима - 100 Н, частота вращения - 63 об/мин, подача - 0,068 мм/об, угол наклона инструмента -  $\alpha = 60^\circ$ );
- г) вариант 18Т - сталь 18Х2Н4ВА, радиус после токарной обработки;
- д) вариант 18NS - сталь 18Х2Н4ВА радиус после точения и выглаживания (параметры как в варианте в).

Таблица 1 - Результаты усталостных испытаний образцов с переходным радиусом  $R = 3$  мм, изготовленных из стали 40ХНМА и 18Х2Н4ВА упрочнённых выглаживанием и пневмошариковым наклёпом.

| №  | Вариант обработки | Усталостная прочность<br>$Z$ (МПа) | Изменение $\Delta Z$ (%) |
|----|-------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 1. | 40P               | 528,6                              | ---                      |
| 2. | 40PK              | 562,7                              | +6,5                     |
| 3. | 40NS              | 527,1                              | -0,3                     |
| 4. | 18Т               | 525,3                              | ---                      |
| 5. | 18NS              | 648,6                              | 23,5                     |

Результаты усталостных испытаний приведены в табл. 1. показывают, что применение пневмошарикового наклёпа и выглаживания увеличивает

усталостную прочность переходных радиусов деталей, изготовленных из стали 40ХНМА на 6,5%, а при стали 18Х2Н4ВА на 23,5%. Проведенные исследования свидетельствуют также об возможности исключения, применяемого до сих пор трудоёмкого полирования и замены его на выглаживание, которое является более эффективным для стали 18Х2Н4ВА, которая оказалась более податливой на упрочнение методами ИПД.

Полученные результаты показывают, что разработанная технология пневмошарикового наклёпа и выглаживания приводит к изменениям, подобным при дробеструйном наклёпе, при этом шариковый наклёп является значительно дешевле.

**Список литературы:** 1. Junarski J.: Badania zmniejszenia przy czkrostliwosciach rezonansowych na vibratorze elektrodynamicznym. Przegląd Mechaniczny, nr 8, 1981. 2. Korzycki M., Zielecki W.: Prace z zakresu nagniatania blizgowego i pneumokulowania. SPT KBM PAN, tom 59, Rzeszów 1998.

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Лунарски Е., Семп Я. (Жешувская Политехника, г. Жешув, Польша)

*Two-component surface frictional properties modification. The paper presents tribological characteristic of the special two-component surfaces, consisted of the parent material (pinions and shaft necks) and helical zones of antifriction material.*

### Введение

Целью специально разработанной технологии изготовления двухкомпонентных поверхностей являлось формирование на изготавливаемой детали композиционной поверхности, состоящей из материала основы и винтовых полос модифицирующего материала со свойствами, значительно отличающимися от основы. Процесс формирования таких поверхностей состоит из трёх этапов.

На первом этапе на цилиндрической поверхности формируется одна или несколько винтовых канавок специального поперечного сечения.

На втором этапе в канавку укладывается проволока из модифицирующего материала.

На третьем этапе завальцовываются грани канавок путём пластического поверхностного деформирования (ИПД) с определёнными параметрами и

одновременно расклёпывается крутовое сечение проволоки с получением диаметра равного диаметру цапфы вала.

Образованная двухкомпонентная поверхность характеризуется лучшими антифрикционными свойствами по сравнению с материалом цапфы. Подлежат определению: сила прижима деформирующего ролика  $P$ , степень перекрытия модифицирующим материалом, его род  $M$  и диаметр после ШПД. При исследовании определялось влияние материала  $M$  и параметров образованной поверхности на коэффициент трения и сопротивление схватыванию.

#### Методика исследований

Исследования сопротивления схватыванию проведены на машине трения T-05 (производства ИТЕ Радом, Польша) с узлом трения ролик - сегмент. Образцы изготавливались из стали 45 диаметром 35 мм в нормализованном состоянии, а контробразец выполнялся в форме сегмента из стали 55, закалённой до твёрдости HRC 55 - 58. На образцах получены двухкомпонентные поверхности. Сила прижима контробразца к образцу составляла 2,4 кН, скорость трения (окружная вращающегося образца относительно неподвижного контробразца) - 0,45 м/с. Во время испытания записывалась сила трения. Принято, что после превышения силы трения 500 Н появляется схватывание и автоматически прекращается дальнейшее испытание. Во время испытания образец смачивался маслом Selektol Special SD 20W/40 [1].

Для сравнения сопротивления схватыванию образцов был принят критерий: путь трения до схватывания  $S$ . Кроме этого определялся коэффициент трения  $\mu$  (минимальная сила трения, разделенная на нагрузку в узле трения). Каждое испытание повторялось три раза. Приведенные данные в табл. 1 являются среднесреднеарифметическими величинами. Рассчитано также процентное изменение пути трения до схватывания  $\Delta S$  при сравнении с образцами шлифованными, немодифицированными и процентное изменение коэффициента трения  $\Delta \mu$  при сравнении со шлифованными образцами. Значения  $\Delta S$  и  $\Delta \mu$  указывались только тогда, когда разница между сравниваемыми вариантами была статистически определённая. Эта определённость рассматривалась на основании вариационного анализа при принятом уровне теста F. Snedecora, равного 0,05.

#### Результаты исследований

Результаты проведенных испытаний приведены в табл. 1.

Анализ приведенных результатов показывает, что образование двухкомпонентной поверхности может значительно уменьшить износ трением и сопротивление схватыванию.

Лучшие результаты получены при модификации стали 45 серебром. В этом случае отсутствует схватывание, коэффициент трения уменьшается на 34,4%.

Хороший эффект получен также после модифицирования медью. В зависимости от применяемых параметров образования поверхности путь трения до схватывания уменьшался от 295,6% до 901%, а коэффициент трения - от 17,3 до 44,4%.

Эти результаты свидетельствуют также об существовании оптимальных пределов, в зависимости от антифрикционных свойств и силы развальцовки. Путь трения до схватывания увеличивается вместе с увеличением степени перекрытия [2].

Модифицирование латунью М063 (63% Cu, 27% Zn) увеличило путь трения до схватывания на 80,2%, а коэффициент трения - на 38,2%. Не получено положительных результатов при модификации поверхности свинцом и алюминием.

Таблица 1 - Результаты фрикционных свойств исследуемых двухкомпонентных поверхностей

| №  | Материал<br>модифиц. | Параметры  |       |        | S<br>(м)     | $\Delta S$<br>(%) | $\mu$ | $\Delta \mu$<br>(%) |
|----|----------------------|------------|-------|--------|--------------|-------------------|-------|---------------------|
|    |                      | P (Н)      | M (%) | d (мм) |              |                   |       |                     |
| 1  | -                    | шлифование |       |        | 860,7        | -                 | 0,059 | -                   |
| 2  | -                    | 900        | ШПД   |        | 470,1        | -                 | 0,066 | -                   |
| 3  | Латунь               | 900        | 25    | 0,8    | 1550,7       | 80,2              | 0,081 | 38,2                |
| 4  | Серебро              | 900        | 25    | 0,8    | без схватыв. |                   | 0,038 | -34,4               |
| 5  | Медь                 | 900        | 25    | 0,8    | 5320,6       | 518,2             | 0,048 | -17,3               |
| 6  | Медь                 | 400        | 25    | 0,8    | 3412,6       | 296,7             | 0,047 | -19,7               |
| 7  | Медь                 | 650        | 25    | 0,8    | 8609,1       | 901,1             | 0,056 | -                   |
| 8  | Медь                 | 1150       | 25    | 0,8    | 3405,9       | 295,6             | 0,045 | -23,4               |
| 9  | Медь                 | 900        | 20    | 0,8    | 3570,3       | 314,8             | 0,043 | -25,9               |
| 10 | Медь                 | 900        | 40    | 0,8    | 7191,1       | 735,5             | 0,048 | -17,3               |
| 11 | Медь                 | 900        | 50    | 0,8    | 7711,9       | 796,0             | 0,033 | -44,4               |

#### Выводы

1. Технология изготовления двухкомпонентных поверхностных слоев деталей является дешёвой и нетрудоёмкой и даёт возможность улучшить их фрикционные свойства.



2. Образование двухкомпонентной поверхности при соответственно подобранном модифицирующем материале и параметрах образования поверхностного слоя является эффективным способом увеличения сопротивления износу трением и уменьшения коэффициента трения. Лучшие результаты получены при модифицировании стали 45 серебром и медью.

**Список литературы:** 1. Skp J. Właściwości tribologiczne elementów nierzyskowych z powierzchniowych warstw dwuskiadnikowych. Rozprawa doktorska. Politechnika Rzeszowska. Rzeszyw, 1994 2. Junarski J., Skp J.: Ukiady iojyskowe z powierzchniowych warstw dwuskiadnikowych. Mat. II Konf. „Problemy niekonwencjonalnych ukiadyw iojyskowych”. Politechnika Jydzka, Jydu, 1995, s. 47-52.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИСМУТОВЫХ ЗОН ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР

Луний Л.С., Овчинников В.А., Благин А.В., Алфимова Д.Л.,  
Константинов П.А. (ВИ НГТУ, г. Волгодонск, Россия)

*The possibilities of Bi-containing liquid zones usage for the regeneration of multicomponent heterostructures of electronics are discussed in this work. It is proved that the problem of electronic devices element base degradation may be solved by recrystallization of solid solutions in the temperature gradient field.*

Эффективность работы оптоэлектронных приборов со временем ухудшается, как правило, вследствие деградации их элементной базы. Этим термином обозначают снижение электрофизических характеристик, обусловленное развитием дефектов в материале прибора. Несмотря на то, что в последние годы механизмы деградации интенсивно изучаются [1], единая технологическая концепция деградации электронных материалов еще не создана. Идентификация многих дефектов или примесных центров, ответственных за деградацию, принципиально затруднена, т.к. эти центры обычно не связаны с характеристическим излучением в области, удобной для исследований, т.е., с энергией, близкой к энергии запрещенной зоны ( $E_g$ ).

Нами исследованы возможности перекристаллизации многокомпонентных твердых растворов  $A^3B^5$  висмутовыми зонами в поле температурного градиента с целью восстановления исходного распределения компонентов и снижения плотности дислокаций. Быстрая деградация, происходящая в первые 50 - 100 ч работы прибора, имеет резко выраженный не-

однородный характер. Это обусловлено возникновением и развитием в активном слое приборной структуры локальных областей с резко пониженной эффективностью генерации или рекомбинации носителей, которые при наблюдении в режиме фотолуминесценции выявляются в виде так называемых дефектов темных пятен (ДТП) и дефектов темных линий (ДТЛ) [1]. Медленная деградация ( $10^4 - 10^5$  ч эксплуатации) развивается однородно в объеме активной области прибора. Анализ структуры ДТП и ДТЛ, проведенный на ЭВМ [2], показал, что основными механизмами развития деградации в активной области являются скольжение и переползание дислокаций. Согласно модели [2], процесс переползания дислокации в результате поглощения атома  $A^3$  сопровождается возникновением в ядре дислокации  $V_B^5$ , которая затем замещается атомом  $B^5$ , перемещаясь в новое положение в своей подрешетке. За переползанием дислокаций остается след подвижных вакансий, которые собираются в плоские скопления, захлопывающиеся с образованием мелких дислокационных петель. Попадание атома в междоузлие возможно как в ходе кристаллизации, так и в сформировавшейся твердой фазе путем диффузии. Вытеснение этих межузельных атомов, как показали проведенные нами расчеты, возможно при перекристаллизации твердого раствора висмутовой зоной, поскольку атомы Bi обладают наибольшим ковалентным радиусом и малой энергией присоединения.

Экспериментальные исследования показали заметное уменьшение плотности дислокаций несоответствия после перекристаллизации твердых растворов  $GaInSb<Bi>/InSb$  висмутосодержащими жидкими зонами. Для экспериментов использовались гетероструктуры  $GaInSb<Bi>/InSb$ , полученные в стационарном поле температурного градиента (30 К/см) при подпитке из твердого источника  $InSb_{0.35}Bi_{0.65}$ . Рабочий диапазон температур 580 - 640 К был определен методом визуально-термического анализа. Исследования распределения дислокаций по толщине эпитаксиальных слоев твердых растворов

$In_{1-x}Ga_xSb_{1-y}Bi_y/InSb$  проводились методом послойного травливания образцов. Для этого исследуемые гетероструктуры после механической полировки обрабатывались полирующим травителем  $HCl:HNO_3 = 1:1$  в течение 2 мин., а затем раствором  $HCl:Cr_2O_3 = 4:1$  при  $t = 70^\circ C$  в течение 0.5 мин для выявления дислокаций. Тип проводимости, концентрацию основных носителей и их подвижность  $\mu$  определяли по результатам измерений коэффициента Холла в слабом магнитном поле ( $H = 3000$  Э) и удельной электропроводности  $\sigma$ . Эффект Холла исследовался в интервале температур 290-310 К. В таблице 1 проведено сравнение электрофизических характеристик отработанных и перекристаллизованных фотоэлементов.

Таблица 1 - Значения концентрации и подвижности носителей в гетероструктурах  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Sb}_{1-y}\text{Bi}_y/\text{InSb}$  с различным содержанием висмута ( $y$ ) до и после перекристаллизации.

| y, мол. дол. | До перекристаллизации              |                                                            | После перекристаллизации           |                                                            |
|--------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|              | $n \cdot 10^{-16}, \text{см}^{-3}$ | $\mu \cdot 10^{-4}, \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ | $n \cdot 10^{-16}, \text{см}^{-3}$ | $\mu \cdot 10^{-4}, \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ |
| 0.010        | 1.7                                | 12.5                                                       | 4.6                                | 37                                                         |
| 0.015        | 1.85                               | 17.5                                                       | 3.5                                | 20.5                                                       |
| 0.018        | 2.3                                | 25.5                                                       | 4.2                                | 48.5                                                       |

Как видно из таблицы, значения электрофизических характеристик

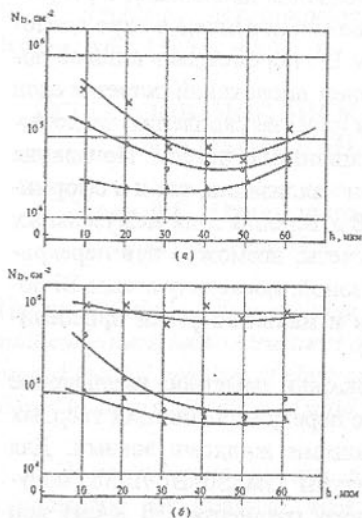


Рис. 1. Распределение плотности дислокаций по толщине гетероструктур  $\text{GaInSb}<\text{Bi}>/\text{InSb}$ :

а) - не задействованных в эксплуатации;

б) - работавших в течении 200 ч на К.С.П. металлообрабатывающего модуля.

× - до перекристаллизации, ° - после перекристаллизации зоной  $\text{In}_{0.7}\text{Bi}_{0.3}$ .

Δ - после перекристаллизации зоной  $\text{In}_{0.08}\text{Bi}_{0.92}$ .

после перекристаллизации висмутосодержащими зонами возрастают в 2-3 раза. Исследовались распределение и плотность дислокаций в образцах фотоприемных структур, незадействованных в производственном процессе, а также гетероструктур, эксплуатировавшихся в течении 200 ч работы контрольно-измерительной техники металлообрабатывающего модуля (Рис. 1, а) и б) соответственно). Анализ графиков показывает, что распределение дислокаций вдоль перекристаллизованных слоев неодинаково. Наименьшую величину плотности дислокаций ( $\sim 5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ ) имеют области, расположенные в средней части, а наибольшую ( $\sim 1,2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ ) - вблизи подложки и тыльной стороны слоя. Повышенная плотность дислокаций в начале слоя обусловлена критическим сопряжением подложки и формируемой гетероструктуры по параметру решетки, сопровождаемым генерацией дислокаций несоответствия.

Движение зоны сопровождается переносом дислокаций, что объясняется нелинейной зависимостью температурного поля от расстояния в окрестности фронта кристаллизации. По мере удаления зоны от подложки и соответственного расхождения составов слоя и

подложки, плотность дислокаций падает до значений  $3,8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ . Таким образом, перекристаллизация ведет к формированию градиента состава, что несколько ограничивает оптический диапазон приборов по сравнению с исходной однородной, но деградировавшей гетероструктурой. Сравнение рис. 1, а и б, позволяет сделать вывод о том, что нестабильность температурных условий эксплуатации (колебания температуры окружающей среды на  $0,1-0,5^\circ\text{C}$  с периодом порядка 10 с, характерные для работы металлообрабатывающего модуля) играют определяющую роль в развитии быстрой деградации. По видимому, проблема может быть решена применением адиабатических оболочек с коэффициентом преломления, близким к единице.

Таким образом, выявлены основные закономерности распределения дислокаций в деградировавших и перекристаллизованных гетероструктурах; показана возможность регенерации элементной базы путем ее перекристаллизации висмутосодержащими зонами. Выводы работы могут быть использованы в технологии объемных многокомпонентных полупроводниковых структур электронной техники.

Список литературы: 1. М.Г. Мильвидский, В.Б. Освенский "Структурные дефекты в эпитаксиальных слоях полупроводников  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ . М.: Металлургия, 1987. 256 с. 2. N.K. Konnerth, L.R. Weisberg, "New electroluminescent diode degradation models" Appl. Phys., V.73. № 3 -Suppl., Feb. 1993. P. 106-110.

## СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ОТ АО «АСКОН»

Лысенко О.Н. (АСКОН, г. Киев, Украина)

- Что можно называть "реальной автоматизацией"?
- Программные продукты для реальной автоматизации
- Все для успешного внедрения САПР

Что можно называть "реальной автоматизацией"?

Трудно представить себе сегодняшнее промышленное предприятие или конструкторское бюро, на котором не было бы установлено несколько компьютеров и каких-либо пакетов САПР. К сожалению, пока не все понимают, что реальная автоматизация проектирования и подготовки производства "состоится" только в том случае, когда новые компьютерные технологии появятся на рабочем месте каждого конструктора (технолога, расчетчика и т.д.) В основном уделяется внимание решению только самых

наболевших задач (например, изготовление сложной оснастки), выделяя на них значительные финансовые ресурсы.

Как показывает практика, даже в сегодняшних непростых экономических условиях поставщики систем САПР могут предложить удобные, эффективные и надежные решения, вполне приемлемые по стоимости практически для любого предприятия. Таким образом, переход к массовому применению компьютерных технологий на Вашем предприятии можно начинать уже сегодня, добиваясь реального сокращения сроков новых разработок, повышения их качества и конкурентоспособности, а значит - значительной экономии денежных и людских ресурсов, которые можно будет направить на новые перспективные направления.

Когда завод или КБ выбирает программные продукты САПР, оцениваются не только функциональные возможности каждой отдельной системы. Очень важно, чтобы разные программные пакеты хорошо взаимодействовали друг с другом, а поставщик был надежным и мог оказать квалифицированную помощь и поддержку на всех стадиях внедрения - от выбора оптимальной конфигурации рабочих мест до послегарантийного обслуживания и различных модернизаций под возникающие задачи.

#### Программные продукты для реальной автоматизации

Акционерное общество АСКОН - один из лидирующих российских разработчиков и поставщиков систем автоматизированного проектирования, работает на рынке САПР с 1989 года. Офисы фирмы расположены в Санкт-Петербурге, Москве и Коломне Московской области. Ведущие специалисты АСКОН имеют огромный опыт в области разработки САПР и машинной графики, а также внедрения, поддержки и сопровождения. "Предком" КОМПАС - флагманского продукта фирмы - была система КАСКАД, созданная нашими сотрудниками еще на государственном предприятии КБМ (г. Коломна) в 1986-1988 годах сначала для СМ 1420, а затем перенесенная на платформу IBM PC.

Наши системы успешно эксплуатируются более чем 600 предприятиями России, Украины, Белоруссии, Казахстана, других стран СНГ. КОМПАС применяется на АвтоВАЗагрегате, ЛиАЗе, ЛАЗе, Ленинградском Металлическом и Ижорском заводах, Минском и Челябинском тракторных заводах, АО СКБМ (Курган), Курганмашзаводе, НПО им. Лавочкина, авиазаводе "СОКОЛ" (Н.Новгород), Саратовском авиазаводе, АО Барнаултрансмаш, НПО "Электронмаш" (Киев), АО "Курганстальмост", АО "Воронежстальмост", АО "Сургутнефтегаз", нефтепроводе "Дружба", НПО "Машпроект" (Николаев).

Однако выпуск программных продуктов КОМПАС является только одним (хотя и очень важным) направлением маркетинговой стратегии

АСКОН, в соответствии с которой фирма стремится не только разрабатывать собственные системы, но и активно сотрудничать с другими лидерами (как российскими, так и зарубежными) рынка программного и аппаратного обеспечения САПР. В результате воплощения этой стратегии пользователи получают возможность приобрести не просто набор отдельных систем и аппаратуры, а готовые комплексные технологии автоматизации инженерных работ.

Современные программно-аппаратные решения, предлагаемые АО АСКОН, включают в себя следующие компоненты:

- параметрическую чертежно-конструкторскую систему КОМПАС 5 для WINDOWS с широким набором стандартных библиотек и конструкторских приложений, а также инструментальными средствами их разработки. Для оснащения компьютеров 286/386, имеющихся на предприятиях, можно использовать системы комплекса КОМПАС 4 для DOS;
- интегрированные с КОМПАС 5 системы обработки сканированных изображений Spotlight и Vector, обеспечивающие автоматический перевод бумажных чертежей в электронный вид (векторизацию) и их дальнейшее редактирование;
- систему параметрического твердотельного конструирования SolidWorks с интегрированными приложениями (мощная система подготовки программ многокоординатной обработки деталей на станках с ЧПУ PowerMill, расчетные системы МКЭ COSMOS и MSC/NASTRAN, системы кинематического и структурного анализа);
- системы управления инженерным документооборотом предприятий и рабочих групп на базе программного обеспечения DOCS Open и КОМПАС-МЕНЕДЖЕР 5, интегрированные с КОМПАС 5 и пакетами векторизации;
- конструкторскую периферию САПР от ведущих мировых производителей.

**ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПРЕДЛАГАЕМЫЕ АСКОН РЕШЕНИЯ ОХВАТЫВАЮТ КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПОДГОТОВКИ И ВЫПУСКА ЧЕРТЕЖНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ЛЮБОГО ПРОФИЛЯ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА, А ТАКЖЕ ПОЗВОЛЯЮТ ОРГАНИЗОВАТЬ НА ПРЕДПРИЯТИИ (КАК КРУПНОМ, ТАК И СРЕДНЕМ ИЛИ МАЛОМ) ИНТЕГРИРОВАННУЮ СРЕДУ УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМ ДОКУМЕНТООБОРОТОМ.**

**Все для успешного внедрения САПР**



Специалисты АСКОН готовы вместе с Вами подобрать наиболее оптимальный по стоимости и эффективности вариант поставки аппаратных и программных средств для Вашего предприятия. В списке наших услуг - предустановка закупленного программного обеспечения, поставка и ввод в эксплуатацию плоттеров и принтеров различных моделей, мощных персональных компьютеров, мониторов большого формата, сканеров для автоматизации перевода бумажной документации в электронный вид.

Систему КОМПАС и другое ПО можно приобрести как в офисах АСКОН, так и у наших дилеров в разных городах СНГ. Обеспечивается гарантийное (в течение одного года) и послегарантийное обслуживание, обновление систем в рамках текущих версий, значительные скидки при покупке последующих копий или новых версий. Возможны консультации по телефону, электронной почте или факсу, а также непосредственно в офисах АО АСКОН или у дилеров. При необходимости можно заказать курс обучения специалистов работе с системами или приобрести дополнительные комплекты технической документации. На регулярно проводимых АО АСКОН семинарах пользователи могут ознакомиться с новыми версиями систем, пообщаться со специалистами фирмы и друг с другом, обменяться опытом применения программных продуктов.

Мы уверены, что в результате сотрудничества с АО АСКОН Вы сможете найти самое эффективное решение проблем автоматизации конструкторских и технологических подразделений Вашего предприятия!

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО БОРИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ

Лысенко А.Б., Козина Н.Н., Борисова Г.В.  
(ДГТУ, г. Днепропетровск, Украина)

*Investigations of influence of more important technological factors - thickness of alloying coating  $\delta$  and density capacity of laser radiation  $Q$  on the structural homogeneous degree and solidity properties of saturated with boron steels by laser alloying surfaces methods have been made. Dependences of homogeneous meanings of with  $\delta$  and  $Q$  parameters and diagrams of depth hardness distribution of alloying coating, which permit to choose processing regimes, provided to achieve assigned level of surface strengthening, have been received.*

Методами металлографического, рентгенофазового и дюрметрического анализов исследовано влияние толщины легирующей обмазки  $\delta$  и

плотности мощности лазерного излучения  $Q$  на структурно-фазовое состояние и прочностные свойства зоны лазерного борирования сталей 12X18H10T, 40X13M3Ф, 45 и У10. Анализируемые технологические параметры варьировали в достаточно широких пределах ( $\delta = 20 \div 240$  мкм;  $Q = (5,2 \div 20,8) \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>), что позволяло получать легированные поверхностные слои, существенно отличающиеся глубиной и содержанием насыщающего элемента.

Показано, что при обработке с фиксированным значением  $Q$  по мере увеличения толщины борсодержащей обмазки микроструктурная картина борированной поверхности постепенно трансформируется от типично доэвтектической, состоящей из мелких дендритов твердого раствора и эвтектики, до структуры с сильно выраженными признаками неоднородности в виде скоплений первичных кристаллов высокобористых фаз.

В образцах аустенитной стали 12X18H10T такими фазами являются бориды основного компонента  $Fe_2B$  и  $FeB$ , в то время как в сталях, в исходной структуре которых содержатся карбидные включения, в зоне лазерного борирования, помимо боридов, образуются изоструктурные матричной карбидной фазе борокарбиды  $Fe_3(C, B)$  (в сталях 45 и У10) или  $M_{23}(C, B)_6$  (в стали 40X13M3Ф), что свидетельствует о существовании взаимосвязи между ключевыми элементами фазового состава зоны лазерного легирования и смежных с ней слоев обрабатываемого материала.

В другой серии экспериментов операцию лазерной химико-термической обработки выполняли путем оплавления обмазки постоянной толщины ( $\delta = 100$  мкм). При этом с ростом плотности мощности излучения наблюдается гомогенизация микроструктуры и снижение вероятности формирования высокобористых фаз.

Проведенные исследования свидетельствуют, что для повышения структурной однородности лазерно-борированных сталей следует либо уменьшать толщину легирующей обмазки, либо увеличивать плотность мощности излучения. Однако указанные изменения параметров  $\delta$  и  $Q$  вызывают падение концентрации бора в зоне лазерной обработки, что неприемлемо в тех случаях, когда требование однородности микроструктуры сочетается с необходимостью достижения высоких степеней упрочнения поверхности. С целью одновременного удовлетворения этих двух требований в работе опробован метод многократного оплавления, в котором образцы сначала борировали в режиме, обеспечивающем формирование структуры с большим количеством боридов и борокарбидов, после чего легированную поверхность повторно оплавливали на меньшую глубину с кратностью обработок  $n$  от 1 до 10. Показано, что при повторном оплавлении в микроструктуре насыщенной бором поверхности уменьшается отно-

сительное количество первичных кристаллов избыточных фаз и соответственно растет доля эвтектической составляющей, исчезают крупные скопления высокобористых фаз и происходит их более равномерное распределение в пределах зоны лазерного воздействия. При этом наиболее значительные структурные изменения имеют место при  $n = 2+3$ , после чего дальнейшие циклы обработки утрачивают эффективность влияния на характер микроструктуры.

Согласно данным дюрOMETрического анализа (таблица), наибольшие значения твердости присущи структурным зонам с высокой плотностью выделений боридов и борокарбидов. Отмеченные выше отличия фазового состава обуславливают различный уровень усредненных значений твердости борированных слоев в сталях разных марок. От марки стали зависит также характер кривых распределения твердости по глубине в слоях лазерной мишени, прилегающих к обогащенной бором зоне. Так, в сталях 40X13M3Ф, 45 и У10 непосредственно под легированным слоем залегает достаточно протяженная (500÷600 мкм) зона твердофазной закалки, твердость которой закономерно возрастает от ~ 7,5 ГПа до ~ 11,0 ГПа с ростом содержания углерода. В то же время в аустенитной стали 12X18H10T, относящейся к разряду неупрочняемых термической обработкой, твердость резко падает при переходе через границу оплавления и в нижележащих слоях матричного материала остается практически неизменной.

Таблица - Микротвердость структурных составляющих  $H'_{50}$  и усредненные значения твердости  $\bar{H}'_{50}$  лазерно-борированных сталей.

| Марка<br>стали | $H'_{50}$ , ГПа                   |                |                                         |                                   |                                       | $\overline{H'_{50}}$ ,<br>ГПа |
|----------------|-----------------------------------|----------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
|                | Структурная составляющая          |                |                                         |                                   |                                       |                               |
|                | $\alpha(\gamma)$ + эв-<br>тектика | эвтек-<br>тика | $\text{Fe}_2\text{B} +$<br>$\text{FeB}$ | $\text{Fe}_3(\text{C}, \text{B})$ | $\text{M}_{23}(\text{C}, \text{B})_6$ |                               |
| 12X18H10T      | 5,4±0,3                           | 6,4±0,3        | 15,7±0,9                                | -                                 | -                                     | 6,3                           |
| 40X13M3Ф       | -                                 | 11,8±0,6       | 19,5±1,1                                | -                                 | 15,3±0,9                              | 12,2                          |
| 45             | 11,3±0,5                          | 13,8±0,7       | 17,2±0,6                                | 12,9±0,9                          | -                                     | 15,1                          |
| У10            | 13,5±1,2                          | 14,7±0,7       | 21,3±0,8                                | 13,9±0,8                          | -                                     | 17,8                          |

При оплавлении легирующих покрытий постоянной толщины с увеличением  $Q$  показатели твердости всех структурных зон, а также значения  $\bar{H}'_{50}$  монотонно снижаются, оставаясь более высокими для стали У10 с наибольшим марочным содержанием углерода. Наоборот, в случае обработки с фиксированной плотностью мощности излучения имеет место увеличение твердости металлографически дифференцируемых зон и величины  $\bar{H}'_{50}$  по мере роста параметра  $\delta$ .

По результатам выполненных исследований построены обобщенные графические зависимости  $\bar{H}'_{50}(\delta, Q)$ , которые могут использоваться в практике лазерного легирования для назначения режимов обработки, обеспечивающих требуемый уровень упрочнения поверхности.

## РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ПРИНЦИПОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ МЕТОДОМ НАПРАВЛЕННЫХ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Любченко А.П., Евсюкова Н.Н., Сатаковский Е.А., Соболев В.Н., Чигрина Т.В. (ГП "Завод им. Малышева", г. Харьков, Украина)

*A new method of vibrotreatment is presented. The optimum regimes of dimension stabilisation and residual stresses reduction in details are specified.*

Стабилизация размеров крупногабаритных сварных узлов, тонкостенных отливок, деталей из высокопрочных сталей, термообрабатываемых на структуры мартенсита и бейнита, является одной из важнейших задач современного машиностроения и в большинстве случаев решается путем снижения остаточных макронапряжений с помощью отжига или отпуска деталей. Проведение такой термообработки (особенно для крупногабаритных деталей) является весьма трудо- и энергоемким, а также экологически вредным процессом. В ряде случаев габариты деталей вообще не позволяют проводить нагрев в печи. Поэтому, как за рубежом, так и на Украине получают развитие методы стабилизации размеров деталей с помощью вибрационной обработки. Наибольшее распространение получили такие методы виброобработки, при использовании которых в деталях возбуждаются вынужденные колебания. Применение этих методов значительно снижает энергозатраты и трудоемкость стабилизирующей обработки деталей, однако связано с использованием сильно шумящих вибраторов, что не всегда является приемлемым и в некоторых случаях требует создания специальных звукоизолированных участков. Кроме того, использование внешних источников вынужденных колебаний затрудняет возможность управления основным параметром технологического процесса - величиной динамических напряжений. В каждом случае они достаточно случайны и в значительной степени зависят от конструкции обрабатываемой детали, условий крепления детали и источника вибрации, а также квалификации персонала. С другой стороны, эффективность виброобработки в значительной мере определяется материалом деталей, конструкцией и техноло-

гией получения сварных швов, а также рядом других факторов, которые необходимо определять в каждом конкретном случае.

В настоящей работе исследован метод вибрационной обработки, свободный от указанных недостатков. Суть метода заключается в возбуждении в детали свободных затухающих колебаний после приложения статической контролируемой нагрузки и импульсного снятия этой нагрузки (ВИР - обработка). Целью работы являлась разработка основных параметров вибрационной обработки методом возбуждения направленных свободных колебаний с использованием импульсной разгрузки предварительно нагруженного до заданной нагрузки образца.

В задачи исследования также входило определение эффективности этого метода для снижения остаточных напряжений и стабилизации размеров образцов после сварки в сравнении с обычной виброобработкой, вылеживанием (или низкотемпературным старением) и традиционно применяемым отжигом при температуре  $650^{\circ}\text{C}$ .

Для проведения исследований были специально разработаны кольцевые образцы, позволяющие моделировать различные типы сварных соединений, определять величину остаточных напряжений, с высокой точностью оценивать стабильность размеров при различных воздействиях и проводить отработку режимов виброобработки.

При выполнении работ определены оптимальные параметры процесса ВИР - обработки (величина статических и динамических напряжений, величина и знак остаточных напряжений, число циклов обработки и др.) и установлено, что наиболее эффективным является режим, при котором сумма начальных динамических и статических напряжений примерно на 10% превышает предел пропорциональности материала (в случае сварных деталей - материала шва), а число циклов обработки (для создания более равномерного напряженного состояния) должно быть не менее 5...10.

Проведено сравнительное комплексное исследование эффективности различных стабилизирующих обработок: отжига при  $t=650^{\circ}\text{C}$ , виброобработки с возбуждением в детали вынужденных колебаний и ВИР - обработки. Показано, что все исследованные методы стабилизации позволяют снизить остаточные макронапряжения в 1,4...2,3 раза. В то же время установлено, что изменение остаточных макронапряжений не является единственным критерием эффективности процесса, т.к. величина снижения остаточных напряжений не связана однозначно со стабилизацией геометрических размеров.

При оптимальных параметрах процесса ВИР - обработки происходит стабилизация геометрических размеров деталей с такой же эффективностью, как и при отжиге. Однако по целому ряду параметров (энерго-

емкость, трудоемкость, экологические аспекты), преимущества ВИР - обработки неоспоримы.

Проведенная нами работа закладывает научные принципы выбора оптимальных параметров ВИР - обработки конкретных деталей и узлов и позволяет уверенно рекомендовать этот метод в качестве замены как отжигу, так и виброобработке с возбуждением вынужденных колебаний.

## РОЗРОБКА САПР ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ РІЗАННЯ ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мазур М.П., Мілько В.В. (ТУП, м. Хмельницький, Україна)

*There has been created an integrated model of the plastic materials cutting that allows quantitative assessment and estimation of the character of the instrument wear during any of the cutting condition. The comparison of the calculated data obtained with the experimental ones showed fine coincidence of the values.*

Аналітичне визначення контактних напружень на передній і задній поверхнях інструменту (ПІІ і ЗІІ) в сукупності із температурними явищами дозволяє спрогнозувати міцність різального інструменту, його зношування і оптимальні умови обробки матеріалів, що стає особливо актуальним в умовах малосерійного виробництва для інструментів, оснащених непереточуваними пластинками із зміцнюючою фаскою.

Згідно останніх результатів В.С.Кушнера [1], роль фаски, розміри якої менші за довжину контактної ділянки, полягає в утворенні на ній жорсткого загальмованого тіла, яке починає виконувати функції

різального леза. Крім жорсткого тіла висотою  $h_2$  (рис.1), на іншій частині передньої поверхні утворюється тонкий загальмований шар стружки довжиною  $l_0$ , а на самій вершині - клиноподібне тіло, форма якого визначається умовами неперервності швидко-

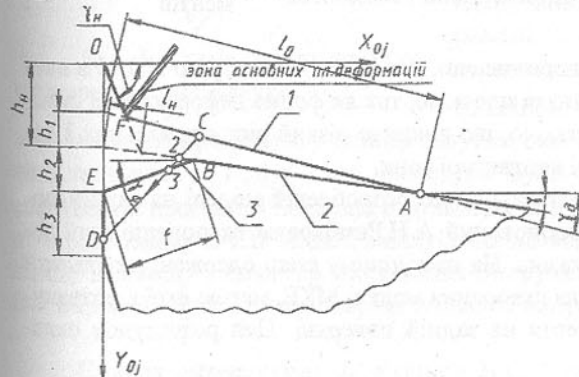


Рис. 1. Форма дійсного різального леза для інструменту з фаскою.



стей деформацій в зоні первинної пластичної деформації [1]. Таким чином, незалежно від початкової форми різального леза, основна частина контактної зони буде еквівалентна контакту між стружкою і різальним клином з плоскою передньою поверхнею (рис.1).

Результатами розрахунку по розробленій моделі будуть напруження в кожній точці ПП та степінь деформації зрізаного шару. Це дає можливість розрахувати нові, уточнені значення контактних температур на ПП і ЗП. Для цієї мети використовується метод джерел теплоти, що діють на елементарних ділянках вздовж різальної кромки і вздовж передніх і задніх поверхонь.

Що до величини і закону розподілу дотичних напружень на задній поверхні, на даний час не існує достовірних рекомендацій. Тому було запропоновано їх визначати методом суперпозиції полів напружень від зони первинної деформації і зони пружного відновлення, кожне з яких розраховується методом кінчених елементів по схемі, представлений на рис.2.

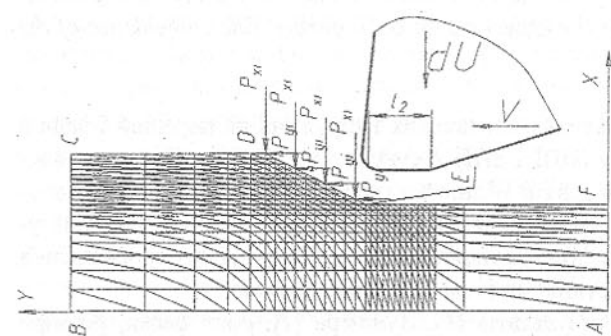


Рис. 2. Базова модель для розрахунку контактних напружень на ЗП методом кінчених елементів.

аналітичних розрахунків.

Розрахунками було встановлено, що фаска контакту по ЗП ні в якому разі не може бути прийнята плоскою, так як форма деформованої силими  $P_{xi}$  і  $P_{yi}$  поверхні буде такою, що викличе різкий ріст нормальних і дотичних напружень на кінці контактної зони.

На першому етапі розрахунку по розробленій моделі на задній поверхні приймається, запропонований А.Н.Резніковим експоненційний закон зміни дотичних напружень. На наступному етапі одержані результати передаються в програму для створення моделі МКЕ, метою якої є розрахунок дійсних напружень тертя на задній поверхні. Цей розрахунок складається з трьох етапів:

Дотичні та нормальні напруження в точках E і D площини зсуву визначались за допомогою розробленої термомеханічної моделі процесу різання. Модель було тестовано по результатам експериментів і

1.Визначення напруженого поля в МКЕ-моделі і форми деформованої поверхні різання від дії нормальних і дотичних напружень в зоні зсуву.

2.Визначення реального профілю контактної зони по задній поверхні і апроксимація її сплайном.

3.Моделювання пружно-пластичної взаємодії між контактною поверхнею інструменту і пружно-відновлювальною поверхнею різання, шляхом втискування інструменту в поверхню різання, до досягнення величини заданого критерію. Це дає можливість визначити нормальні і дотичні напруження тертя в кожній точці контакту по ЗП. Одержані напруження тертя  $q_{f2}$  передаються в термомеханічну модель процесу різання для розрахунку нових, уточнених параметрів пластичної деформації, напружень і температури [2]. Це все складає внутрішній цикл розрахунку САПР, який повторюється до стабілізації результатів.

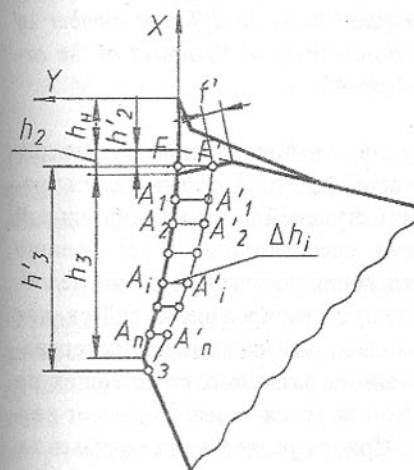


Рис. 3. Схема розрахунку форми поверхні зношування.

Таким чином термомеханічна модель дозволяє визначити всі дані, необхідні для формули розрахунку інтенсивності і величини зношування, які оцінювались по методиці Ю.Г. Кабалдіна [3] з урахуванням корекційних експериментальних коефіцієнтів. Тобто, маючи значення температури, напружень тертя, можна розрахувати величину зношування  $\Delta h_i$  в кожній  $i$ -й точці контактної поверхні  $h_3$  (рис.3). Для об'єднання одержаного профілю в єдину контактну поверхню всі отримані точки зсуваються вліво на величину  $x_F - x_{F1}$  і апроксимуються

сплайном. Цим етапом закінчується

зовнішній цикл розрахунку і знову запускається внутрішній цикл при нових значеннях  $f', h_2, h_3$ . Ця процедура була реалізована авторами в спеціальній програмі і показала результати, близькі до дійсних. Включення в розроблену САПР моделі зношування дозволить розраховувати в динаміці величину і характер зношування інструменту при будь-яких режимах обробки і прогнозувати період стійкості інструменту.

Список літератури: 1. Кушнер В.С. Термомеханическая теория процесса непрерывного резания пластических материалов. - Иркутск:

Изд-во Иркутского ун-та, -1982 -180с. 2. Мазур М.П. Термомеханічна теорія розрахунку параметрів контактної зони при різанні пластичних матеріалів// Проблеми сучасного машинобудування / Збірник наукових праць.-Хмельницький: ТУП, 1996. С.8-12. 3. Кабалдин Ю.Г., Молокалов Б.И., Высоцкий В.В. Расчет износа режущего инструмента на основе структурно-энергетического подхода к его прочности //Вестник машиностроения. -1993.-№9. -С.33-36.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ КОМБИНИРОВАННЫМИ РАЗВЕРТКАМИ

Малышко И.А., Киселева И.В. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*Fulfillment of combined reamers according to the scheme of working (consecutive or parallel) with variable angular steps or different number of prongs on the stages allows to raise the productivity of treatment of the aperture and simultaneously helps to raise its quality.*

При обработке ступенчатых отверстий комбинированными развертками наибольшая эффективность достигается при параллельной схеме резания. Однако одновременная работа двух ступеней ведет к значительной концентрации составляющих сил резания, следовательно, к увеличению разбивки отверстий. Проведенные исследования показали, что этот недостаток можно устранить за счет неравномерного распределения зубьев, для одномерных разверток или комбинированных, работающих по последовательной схеме резания. Для комбинированных разверток, работающих по параллельной схеме резания, вместо разности угловых шагов делают разное число зубьев на каждой ступени. Причем разность чисел зубьев не должна превышать двух. При таком расположении каждый последующий зуб смещен относительно предыдущего на величину разности угловых шагов, принятую для одномерных разверток.

При наличии внешних силовых колебательных воздействий на технологическую систему вибрационные волны от предыдущих зубьев срезаются последующими. При этом огранка отверстий практически устраняется, а частота колебаний увеличивается. Частота колебаний в этом случае определяется временем поворота инструмента на угол равный разности угловых шагов зубьев развертки.

При такой схеме резания калибрующая часть развертки также снижает припуски, величина которых соизмерима с радиусом округления при вершине зуба. В результате на калибрующей ленточке возникают большие

радиальные силы упруго-пластического контакта, которые демпфируют радиальные колебания развертки.

Выполненные экспериментальные исследования по обработке ступенчатых отверстий развертками с предложенной схемой распределения зубьев показали, что разбивка отверстий переходит в усадку, а величина огранки уменьшается с 15-20 мкм до 3-5 мкм. Характерно, что при минимальной величине огранки отверстий наблюдается минимальная величина шероховатости обработанной поверхности.

Таким образом, предложенные конструкции комбинированных разверток позволяют в 2 раза повысить производительность обработки ступенчатых отверстий при одновременном повышении качества обработки.

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕНКЕРА НА ЛИМИТИРУЮЩУЮ ТОЛЩИНУ РЕЖУЩЕЙ ПЛАСТИНЫ

Малышко И.А., Сурженко А.Н. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*The article contain some information about choice of geometry parameters of cutting insert of axial tools. The admissible thickness of cutting insert is determined by base kinematic of boring process.*

Данная работа является продолжением исследований, выполненных автором [1], по определению лимитирующей толщины режущей пластины зенкера из условия кинематики процесса зенкерования. На основании полученных аналитических зависимостей, определяющих предельную толщину пластины, выполнено численное исследование влияния на нее геометрических параметров режущей части зенкера и режимов резания.

В результате анализа исследований, представленных в работе [1], установлено, что кинематический главный задний угол зенкера  $\alpha_k$  не всегда гарантирует отсутствие интерференции задней поверхности с поверхностью резания. Это связано с тем, что поверхность резания при зенкерованиях является винтовой, а задняя поверхность зуба зенкера выполняется по плоскости. При определенном сочетании режимов резания, требуемой толщины пластины и главного заднего угла возможен контакт нерабочей части задней поверхности инструмента с поверхностью резания.

Вероятность такого контакта задней поверхности с поверхностью резания определяется зависимостью [1]:

$$h_{\max} = l \cdot \sin \beta, \quad (1)$$

где  $\beta = 90^\circ - (\gamma + \alpha)$  - угол заострения;

$\gamma$  - главный передний статический угол зенкера;

$\alpha$  - главный задний статический угол;

$l$  - допустимая протяженность главной задней поверхности пластины.

Допустимая протяженность главной задней поверхности пластины  $l$ , на данном этапе исследований, может быть определена по приближенной зависимости вида

$$l = \frac{2 \cdot R^2 \cdot (R \cdot f - P_f \cdot \cos \alpha)}{R^2 \cdot \cos^2 \alpha - (R \cdot f - \cos \alpha \cdot P_f)^2}, \quad (2)$$

где  $R = R_{\min} + Bm_{\text{const}} \cdot \sin \varphi$ ,

$$f = \sin \alpha \cdot \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad P_f = \frac{S \cdot \operatorname{tg} \varphi}{2\pi}.$$

Для определения диапазона исследуемых значений главного заднего угла  $\alpha$ , главного переднего угла  $\gamma$ , главного угла в плане  $\varphi$ , радиусов обрабатываемых отверстий  $R$  и подач  $S$  выполнен анализ их влияния на лимитирующую толщину пластины, исходя из кинематики процесса зенкерования. Установлено, что минимальное значение допустимой толщины пластины соответствует максимальному значению переднего угла, который для сборных зенкеров  $\gamma_{\max} = 12^\circ$  [2]. Угол в плане  $\varphi$  принимался постоянным, равным  $60^\circ$  [2]. Главный задний угол изменялся в пределах от  $5^\circ$  до  $20^\circ$ . Интервал исследуемых диаметров зенкеров принят - 10...120 мм.

Влияние указанных параметров на допустимую толщину пластины представлено в таблице.

Таблица - Значение лимитирующей толщины режущей пластинки зенкера.

| Главный задний угол        | Параметры пластины | Подача $S$ , мм/об                 |     |      |      |
|----------------------------|--------------------|------------------------------------|-----|------|------|
|                            |                    | 0,5                                | 0,9 | 1,2  | 2,4  |
|                            |                    | Радиус обрабат. отверстия $R$ , мм |     |      |      |
| $\alpha_{\min} = 5^\circ$  | $h$ , мм           | 1,1                                | 0,8 | 14,7 | 14,1 |
| $\alpha = 10^\circ$        | $h$ , мм           | 2,4                                | 2,1 | 31,4 | 30,7 |
| $\alpha_{\max} = 20^\circ$ | $h$ , мм           | 6,7                                | 6,4 | 83,4 | 82,9 |

Анализ таблицы показывает, что с увеличением подачи допустимая толщина пластины, независимо от радиуса инструмента, уменьшается. В

то время как рост заднего угла  $\alpha$  обеспечивает увеличение лимитирующей толщины пластины  $h_{\max}$ .

Так как определенному диапазону диаметров зенкеров соответствует допустимая величина подачи [3], то взаимное влияние подачи и диаметра инструмента на допустимую толщину пластины удобно проследить на графике (см. рис.).

Из графика видно, что с увеличением диаметра зенкера, при соответствующей величине подачи, допустимая толщина режущей пластины увеличивается.

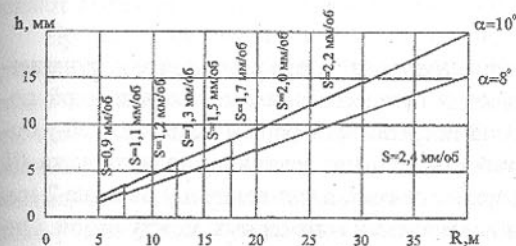


Рис. Зависимость лимитирующей толщины режущей пластины зенкера от радиуса обрабатываемого отверстия.

для  $\alpha = 10^\circ$  при  $D \geq 25$  превышает значение толщины, регламентированное ее прочностью.

При меньших значениях диаметров и соответствующих величинах задних углов наблюдается касание нерабочей частью задней поверхности режущей пластины с толщиной  $h = 6$  мм поверхности резания.

**Список литературы:** 1. Сурженко А.Н. Определение лимитирующей толщины режущей пластинки из условия кинематики протекания процесса зенкерования // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Сб. научных трудов. - Донецк: ДонГТУ, 1997. Вып. 4. С. 159-164. 2. Справочник инструментальщика. / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др. Под общ. ред. И.А. Ординарцева. - Л.: Машиностроение, 1987. - 846 с. 3. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х т. Т.2./ Под. ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение, 1985. - 496с.

Согласно рекомендациям [2] толщина режущей пластины зенкера, регламентируемая прочностью, составляет 6 мм.

На основании численного анализа допустимая толщина пластины, определяемая кинематикой процесса резания, для  $\alpha = 8^\circ$  при  $D \geq 33$  и



## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Маляренко А.Д. (БГПА, г. Минск, Республика Беларусь)

*The factors, which influence on accuracy and productivity of finish operations on precision optical surfaces are considered. Control parameters and their influence on efficacy of formabuilding, conditions of chuses optimal combination criteris this parameters, methods of design of cutting tools, new designs of equipment are developed.*

Точностные и качественные требования, предъявляемые к функциональным поверхностям оптических деталей отличаются повышенной жесткостью. Величина допускаемой погрешности формы поверхностей у оптических деталей средней точности меньше величины поля допуска 01 качества, шероховатость поверхности составляет величину порядка 2 нм, а макро- и микропогрешности поверхности соизмеримы между собой. Оптическая промышленность является уникальной, так как здесь притирочные и доводочные операции организованы в условиях серийного производства. Автоматизация подобного производства является актуальной задачей, однако она осложнена достаточно большим количеством факторов, влияющих на данные процессы, многовариантностью возможных решений и недостаточной стабильностью протекания процессов обработки.

Нами рассматривались те операции технологического процесса, влияние которых наиболее существенно на точность и качество получаемых оптических деталей, а также наиболее трудоемкие: тонкое алмазное шлифование (ТАШ), полирование, блокирование заготовок на групповых наклеечных приспособлениях и разблокирование.

Оптимизация технологических процессов обработки производилась на основе комплекса исследований, включающего экспериментальные и теоретические исследования закономерностей протекания процессов обработки, математическое моделирование, численные и производственные эксперименты.

Окончательные операции обработки высокоточных оптических поверхностей, отличаются наличием большого количества факторов, влияющих на ход процесса. К ним относятся геометрические (соотношение диаметров инструмента и обрабатываемого блока заготовок, размеры рабочей зоны и исполнительных звеньев применяемого технологического оборудования), кинематические (скорости относительного и переносного движения притира, заготовок) факторы, вид траектории движе-

ния инструмента, усилие прижима инструмента к заготовке, распределение давления в зоне притирки, состав и концентрация полировальной суспензии, форма полировального инструмента и другие. В связи с этим назначение режимов обработки представляет собой сложную и трудоемкую задачу. Предложены критерии, позволяющие выбрать оптимальные диапазоны настроечных и кинематических параметров доводки.

Кроме назначения оптимальных величин параметров формообразования, важным является рациональное проектирование конфигурации притира. Разработанные нами методики расчета профиля инструмента позволяют существенно повысить размерную стойкость инструмента.

Проведенные исследования показывают, что на характер работы притира при полировании (доводке) прецизионных поверхностей существенное влияние оказывают гидродинамические эффекты, возникающие в зоне контакта, и поэтому при проектировании инструмента следует учитывать не только соотношение рабочих площадей рабочих участков инструмента, но и размеры, конфигурацию и количество промежутков между этими участками, являющимися каналами для СОЖ. Проведенные исследования показывают, что для каждого режима полирования можно подобрать инструмент с оптимальной формой каналов. В свою очередь, имея готовый инструмент, можно выбрать наиболее приемлемые для него режимы полирования.

В процессе эксплуатации пленочных полимерных притиров было замечено, что температура окружающей среды оказывает влияние на точность обработанной поверхности при прочих равных условиях. В результате проведенных исследований установлена взаимосвязь температуры полировальной суспензии с точностью формы обрабатываемой поверхности и производительностью процесса полирования, а также возможность управления формообразованием при доводке за счет температуры СОЖ.

Погрешности, возникающие при установке заготовок оптических деталей на станок для обработки, оказывают существенное влияние на окончательную погрешность детали. Их можно разделить на погрешности базирования и закрепления. Погрешности базирования приводят к возникновению децентричности, косины и разнотолщинности деталей. Если ранее эти погрешности были регламентированы не слишком строго, то сейчас, они выходят по значимости в один ряд с погрешностями формы поверхностей. Для уменьшения величин данных погрешностей предложены новые схемы крепления, расположения заготовок и конструкции приспособлений.

Исследовано влияние законов нагрева и охлаждения наклеечников на величину возникающей погрешности закрепления заготовок оптиче-

ских деталей, и разработаны методы адгезионного крепления с минимальными погрешностями. Установлено, что наименьшую погрешность закрепления даст метод нагрева клеевой прослойки, без существенного изменения температуры детали и наклеечника. Данное положение выполняется при применении разработанного нами метода лазерной блокировки и разблокировки оптических деталей. Использование указанного метода позволяет существенно (в несколько раз) повысить производительность и уменьшить погрешности закрепления нежестких оптических деталей.

Проведенный комплекс исследований, конструкторских и технологических разработок позволяет реализовать инженерно-управляемую обработку высокоточных поверхностей оптических деталей.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКРЫТЫХ БАЗ ДЛЯ БАЗИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Маневич В.В., Сысоев Ю.С. (ВИ НГТУ, г. Волгодонск, Россия)

*The procedure of indirect materialization of technological bases is proposed, to base bulky workpieces.*

При механической обработке заготовок крупногабаритных изделий особую роль играет первая операция, на которой создаются опорные базы. На этом этапе часто отсутствуют обработанные поверхности, по которым можно было бы базировать заготовку, поэтому базирование приходится проводить по скрытым базам.

В настоящее время применяется базирование с выверкой, представляющее собой процесс последовательных приближений положения заготовки к требуемому. Это приводит к тому, что базирование крупногабаритных заготовок проводится по прилегающим поверхностям [1], что не всегда позволяет добиться оптимального распределения припуска по обрабатываемым поверхностям. В работе [2] авторами предложен метод оптимального базирования заготовок крупногабаритных деталей произвольной формы, а в работе [3] его реализация для базирования заготовок крупногабаритных цилиндрических изделий с помощью системы домкратов. Этот метод состоит в том, что после измерения координат некоторого числа точек поверхности заготовки, установленной на нескольких домкратах и расчетов на ЭВМ, получают величины необходимых координирующих перемещений. Недостатком этого метода является то, что для контроля за точностью положения заготовки после окончания базирования необходимо повторное проведение измерений, что существенно увеличивает объем

времени, затрачиваемого на базирование.

В этой работе авторы предлагают методику базирования заготовок крупногабаритных деталей на первой операции механической обработки с помощью опосредованной материализации технологических баз, которая в совокупности с методами, предложенными в работах [2,3], позволяет устранить указанный недостаток.

Базирование заготовок крупногабаритных деталей с использованием координатных методов можно условно разделить на три этапа:

- 1) выбор технологических баз, определяющих систему координат изделия;
- 2) определение параметров этих баз в фиксированной системе координат, связанной со станком;
- 3) собственно базирование, то есть приведение заготовки в надлежащее положение относительно режущего инструмента с использованием информации, полученной в предыдущем пункте.

Базирование можно рассматривать как приведение системы координат, связанной с изделием, в определенное положение относительно системы координат станка. Так как технологические базы связывают с изделием некоторую систему координат, то базирование будем сводить к приведению именно этой системы координат в требуемое положение. Как известно [4], три точки твердого тела, не лежащие на одной прямой, полностью определяют его положение в пространстве, поэтому при базировании заготовку необходимо расположить таким образом, чтобы эти точки заняли определенное положение относительно системы координат станка.

Если  $M_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) точки поверхности заготовки, координаты которых  $(x, y, z)$  измерены в системе координат станка, три из которых  $M_1(x_1, y_1, z_1)$ ,  $M_2(x_2, y_2, z_2)$ ,  $M_3(x_3, y_3, z_3)$ , не лежащие на одной прямой, материализованы, то используя методы, описанные в работах [2,3,5], можно определить параметры оптимальных технологических баз, которые целесообразно использовать при базировании заготовки для механической обработки. Тем самым определяются координаты направляющих векторов осей и начала системы координат изделия  $M_0(x_0, y_0, z_0)$  относительно системы координат станка. Координаты материализованных точек в системе координат изделия найдутся по формулам:

$$\begin{aligned} x_i' &= t_{11}(x_i - x_0) + t_{21}(y_i - y_0) + t_{31}(z_i - z_0) \\ y_i' &= t_{12}(x_i - x_0) + t_{22}(y_i - y_0) + t_{32}(z_i - z_0) \\ z_i' &= t_{13}(x_i - x_0) + t_{23}(y_i - y_0) + t_{33}(z_i - z_0) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $t_{kj}$  ( $k, j = 1, 2, 3$ ) - направляющие косинусы осей изделия относительно координатной системы станка.

Придание системе координат изделия в результате базирования тре-

буемого положения, определяемого выбором технологических баз, задаст нам координаты материализованных точек в системе координат станка. Таким образом, при базировании заготовки достаточно проследить за тем, чтобы материализованные точки заняли в системе координат станка известное положение. Удобнее всего, если материализованы опорные точки. В этом случае сразу известны направления и величины перемещений базирующих опор. В том случае, когда материализованы не опорные точки, для проведения базирования достаточно знать координаты этих точек в системе координат изделия, вычисленные по формулам (1), и координаты этих же и опорных точек в системе координат станка. Для определения базирующих перемещений необходимо решить три системы линейных уравнений третьего порядка, определитель которых оказывается равным четырем квадратам площади треугольника, образованного материализованными точками, что означает единственность решения каждой из систем. Из сказанного следует, что для проведения базирования измерения можно проводить как на станке, непосредственно перед механической обработкой поверхности заготовки, так и вне станка.

Предлагаемая методика позволяет не только упростить проведение контроля точности базирования, но и по результатам выходного контроля геометрии заготовки крупногабаритного изделия, проводимого с использованием координатных методов (может быть на другом предприятии или в другом цехе), дать рекомендации по базированию этой заготовки при ее механической обработке, за счет передачи вместе с заготовкой информации об использованной системе координат изделия и о положении в ней материализованных точек.

**Список литературы:** 1. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1. Под общей ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - М: Машиностроение 1986 656с. 2. Сысоев Ю. С., Маневич В.В. Выбор технологической базы при механической обработке крупногабаритных изделий тяжелого машиностроения 13 С. Дел. в ВИНТИ 27. 01. 97, № 230 В97. 3. Сысоев Ю.С. Ориентация крупногабаритных цилиндрических изделий при их обработке// Вестник машиностроения 1996.- №3. С.39-41. 4. Базров Б.М. Точность приспособлений в машиностроении М.: Машиностроение, 1984,- 256 с. 5. Сысоев Ю.С. Методика определения оси и диаметра прилегающего цилиндра крупногабаритного корпусного изделия// Вестник машиностроения 1992.- № 1. С. 37-39.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУДА РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Манеров Г. Н., Зайцева И. Г. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*In the article the gear of an evaluation of effectiveness of a transactions of the workers of firm in conditions of a market system is uncovered.*

Рыночные преобразования, приватизация государственной собственности изменили не только статус предприятий, но и положение работников на рынке труда, их отношение к труду. Это связано, в частности, с игнорированием планирования и нормирования труда, низким уровнем заработной платы, постоянными задержками её выплаты.

Решающее влияние на отношение к труду большей части трудящихся оказывают не отношения собственности, а система управления трудом, основой которой является оценка эффективности труда работников предприятия.

В настоящих условиях инфляция, обесценивая гривну, искажает и цену рабочей силы – заработную плату. Все время необходимо пересматривать оклады, тарифные ставки, размеры премирования и т.д. Оценка коллективного труда на рынке товаров и услуг происходит с помощью цен, которые тоже непрерывно меняются. Значит, и фонд оплаты труда неустойчив, а главное, не связан с результатами труда.

Система оценки о оплаты труда, действовавшая ранее пришла в противоречие с рыночными условиями работы предприятий. Чтобы повысить эффективность производства и добиться конкурентоспособности предприятия необходимо перестроить систему управления трудом с учетом рыночных принципов.

Фонд оплаты труда в рыночных условиях должен зависеть в значительной степени от объемов реализованной продукции, который может изменяться. Значит может колебаться и величина фонда оплаты труда. Однако планирование оплаты труда на предприятии остается по прежнему. Фактически под заранее заданную величину фонда оплаты труда предприятия подгоняет нормативы зарплаты, несмотря на то, что условия рынка резко меняют объемы продаж продукции так, что никакие нормативы не соответствуют потребностям формирования необходимого фонда оплаты труда, в зависимости от конъюнктуры.

Действующая система организации оплаты труда неизбежно порождает уравнильность в распределении. Из за ошибок в оценке труда работников предприятия она имеет слабую стимулирующую роль. Кроме то-



го она не увязана с конечными результатами труда структурных подразделений и всего предприятия в целом.

Поэтому для измерения индивидуального труда рекомендуется использовать коэффициент эффективности труда ( $K_{ЭТ}$ ).

Использование на практике известного показателя труда – коэффициента трудового участия (КТУ) не привело к росту эффективности производства.

В предлагаемой методике труд основного работника оценивается с помощью коэффициента эффективности труда, который рассчитывается следующим образом:

$$K_{ЭТ} = K_{ТВ} \cdot K_{КТ},$$

где  $K_{ТВ}$  – коэффициент трудового вклада исполнителя;

$K_{КТ}$  – коэффициент качества труда исполнителя.

Коэффициент качества труда определяется в соответствии с действующей на предприятии комплексной системой управления качеством продукции.

Практическое назначение коэффициента трудового вклада ( $K_{ТВ}$ ) состоит в том, что он должен отражать результат труда исполнителя, обеспечивая при этом его взаимосвязь с уровнем заработной платы. Принимая во внимание, что коллектив объединяет исполнителей различных категорий, поэтому рекомендуется следующие способы применения  $K_{ТВ}$ .

Первый способ основан на том, что труд всех категорий работающих нормируется, тогда фактический  $K_{ТВ}$  следует определять по единому выражению:

$$K_{ТВ\phi} = K_{ВП\phi} + K_{СП\phi} + K_{МО\phi},$$

где  $K_{ВП\phi}$  – фактический коэффициент выполнения задания за соответствующий период времени (смена, сутки, месяц);

$K_{СП\phi}$  – фактический коэффициент совмещения профессии (должности) за тот же период;

$K_{МО\phi}$  – коэффициент многостаночного обслуживания или расширения зоны обслуживания в исследуемом периоде.

Коэффициент выполнения задания определяется с помощью следующей формулы:

$$K_{ВЗ\phi} = \frac{B_{\phi}}{B_n},$$

где  $B_{\phi}, B_n$  – соответственно фактический и плановый объем нормированного задания за определенный период времени (смена, месяц), нормо-час, грн.

Коэффициент совмещения профессий (должности) необходимо определить по формуле:

$$K_{СП\phi} = \frac{T_{СП}^{\phi}}{T_{СМ}},$$

где  $T_{СП}^{\phi}$  – фактические затраты рабочего времени на выполнение работ по совмещению профессий (должности за соответствующий период времени (час, смена, месяц), час;

$T_{СМ}$  – длительность смены, месяца, час.

Коэффициент многостаночного обслуживания определяется с помощью следующего выражения:

$$K_{МА\phi} = \frac{H_{\phi}}{H_o},$$

где  $H_{\phi}$  – фактическое количество обслуживаемых станков данного вида, шт;

$H_o$  – установленная норма обслуживания данной группы станков, шт.

Второй способ необходимо применять в тех случаях, когда норма времени или нормирование задание для отдельных категорий работающих не устанавливается, то есть  $K_{ТВ}$  определяется в отдельности применительно к основным, вспомогательным рабочим и ИТР. Основным рабочим фактический  $K_{ТВ}$  рекомендуется определять по формуле:

$$K_{ТВ}^{\phi} = K_{ВН}^{\phi} + K_{СП}^{\phi} + K_{НО}^{\phi},$$

где  $K_{ВН}^{\phi}$  – фактический коэффициент выполнения норм труда за определенный период времени (час, смена, месяц).

Коэффициент выполнения норм определяется с помощью следующего выражения:

$$K_{ВН}^{\phi} = \frac{B^{\phi}}{T^{\phi}},$$

где  $B^{\phi}$  – фактический объем работы, выполненный исполнителем за соответствующий период времени (час, смена, месяц), нормо-час;

$T^{\phi}$  – фактически отработанное время данным исполнителем за тот же период времени, час.

Таким образом, рыночная система оценки труда способна повысить эффективность и конкурентоспособность предприятий. Однако многое,

при этом, зависит от внутреннего хозяйственного механизма предприятия, т.е. системы оценки и оплаты труда.

### КОСВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК В ТЯГОВОМ ОРГАНЕ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА

Маренич К.Н., Бурлака А.Н. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*Dynamic overloadings precedes to the break of the hauling chain of conveyer. The efficient method of the detection of overloadings is found on the gauging of the deceleration of power-operated trammel by means of magnetic trans-former and electronical scheme.*

Условия эксплуатации горных машин в очистном забое угольной шахты характеризуются значительными динамическими перегрузками. Попадание негабаритов на став скребкового конвейера приводит к заклиниванию скребков в направляющих и, как следствие, - к стопорению и порыву тяговой цепи. С целью контроля её целостности выпускается аппаратура КДК. Принцип действия основан на контроле процесса перемещения скребков вдоль става конвейера. Практика эксплуатации выявила существенные недостатки аппаратуры КДК. Сложность демонтажа выпшедшего из строя датчика обусловлена зашлифовыванием поверхностей крепёжных элементов перемещающимися скребками и горной массой. Кроме того, аппаратура не позволяет выявить порыв одной из цепей двухцепного (самого распространённого) конвейера, т.к. в этом случае будет иметь место перекося скребков, однако их перемещение не прекратится.

Продолжительная работа конвейера при порыве одной цепи не допустима, т.к. в этом случае усугубляются последствия аварии.

Процессу порыва цепи предшествует её стопорение. Последнее может быть выявлено путём контроля замедления приводного барабана. С этой целью может быть применён способ преобразования скорости вращения зубчатого колеса в последовательность импульсов пропорциональной частоты посредством магнитоуправляемого датчика. При этом по периметру приводного барабана фрезеруются зубья глубиной до 7 мм, а на раме приводного блока (с внутренней стороны) на расстоянии до 5 мм от барабана размещается магнитоуправляемый датчик.

Процесс замедления барабана контролируется сопоставлением продолжительности паузы, следующей за импульсом, с продолжительностью полупериода следования импульса. Преобразование указанных параметров производится в соответствии с авт. свид. СССР № 1242612.

### ВЫБОР ДИАМЕТРА КРУГЛЫХ ПОВОРОТНЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ДЛЯ СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Мартыненко В.А. (ГМетАУ, г. Днепропетровск, Украина)

Шпирка И.И., Доморацкий В.А. (АОЗТ «Юго-Западное», г. Днепропетровск, Украина)

*The recommendations at the choice of a diameter of round rotary cutting plates for the modular cutting tool from conditions of minimization of forces of cutting are resuited.*

Круглые поворотные режущие пластины (ПРП) применяются значительно реже чем многогранные, хотя имеют неоспоримое преимущество с точки зрения стойкости, уменьшения шероховатости, рационального использования режущей кромки. Причиной является резкое увеличение силы резания (особенно радиальной составляющей  $P_r$ ) по сравнению с многогранными ПРП. Вызвано это не только увеличением длины режущей кромки, участвующей в резании - растет ширина срезаемого слоя  $b$ , как в случае уменьшения угла в плане  $\varphi$  для прямолинейной режущей кромки, но и стесненными условиями резания. Последнее вызывает дополнительную деформацию при образовании и сходе стружки, а вследствие этого рост силы и работы резания.

Рекомендации по выбору диаметра круглых ПРП по различным источникам противоречивы и не учитывают увеличение силы резания круглыми ПРП. Так по данным фирмы WIDIA (Salitergasse 7, F-2380 Perchtoldsdorf, OSTERREICH, Tel.: 0043.1.8693 151, Fax: 0043 1 8693 151 40, 0043 1 8690 206 25) круглые ПРП формы RCMT/RCMX диаметром 6-32 мм следует применять для малых глубин резания и больших (до 0,1 диаметра) подач, а по данным предприятия «СКИФ-М» (Россия, 308006 Белгород, ул. Сосновка, промплощадка завода фрез, тел. (07222) 1 32 85, телефакс (07222) 7 03 15) подача не должна превышать 0,3 мм/зуб при глубине резания до 5 мм и диаметре ПРП до 12 мм.

С целью уточнения рекомендаций по выбору диаметра круглых ПРП из условия допустимого увеличения силы резания по сравнению с резанием прямолинейной режущей кромкой кафедрой технологии машиностроения Государственной металлургической Академии (г. Днепропетровск) совместно с АОЗТ Научно-производственным предприятием «Юго-Западное» (320101, Украина, Днепропетровск, ул. Свердлова 16/2, тел. 0038(0) 562 425 954, телефакс: 0038 (0) 562 425 887), являющейся полно-

мочным представителем фирмы WIDIA на Украине, было проведено следующее исследование.

Методом физического моделирования при точении были исследованы силы резания прямолинейной и радиусными (круглая ПРП) режущими кромками. Все лезвия имели одинаковую геометрию и отличались только радиусом кривизны режущей кромки. Диапазон изменения радиусов кривизны  $R - 4 \div 25$  мм, подачи  $S - 0,1 \div 1,6$  мм/об, глубины резания  $t - 0,25 \div 4$  мм.

Сравнивались силы резания радиусными режущими кромками и прямолинейной при эквивалентных сечениях срезаемого слоя. Эквивалентными считались сечения, имеющие одинаковую площадь ( $t \times S = \text{const}$ ), ширину  $b$  и среднюю (для прямолинейной режущей кромки она одинакова по всему сечению) (при резании прямолинейной режущей кромкой угол в плане  $\varphi = \frac{\omega}{2}$ , ширина среза  $b = R \cdot \omega$ , толщина  $a = \frac{S \cdot t}{R \cdot \omega}$ ) толщину  $a$ . Ширина сечения среза определялась как длина дуги окружности  $b = R \cdot \omega$ , где  $R$  - радиус круглой ПРП, а  $\omega = \sqrt{6 - \frac{\sqrt{12 \cdot R \cdot (3 \cdot R - 2 \cdot t)}}{R}}$  - центральный угол соответствующей дуги.

Средняя толщина определялась по площади сечения среза  $a = \frac{S \cdot t}{R \cdot \omega}$ .

В результате исследования установлено, что сила резания радиусной режущей кромкой больше чем при резании такого же по площади среза прямолинейной кромкой. Величина увеличения силы резания зависит от радиуса круглой ПРП, подачи и глубины резания. Относительное увеличение в процентах главной составляющей силы резания по сравнению с силой резания прямолинейной кромкой эквивалентного среза  $\Delta P_z = 19934 \cdot S^{1,7} \cdot t^{0,8} \cdot R^{-2,1} \%$ .

Если при выборе диаметра круглой ПРП исходить из какого-то допустимого относительного увеличения силы резания, то диаметр круглой ПРП

$$d = 223 \cdot S^{0,81} \cdot t^{0,38} \cdot \Delta P_z^{-0,48}$$

Таким образом, диаметр круглой ПРП следует выбирать, исходя из конкретных условий обработки - величины подачи, глубины резания, жесткости системы СПИД и мощности привода (допустимая величина  $\Delta P_z$ ). Формула справедлива для любого сборного инструмента с круглыми ПРП.

Для получения абсолютного значения силы резания круглыми ПРП необходимо обычным способом рассчитать силу резания для эквивалентного прямолинейного сечения и прибавить абсолютное увеличение  $\frac{P_z \cdot \Delta P_z}{100}$ .

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ РЕЗЬБОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Матвиенко А.В., Михайлов А.Н., Кудрявцев А.А.  
(ДонГАСА, ДонГТУ, г. Макеевка, г. Донецк, Украина)

*In is described the theoretikal and experimental researches of the process of simultaneously squeezing out the carving and complex external contour of the thin-wall details by using the rotary-conveyor line systems*

Повышение эффективности изготовления тонкостенных резьбовых изделий (ТРИ) из цветных металлов и их сплавов методом холодного выдавливания [1], возможно только путем решения комплексной задачи: 1) - расширения применения метода холодного выдавливания для резьбообразования и 2) - повышения производительности процессов их изготовления. Решение поставленной задачи и достижение цели осуществлялось в два этапа. На первом этапе:

- теоретически проанализированы условия выдавливания внутренней резьбы обкатыванием наружной поверхности заготовки роликами с радиальной и осевой подачей последних;
- экспериментально исследованы и в промышленных условиях испытаны разработанные способы выдавливания резьбы;
- разработаны новые принципиальные схемы выдавливания резьбы на ТРИ.

Использование станков-автоматов для производства ТРИ не повышает существенно производительность их изготовления, т.к. сами способы выдавливания резьбы являются высокопроизводительными (одновременно формообразуются две поверхности). Резерв повышения производительности изготовления ТРИ имеется при использовании для их производства технологических систем непрерывного действия - автоматических роторных систем [2]. Поэтому, на втором этапе:

- разработаны модели преобразования и технологического процесса изготовления ТРИ;



- разработаны новые методы структурирования и синтеза технологических процессов, основанные на модульном принципе [3];

- разработан новый метод синтеза блоков технологического воздействия АРС для выполнения операций изготовления ТРИ, базирующийся на положениях теории множеств и графов;

- разработаны методы структурирования и синтеза АРС, в основе которых положены гомоморфное отображение структуры технологического процесса на структуру АРС и законы и тождества алгебры логики;

- разработаны кинематическая структура АРС и математические выражения, позволяющие производить их синтез;

- разработаны принципиально-структурные модели АРС;

- исследованы основные показатели качества АРС - производительность и надежность;

- разработан общий алгоритм проектирования АРС для производства ТРИ;

- разработаны типовые конструкции элементов АРС и АРС.

На основании выполненных исследований установлено:

- выдавливание резьбы на тонкостенном изделии возможно только при таком напряженно-деформированном состоянии изделия, которое практически исключает осевые и тангенциальные деформации металла;

- разработанные способы выдавливания резьбы могут быть реализованы практически на любом технологическом оборудовании с использованием специальной или универсальной технологической оснастки и легко автоматизируются;

- структура технологического процесса изготовления ТРИ иерархична; модульный принцип структурирования позволяет создавать различные варианты технологического процесса на различных уровнях иерархии и учитывать специфику конкретных производственных условий;

- структура АРС образует алгебраическую систему - тело, которая позволяет в качестве моделей АРС использовать числовые множества;

- мультипликативная композиция элементов АРС обеспечивает максимальную производительность изготовления ТРИ и надежность АРС.

Таким образом, использование результатов исследований позволяет повысить эффективность изготовления ТРИ на качественно новом технологическом уровне в различных производственных условиях.

**Список литературы:** 1. Г.В. Сопилкин, В.А. Евстратов, О.М. Иванов. Холодная объемная штамповка наковальных гаек // Технология и организация производства: - К.: УкрНИИТИ, 1980, № 3, с. 34-36. 2. Автоматические роторные линии / И.А. Клусов, Н.В. Волков, В.И. Золотухин и др.

- М.: Машиностроение, 1987 - 288 с. 3. Базров Б.М. Новый тип технологии - модульная технология // Прогрессивные технологии машиностроения и современность. Сб. трудов междунаро. науч.-тех. конф. - Донецк: ДонГТУ, 1997 - с. 20-21.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ГИДРОПРЕССОВАНИЯ МНОВОВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТА

Матросов Н. И., Дугадко А. Б., Павловская Е. А.  
(ДонФТИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Technological parameters and conditions of the hydropressing process of composite materials on the basis of copper reinforced by fibers of micrometers and submicrometer cross-section from niobium-titanium alloy have been determined.*

Работа направлена на определение рациональных технологических параметров и условий процесса гидропрессования композиционного материала на основе меди, армированной волокнами микронного и субмикронного сечения из тугоплавких металлов, обеспечивающих повышенный комплекс прочностных и электрофизических свойств. Рациональные режимы обработки должны способствовать формированию в материале волокон благоприятных для свойств изделия тонкой структуры и фазового состава, предотвращать ослабление волокон вследствие механических и химических воздействий, повышать равномерность деформации компонентов заготовки и прочность межкомпонентной связи, снижать стоимость композиционного материала.

Изготовление многоволоконного композита осуществляли методом гидростатического прессования. Для изготовления многоволоконного композита использован сплав на основе ниобия с 50 % вес. титана, выплавленного из чистых ниобия и титана дуговой и последующей электронно-лучевой плавкой. Слиток диаметром 90 мм размещали в стакан из меди наружным диаметром 95 мм и прессовали жидкостью высокого давления на диаметр 53 мм на прессе усилием 1000 тс с использованием контейнера рабочим каналом 96/110 мм с целью придания ему необходимой благоприятной для совместной деформации компонентов исходной структуры.

После механической обработки (обточки) прессованный сердечник размещали в стакан из меди наружным диаметром 68,5 - 74 мм с коэффи-

циентом заполнения по сплаву 25, 45 и 50 %, герметизировали составную биметаллическую заготовку и затем прессовали жидкостью высокого давления на прессе усилием 250 и 1000 тс с использованием контейнеров рабочим каналом 40, 50 и 80 мм на круглый профиль диаметром 3,7 мм. Круглый биметаллический профиль разрезали на мерные длины (~ 200 мм), из них составляли пакет из 211 конструктивных элементов, которые, в свою очередь, размещали в медный стакан наружным диаметром 68,5 - 74 мм и внутренним 60,5 - 64 мм. Предварительно конструктивные элементы обезжиривались, подвергались травлению, пассивации, промывке и сушке. Сборную многостержневую заготовку вакуумировали, герметизировали и вновь деформировали методом гидростатического прессования при комнатной температуре на размер конструктивного элемента очередной сборки диаметром 3,7 мм.

Гидропрессование сборок осуществляли с использованием в качестве рабочей жидкости касторового масла в смеси с добавками высокого давления (например, изобутилового спирта в пределах 10-20 %) и применением конструкции составной заготовки с уменьшенной жесткостью переднего конца на деформирующих матрицах с профилем формообразующей части в форме циклоиды с радиусом равным 1,05 - 1,1 радиуса заготовки с разовыми вытяжками 10 - 20 при давлении жидкости 1200 - 1500 МПа и скоростью прессования 0,3 - 0,4 м/с.

Меньшие значения вытяжки и давления соответствуют деформации четвертой сборки.

Прессование проволоочных заготовок осуществляли на алмазных матрицах с углом  $2\alpha = 40^\circ$ , прутковых - на стальных с тем же деформирующим конусом. При деформации прутков и проволоки разовые вытяжки находились в пределах 3 - 9 и 2 - 4, соответственно, и скорость 0,3 - 0,75 м/с и 0,75 - 4 м/с, давление жидкости - 800 - 1200 МПа.

Четырехкратным повторением операции сборки и прессования с регулированием теплового эффекта в зоне деформации (саморазогрева прессизделия) путем подбора режимов гидропрессования получили провод диаметром 0,5 мм с количеством волокон  $211^3 \sim 9400000$  шт. при диаметре волокон ~ 0,05 мкм, разделенных медной прослойкой 0,025 - 0,05 мкм и коэффициентом заполнения армирующих волокон 10 - 20 %.

В целях выбора эталонных режимов гидропрессования конкретной конструкции составной заготовки осуществлен сквозной контроль температуры путем калориметрических измерений, металлографических исследований полуфабриката или изделия на предмет обнаружения диффузионного взаимодействия сплава и меди.

Предварительная оценка температуры саморазогрева при деформации может быть произведена по формуле:

$$T = \frac{\sigma I n R (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)}{I C Q}$$

где  $\sigma$  - сопротивление деформированию композита. кг/мм<sup>2</sup>;

$R$  - вытяжка;

$\mu$  - коэффициент трения в очаге деформации;

$\alpha$  - угол деформирующего конуса матрицы, град;

$I$  - механический эквивалент тепла, 427 кгс м/ккал;

$C$  - удельная теплоемкость матрицы и рабочей среды, кал/г град.

$Q$  - плотность материала заготовки, г/см<sup>3</sup>.

Поддерживая температуру обработки изделия в течение всего технологического процесса не выше температуры начала диффузионного взаимодействия армирующих волокон и меди матрицы, можно достичь устранения причины охрупчивания и обрывности волокон.

Температурная область обработки в зависимости от величины суммарной вытяжки и диаметра волокон композита в очаге деформации должна составлять: 200 - 300<sup>0</sup> С при диаметре армирующих волокон меньше 1 мкм (вытяжка  $R > 10^5$ ); 250 - 350<sup>0</sup> С при диаметре армирующих волокон больше 1 и меньше 10 мкм ( $10^7 < R < 10^9$ ); 300 - 400<sup>0</sup> С при диаметре больше 10 мкм ( $R < 10^7$ ).

На подобранных эталонных режимах прессования осуществлена общая суммарная вытяжка больше  $10^{12}$  без промежуточных отжигов. Полученные опытные партии многоволоконного композиционного провода с ультратонкими волокнами, обрывность волокон диаметром ~ 0,05 мкм на проводе диаметром 0,5 мм с количеством волокон 9,4 млн., измеренная методом сканирующей электронной микроскопии, составляет несколько процентов.

Временное сопротивление на разрыв образцов диаметром 0,5 мм объемным содержанием волокон 15,5 % и количеством волокон ~ 9400000 штук в зависимости от диаметра волокон составляет: диаметром 0,2 мкм -  $\sigma_s = 755$  МПа; 0,1 мкм -  $\sigma_s = 800$  МПа; 0,06 мкм -  $\sigma_s = 838$  МПа.

Уменьшение диаметра волокон в композите обеспечивает наиболее благоприятное сочетание механических и электрофизических свойств многоволоконистых проводов на основе ниобий-титан в медной матрице. Повидимому, это можно обеспечить более сильным влиянием частиц  $\alpha$  и  $\beta$  - фаз в ультратонких ниобий-титановых волокнах и их размерным эффектом.

# РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА УДАЛЕННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ПО УПРУГОЙ СХЕМЕ

Матюха П.Г., Полтавец В.В. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*It is adduced the calculation of removed material quantity with grinding by elastic setup with constant radial cutting force  $P_r$ .*

При шлифовании по упругой схеме с постоянной радиальной составляющей силой резания  $P_r$  потеря со временем режущих свойств рабочей поверхности круга (РПК) проявляется через уменьшение производительности обработки, которая является одной из важнейших характеристик процесса. Производительность определяется количеством удаленного в единицу времени обрабатываемого материала.

В случае плоского врезного шлифования по упругой схеме общее количество сошлифованного материала за время  $\tau$  рассчитывается по формуле

$$V_{\kappa} = \frac{1000V_{\delta}B_{\delta}L_{\delta} \cdot \tau}{L_{\delta} + 2l_{\text{пер}}} \int_0^{\tau} t_{\phi}(\tau) d\tau. \quad (1)$$

где  $V_{\delta}$  - продольная скорость стола, м/мин;

$B_{\delta}, L_{\delta}$  - соответственно ширина и длина заготовки, мм;

$\tau$  - время обработки, мин;

$t_{\phi}(\tau)$  - зависимость, описывающая влияние времени обработки на фактическую глубину шлифования  $t_{\phi}$ , мм.

$l_{\text{пер}}$  - величина перебега шлифовального круга, мм.

Как показывают выполненные нами ранее исследования [1], влияние времени обработки на фактическую глубину шлифования по упругой схеме может быть описано зависимостью

$$t_{\phi} = t_{\text{уст}} + \Delta t \exp(\alpha\tau), \quad (2)$$

где  $t_{\text{уст}}$  - установившаяся глубина шлифования, мкм;

$t_0$  - исходная глубина шлифования при обработке рельефом, параметры которого сформированы после правки, мкм;

$\Delta t = t_0 - t_{\text{уст}}$  - амплитуда снижения глубины шлифования, мкм;

$\alpha$  - эмпирический коэффициент.

По формуле (1) можно определить минутную производительность шлифования в любой момент времени  $\tau$

$$P_{\tau} = \frac{V_{\delta}B_{\delta}L_{\delta} \cdot \tau^{\tau+0,5}}{L_{\delta} + 2l_{\text{пер}}} \int_{\tau-0,5}^{\tau+0,5} (t_{\text{уст}} + \Delta t \exp(\alpha\tau)) d\tau \quad (3)$$

С использованием формулы (3) была рассчитана производительность в различные периоды плоского врезного алмазного шлифования быстрорежущей стали Р6М5Ф3 кругом 1А1 250×76×15×5 АС6-100/80-4-М1

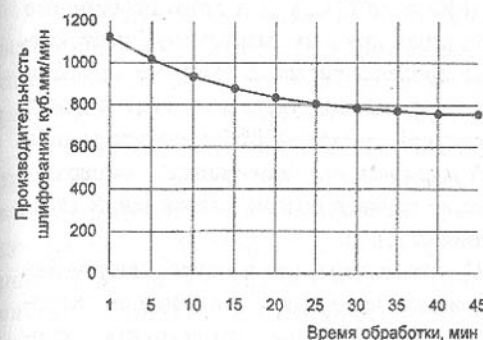


Рис.1. Влияние времени обработки на производительность алмазного шлифования.

(рис. 1) для следующих исходных данных:  $V_{\kappa} = 35$  м/с;  $V_{\delta} = 6$  м/мин;  $B_{\delta} = 15$  мм;  $L_{\delta} = 200$  мм;  $l_{\text{пер}} = 10$  мм. Параметры уравнения (2), определенные для условий шлифования, обеспечивающих отсутствие фазово-структурных изменений в поверхностном слое обрабатываемого материала [1]:  $t_{\text{уст}} = 9$  мкм;  $\Delta t = 4,875$  мкм;  $\alpha = -0,07$ .

Как видно из рисунка, наиболее резкое снижение минутной производительности наблюдается в первые 15-20 мин шлифования, после чего она стабилизируется.

Предложенная методика аналитического определения количества удаленного материала позволяет рассчитать себестоимость шлифования по упругой схеме и определить режимы управляющих воздействий на РПК, обеспечивающие ее минимальное значение.

**Список литературы:** 1. Матюха П.Г., Полтавец В.В. Влияние времени обработки на глубину алмазного шлифования по упругой схеме // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научн. трудов.- Донецк: ДонГТУ, 1998.- Вып. 5.- С. 117-121.

## СПЕЦИФИКА ХРУПКИХ РАЗРУШЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС

Мелехов Р., Тубилевич Х. (Политехника Ченстоховская, г. Ченстохова, Польша)

Смийан О.Д. (ИЭМ им. Е.О. Патона, г. Киев, Украина)

*The cases of embrittlement of nonheated steam power plants banded tubes made from 20 and 12 Kh1MF steel was investigated. It is shown that hydrogen plays a main role in the some cases of brittle cracks evolution. In corrosion and thermal fatigue as in creep of metal hydrogen attack aalso may take place.*



В последние десятилетия особое внимание уделяется диагностике и разработке методов предотвращения хрупких повреждений толстостенных паропроводов, т. др. не обогреваемых элементов ТЭС изготовленных из перлитных сталей (сталь 20, 12Х1МФ и др.) [1,2]. Для этого необходимо иметь четкое представление о причинах хрупких разрушений, несвойственных данным сталям, и механике процесса растрескивания металла. Например, считается, что подобные повреждения указанных сталей могут происходить в результате высокотемпературной ( $>400^{\circ}\text{C}$ ) ползучести либо из-за коррозионной и термической усталости при более низких температурах [3]. В подавляющем большинстве случаев очагом повреждений являются гибы труб и места подключения отводов.

В работах последних лет [2] установлено, что в поврежденном металле создается повышенное содержание водорода, а водородное охрупчивание (водородная атака) металла частично может происходить в процессе высокотемпературной ползучести, а иногда быть основным фактором хрупкого разрушения. Например, при металлографическом анализе хрупкого разрушениягиба паропровода острого пара ( $560^{\circ}\text{C}$ , 14Мпа)  $\varnothing 2773 \times 32$  из стали 12Х1МФ после  $10^5$  ч эксплуатации в области распространения трещин не обнаружено характерных для ползучести цепочек пор и отдельных пор. Трещины преимущественно межкристаллитные, развиваются с внутренней поверхности трубы и заполнены продуктами коррозии. Не зафиксировано и явного укрупнения зерен по сравнению с исходным материалом. Наблюдается незначительное обезуглероживание ме-

талла и частичная сегрегация карбидов по границам зерен, что свидетельствует о процессе воздействия водорода ( $\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$ ).

Локальный анализ остаточного водорода показал, что во всех исследованных зонах содержание водорода превышает как минимум в 3 раза его концентрацию в исходной стали и составляет

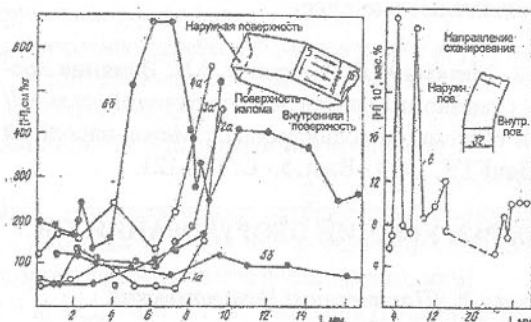


Рис. 1. Распределение остаточного водорода в металле образцов из поврежденногогиба паропровода при сканировании параллельно (а, в) и перпендикулярно (б) излому (номера кривых соответствуют направлению сканирования, указанному на схеме).

$40 \text{ см}^2/\text{кг}$  (рис.1). В непосредственной близости к внутренней поверхности трубы, подвергшейся воздействию пара, концентрация водорода чрезвычайно высокая - до  $450-700 \text{ см}^2/\text{кг}$ .

В областях, удаленных от внутренней поверхности трубы и от излома на несколько миллиметров, она снижается ( $50-200 \text{ см}^2/\text{кг}$ ), но соответствует концентрациям остаточного водорода, установленным при хрупких разрушениях стали только в результате водородного охрупчивания [2].

В качестве другого примера воздействия водорода на пластичные трубные стали котлов ТЭС можно привести результаты анализа локальной концентрации и распределения остаточного водорода в металле гибов водоопускной трубы  $\varnothing 160 \times 12 \text{ мм}$  и трубы  $\varnothing 133 \times 10 \text{ мм}$  отвода из экранов пароводяной смеси в барабан, изготовленных из стали 20 (рис.2). В обоих случаях локальные концентрации остаточного водорода очень высокие, что свидетельствует, наряду с обезуглероживанием стали в окрестностях межкристаллитных трещин хрупкого характера, о водородном охрупчивании стали.

Следовательно наряду с ползучестью и усталостью при высокой температуре необходимо учитывать возможность разрушения гибов не обогреваемых труб котлов ТЭС в результате водородного охрупчивания (водородной атаки). Последний процесс может сопутствовать процессам ползучести и усталости металлов.

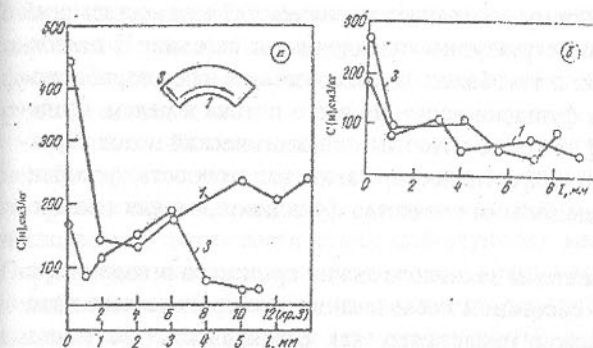


Рис. 2. Распределение водорода в металле (сталь 20): а -гиба водоопускной трубы  $\varnothing 160 \times 12 \text{ мм}$  котла ТП-92; б -гиба трубы  $\varnothing 133 \times 10 \text{ мм}$  отвода из экранов пароводяной смеси в барабан котла ТП-92.

Поэтому во время регламентных обследований металла указанных элементов необходимо обращать внимание на проявление признаков водородной атаки и принимать меры для его предотвращения, которые перечислены, в частности в [2]. Поскольку описанный процесс

растрескивания сталей кратковременный, он помимо существенных экономических потерь представляет особую опасность для обслуживающего персонала.

**Список литературы:** 1. Port R.D. Identification of Corrosion Damage in Boilers// Mater. Perform. - 1984 - 23, №12.- P.45-51. 2. Вайнман А.Б., Мелехов Р.К., Смиян О.Д. Водородное охрупчивание элементов котлов высокого давления - К.: Наук. Думка, 1990. - 272с. 3. Акользин П.А. Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. -Москва: Энергоиздат, 1982 -304 с.

## ОПЕРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТОКА И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Мякитянский В.В., Декина Ю.И., Чепурная М.Н.  
(АГТУ, г. Астрахань, Россия)

*The approach of system for applied investigation the technical system. Analyses the rise exactness, stability and reliability in the complex. This to allow valued the methods of the improved the technical equipment in food production.*

Любой технологический поток пищевого машиностроения представляет собой целостную систему, состоящую из множества взаимосвязанных подсистем (элементов) со структурно-упорядоченными связями. В настоящее время, теоретически, а тем более, и практически слабо разработаны методы оценки качества функционирования всего потока в целом. Существуют исследования [2], согласно которым технологический поток характеризуется показателями эффективности, таких как точность, устойчивость, надежность, определяющими качество функционирования технологической системы.

При построении системы технологических процессов в виде операторной модели, т.е. при системном исследовании технологического потока, поточную линию можно представить как совокупность нескольких подсистем, состоящих из операций. Операторное моделирование систем предусматривает использование трех основных понятий - вход, процесс и выход, комбинация количественных и качественных характеристик которых определяет ту или иную технологическую систему. Функция технологического потока как системы процессов определяет функции отдельных подсистем. Функции подсистем в свою очередь определяют функции, ко-

торые выполняют элементы технологической системы, т.е. технологические операции.

Технологическая система находится под непрерывным воздействием многочисленных факторов, порождаемых вспомогательными, сопутствующими процессами и окружающей средой. К ним относятся силовое воздействие, тепловое воздействие, вибрации, изнашивание, влияние оператора. Представление всей технологической системы в виде операторной модели дает возможность в комплексе оценивать работу всей линии с учетом динамики производства, режима и особенностей эксплуатации технологической системы.

Известно, что формирование качества изделия зависит от исходных материалов, качества функционирования технологического процесса [2]. Техническая система пронизана переплетением причинных связей, взаимодействием ее элементов. Выход отдельных подсистем и системы в целом является результатом перекрещивания, столкновения необходимых и случайных взаимодействий и всегда имеет вероятностный характер.

В процессах массового производства пищевого машиностроения наиболее актуальна проблема расчетов характеристик всего технологического потока в целом, т.к. именно в таких потоках важными являются характеристики на выходе [1]. Таким образом, качество технологической системы прежде всего вероятностная мера соответствия текущих характеристик качества изделия базовым и стандартным значениям. Степень соответствия значений оценивается точностью и устойчивостью функционирования линии. Следует учитывать влияние внешних факторов на функционирование системы, т.е. влияние процессов, происходящих в окружающей среде.

Системный подход к исследованию надежности оборудования технологического потока предписывает определенный порядок комплексного проведения аналитических, экспериментальных или комбинированных исследований надежности взаимодействующих машин и их элементов. Определение надежности системы целесообразно выполнять на основании количественных характеристик надежности подсистем. Именно подсистемы выступают здесь в роли автономных частей системы, потому что выход подсистемы, как правило, обусловлен соответствующими допусками.

Одной из основных задач исследований является поиск инженерных методов расчета параметров технологического потока на выходе по параметрам каждой машины в отдельности. Системный подход к исследованию технических систем дает возможность рассматривать в комплексе повышение точности, устойчивости и надежности систем, и, следовательно,

растрескивания сталей кратковременный, он помимо существенных экономических потерь представляет особую опасность для обслуживающего персонала.

**Список литературы:** 1. Port R.D. Identification of Corrosion Damage in Boilers// Mater. Perform. - 1984 - 23, №12.- P.45-51. 2. Вайнман А.Б., Мелехов Р.К., Смиян О.Д. Водородное охрупчивание элементов котлов высокого давления - К.: Наук. Думка, 1990. - 272с. 3. Акользин П.А. Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. -Москва: Энергоиздат, 1982 -304 с.

## ОПЕРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТОКА И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Мякитянский В.В., Декина Ю.И., Чепурная М.Н.  
(АГТУ, г. Астрахань, Россия)

*The approach of system for applied investigation the technical system. Analyses the rise exactness, stability and reliability in the complex. This to allow valued the methods of the improved the technical equipment in food production.*

Любой технологический поток пищевого машиностроения представляет собой целостную систему, состоящую из множества взаимосвязанных подсистем (элементов) со структурно-упорядоченными связями. В настоящее время, теоретически, а тем более, и практически слабо разработаны методы оценки качества функционирования всего потока в целом. Существуют исследования [2], согласно которым технологический поток характеризуется показателями эффективности, таких как точность, устойчивость, надежность, определяющими качество функционирования технологической системы.

При построении системы технологических процессов в виде операторной модели, т.е. при системном исследовании технологического потока, поточную линию можно представить как совокупность нескольких подсистем, состоящих из операций. Операторное моделирование систем предусматривает использование трех основных понятий - вход, процесс и выход, комбинация количественных и качественных характеристик которых определяет ту или иную технологическую систему. Функция технологического потока как системы процессов определяет функции отдельных подсистем. Функции подсистем в свою очередь определяют функции, ко-

торые выполняют элементы технологической системы, т.е. технологические операции.

Технологическая система находится под непрерывным воздействием многочисленных факторов, порождаемых вспомогательными, сопутствующими процессами и окружающей средой. К ним относятся силовое воздействие, тепловое воздействие, вибрации, изнашивание, влияние оператора. Представление всей технологической системы в виде операторной модели дает возможность в комплексе оценивать работу всей линии с учетом динамики производства, режима и особенностей эксплуатации технологической системы.

Известно, что формирование качества изделия зависит от исходных материалов, качества функционирования технологического процесса [2]. Техническая система пронизана переплетением причинных связей, взаимодействием ее элементов. Выход отдельных подсистем и системы в целом является результатом перекрещивания, столкновения необходимых и случайных взаимодействий и всегда имеет вероятностный характер.

В процессах массового производства пищевого машиностроения наиболее актуальна проблема расчетов характеристик всего технологического потока в целом, т.к. именно в таких потоках важными являются характеристики на выходе [1]. Таким образом, качество технологической системы прежде всего вероятностная мера соответствия текущих характеристик качества изделия базовым и стандартным значениям. Степень соответствия значений оценивается точностью и устойчивостью функционирования линии. Следует учитывать влияние внешних факторов на функционирование системы, т.е. влияние процессов, происходящих в окружающей среде.

Системный подход к исследованию надежности оборудования технологического потока предписывает определенный порядок комплексного проведения аналитических, экспериментальных или комбинированных исследований надежности взаимодействующих машин и их элементов. Определение надежности системы целесообразно выполнять на основании количественных характеристик надежности подсистем. Именно подсистемы выступают здесь в роли автономных частей системы, потому что выход подсистемы, как правило, обусловлен соответствующими допусками.

Одной из основных задач исследований является поиск инженерных методов расчета параметров технологического потока на выходе по параметрам каждой машины в отдельности. Системный подход к исследованию технических систем дает возможность рассматривать в комплексе повышение точности, устойчивости и надежности систем, и, следовательно,



совершенствования технологического оборудования пищевого машиностроения.

**Список литературы:** 1. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Пер. с польск. - М.: Мир, 1981. - 456с. 2. Панфилов В.А. Технологические линии пищевых производств (теория технологического потока). - М.: Колос, 1993.- 288 с.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ ПОТОКОМ АБРАЗИВНЫХ ЧАСТИЦ

Микитянский В.В., Мартыанова А.Е. (АГТУ, г. Астрахань, Россия)

*The model have been built and the equations of wear by the flux of abrasive particles have been got with help of the theory of similarity and dimension.*

Абразивное изнашивание потоком частиц является часто встречающимся видом изнашивания для многих деталей горных, буровых, строительных, дорожных, транспортных, сельскохозяйственных машин, работающих в средах, содержащих абразивные частицы. Износ деталей в скоростных потоках жидкости и газа с частицами является одним из наиболее интенсивных. В частности, с этим видом изнашивания сталкиваются при эксплуатации самотечного транспортирующего оборудования для сыпучих материалов. Основные экспериментальные данные были получены М. М. Хрущовым, М. А. Бабичевым, В. Н. Кашеевым, М. М. Тененбаумом, И. Р. Клейсом и др. В современной литературе применяется также термин «эрозионное изнашивание».

В то время как ГОСТ 27674—88 [3], классифицирующий этот вид изнашивания как газоабразивный, рассматривает его как чисто механическое явление, процесс изнашивания в потоке абразивных частиц - сложный комплексный процесс. На него оказывает влияние целый комплекс неоднозначно влияющих факторов: угол атаки и скорость частиц, соотношение твердостей абразива и материала, размер, геометрическая форма, концентрация абразивных частиц, наличие влаги и температура среды, наличие окисления, наводороживания поверхности и т.д. В основе «механизма изнашивания» лежит сложное полидеформационное разрушение путем пластического деформирования, микрорезания, царапания, упругого отсеснения и т.д. В настоящее время накоплен обширный экспериментальный материал по исследованию изнашивания в потоке абразивных частиц, но в

представлениях о «механизме изнашивания» потоком абразивных частиц нет единства мнений [1,3,4,6-10]. Многие здесь остаются еще неясным.

Нами предпринята попытка создания модели, в наиболее общем виде описывающей явление изнашивания потоком абразивных частиц, на базе теории размерности и на основе фундаментальных представлений о термомеханических процессах, происходящих в результате взаимодействия потока частиц и изнашиваемой поверхности [7]. Создание такой модели совершенно необходимо для понимания рассматриваемого явления, т.к. именно эта теория позволяет произвести в первом приближении качественный анализ сложного явления, строгое математическое описание которого оказывается невозможным.

Наша модель включает в себя четыре подсистемы: *подсистему потока двухфазной среды, подсистему частицы, подсистему изнашиваемой поверхности, подсистему физико-химического воздействия окружающей среды.*

Процесс зависит от большого числа переменных параметров. В зависимости от вида задачи будут изменяться характеристики подсистем и соответственно условия протекания процесса. Была составлена таблица определяющих размерных и безразмерных величин, от которых зависит решение поставленной задачи. Решение было найдено на основании  $\Pi$ -теоремы в виде некоторых критериальных уравнений, включающих критерии, составленные из параметров, характеризующих подсистемы. Эти уравнения имеют общий характер и могут служить для решения широкого класса задач, связанных с обоснованием подобия изнашивания потоками частиц.

В реальной системе существуют режимы характерные для конкретной системы, и окончательная оценка износа может быть получена только в реальных условиях. Но производственные испытания в силу ряда недостатков, главный из которых - значительные затраты времени и невозможность варьирования отдельных параметров, затруднены, поэтому возникла необходимость проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях.

Для каждого вида абразивного изнашивания существуют свои методики испытаний материалов [2]. Были рассмотрены основные типы лабораторных машин для исследования изнашивания в потоке абразивных частиц [5]. Проведенный анализ показал, что наиболее оптимальным представляется использование центробежного разгона частиц как наиболее отвечающего условиям эксплуатации. Теоретически было показано, что для данного способа разгона частиц скорость и угол вылета частицы из канала ротора ускорителя зависят от коэффициента трения зерна, радиуса и угловой скорости вращения ротора центробежного ускорителя.

Проверка и уточнение модели будут производиться с использованием эмпирических зависимостей, полученных на основе экспериментальных данных. На основе анализа предложенной модели изнашивания потоком частиц произведено обоснование экспериментальных исследований: расчет масштабных коэффициентов согласно выбранному режиму ускоренных испытаний и планирование экспериментальных исследований. При планировании эксперимента на первом этапе исследований исходили из предпосылки, что варьируемые переменные являются дискретными. При проведении экспериментальных исследований будут варьироваться следующие параметры: массовый расход абразива, скорость потока абразивных частиц, влажность абразивного материала, вид абразивного и изнашиваемого материалов, углы атаки при фиксированных остальных параметрах. Изменение геометрических характеристик изнашиваемой поверхности и массовый износ материала являются функциями отклика.

Выполнение запланированного объема испытаний и проверка существующей модели изнашивания позволят более обоснованно производить подбор материалов и режимов эксплуатации для оборудования подверженного изнашиванию потоком частиц.

**Список литературы:** 1. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. — М.: Машиностроение, 1990. — 224 с. 2. ГОСТ 23.201—78. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов и покрытий на газоабразивное изнашивание с помощью центробежного ускорителя. — М.: Изд-во стандартов, 1978. — 10с. 3. ГОСТ 27674 — 88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1988. — 10 с. 4. Клейс И.Р., Уумыйс Х.Г. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия. — М.: Машиностроение, 1986. — 168 с. 5. Мартянова А.Е. Экспериментальные исследования изнашивания потоком абразивных частиц. //Вестник АГТУ (в печать). 6. Микитянский В.В., Мартянова А.Е. Износ самотечных трубопроводов потоком абразивных частиц /Славянтрибо-4. Трибология и транспорт. Материалы международного научно-практического симпозиума (Санкт-Петербург, 23-27 июня 1997г.) - Рыбинск, 1997. 7. Микитянский В.В., Мартянова А.Е. О создании и исследовании одной модели изнашивания потоком частиц //Известия вузов. Машиностроение (в печать). 8. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. — М.: Машиностроение, 1995. — 336 с. 9. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. — М.: Наука, 1970. — 251с. 10. Эрозия./Под ред. К.Прис. Пер. С англ.— М.: Мир, 1982.— 464 с.

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГИБКОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Микитянский В. В., Микитянская Л. М. (АГТУ, г. Астрахань, Россия)

*Set an affair going to the quantitative estimation for the flexibility and the productivity of machine - building for examination the processing series of industrial goods as the information stream.*

Одна из проблем, сдерживающих развитие гибкого поточного производства (ГПС) - сложность проектирования, связанная с необходимостью использования важнейшего показателя эффективности производственного процесса - его производительности.

Наиболее надежным и удобным количественным критерием производительности считалось количество изделий, произведенных в единицу времени или ее обратная величина - трудоемкость изготовления конкретного изделия. Привязка этих показателей к одному изделию делает их мало эффективными или вообще неприемлемыми как для оценки производительности процесса изготовления широкой номенклатуры изделий, так и для оценки технологических потоков.

В самом деле, одна и та же гибкая система производит не только разные изделия, но и разное их число в единицу времени. Вероятно, удобнее было бы оценивать производительность ГПС количеством объема переработанного материала или площадью обработанных поверхностей, но этот показатель не учитывает качества изготавливаемых изделий.

Понятие "гибкость ГПС" интерпретируется также широко, как и предлагаемые количественные оценки гибкости. Однако, большинство авторов сходятся во мнении, что основным содержанием термина "гибкость" является возможность ГПС выполнять различные заказы.

Указанные выше трудности в количественном определении гибкости и производительности могут быть преодолены при подходе к обрабатывающей системе как к информационному каналу, преобразующему план- номенклатуру изделий, подлежащих выпуску в определенный промежуток времени, в готовую продукцию.

В общем случае серийного и единичного производства план- номенклатура содержит  $N$  изделий (сообщений), т.е. информацию из  $N$  различных комбинаций  $m$  символов- характеристик (поверхностей), подлежащих воспроизведению производственной системой в течение заданного промежутка времени  $t$ . Первой характеристикой, служащей исходным

пунктом для проектирования ГПС, будет уровень разнообразия продукции, т.е. величина энтропии спектра изделий. Так как каждое изделие в ГПС отличается от другого, то энтропия есть мера неопределенности информации о действительном изделии, поступающем на обработку в следующий момент времени:

$$H_0 = - \sum P_i \sum P_{ij} \log P_{ij} \text{ (бит)}, \quad (1)$$

где  $P_i$  - вероятность появления данной характеристики в спектре изделий,  $P_{ij}$  - вероятность появления  $i$  - характеристики за  $j$  - характеристикой. Формула (1) описывает энтропию, приходящуюся на  $i$  - й элемент или требуемый уровень гибкости. Если принять число характеристик  $n$ , то суммарная энтропия всей номенклатуры, отражающая неопределенность появления  $i$ -й характеристики в сообщении длиной  $n$ - символов, равна  $F_0 = n H_0$ , что характеризует спектр изделий, т.е. требуемую гибкость ГПС и соответствует понятию "серийность" при  $N = \text{const}$ . Если все изделия одинаковы, то вероятность появления пар поверхностей на каждом изделии равна единице и соответственно  $F_0 = 0$ . Но в тоже время энтропийная характеристика разнообразия продукции более объективна, чем такие показатели, как величина партии, количество различных изделий и т.д.

Поскольку величина  $H_0$  носит обобщающий характер в отношении любых характеристик качества, а в конкретной номенклатуре последние обладают вполне определенным физическим смыслом, то при проектировании ГПС необходимо дифференцировать общую энтропию  $H_0$  по ее качественным составляющим  $H_i$ . Из свойства аддитивности энтропии общая энтропия равна сумме  $q$  - составляющих, отличающихся по физической сущности характеристик качества продукции. При проектировании и оценке уровня ГПС целесообразно пользоваться понятиями гибкости формы, размерных параметров, физико-химических свойств и т. д. Последнее замечание справедливо и по отношению к термину "универсальность". Под универсальностью ГПС ( $m_c$ ) понимается число возможных характеристик качества изделий, воспроизводимых системой. Уровень ( $f_c$ ) и диапазон ( $F_c$ ) гибкости системы определяются соответственно уровнем и диапазоном разнообразия реакций ГПС, реализуемых за некоторый фиксированный промежуток времени  $t$ :  $F_{c(t)} = -n_c \sum P_j \log_2 P_j = n_c f_{c(t)}$ ,

где  $P_j$  - вероятность использования  $j$ -ого состояния ГПС при изготовлении заданного спектра заказов за время  $t$ ,  $n_c$  - общее число реализаций различных состояний ГПС.

Поскольку основным содержанием технологического процесса (с позиции системного подхода) является преобразование информации, то производительность системы определяется темпом преобразования ин-

формации, поступающей на вход системы. Однако, в отличие от гибкости при оценке производительности системы в качестве меры информации целесообразно использовать показатель, отражающий "массу" информации действительности формула (1), отражая уровень разнообразия изделий, не определяет объем собственной информации, содержащейся как в отдельных изделиях, так и во всей номенклатуре. Иначе говоря, энтропия соответствует среднему значению информации. Если это достоинство с точки зрения разработки объективной количественной оценки гибкости, то оно же и недостаток при разработке количественной оценки производительности широкономенклатурного производства, так как для установления наряду с вероятностью появления каждого изделия и составляющих его элементов на входе системы необходимо учитывать и массу содержащейся в них собственной информации.

Следовательно, производительность любой системы объективно выражается зависимостью  $\Pi = I / t$ , где  $I$  - масса информации, поступающая на вход системы, а  $t$  - время, в течение которого данная информация перерабатывается системой.

Если носителем информации служит план-номенклатура изделий, а временем-плановый период ее выпуска, то имеем плановую (или требуемую) производительность ГПС:  $\Pi_0 = I_0 / t_0$ . Заменяя  $t_0$  на  $t_c$  (фактическое время выполнения заказов), получаем фактическую производительность:  $\Pi_c = I_c / t_c$ , где индекс  $c$  означает, что через систему преобразуется информация, обладающая некоторой избыточностью по отношению к плановой с целью компенсации неизбежно воздействующих на ГПС внешних возмущающих факторов. Соответственно производительность каждого формообразующего модуля составляет:  $\Pi_j = I_j / t_j$ , где  $I_j$  - масса воспроизводимой (генерируемой) информации, содержащейся в реальных характеристиках качества изделия за период  $t_j$ .

Таким образом, проблема количественного определения производительности ГПС сводится к нахождению массы информации, содержащейся в каждом изделии и во всем плане-номенклатуре.

**Список литература:** 1. Микитянский В.В., Микитянская Л.М. Критерии производительности широкономенклатурного производства. - Астрахань: Вестник АГТУ (Сб. научных трудов), вып.2, 1996.- с.138-142.



# МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВИБРОУЗЛА СЛОЖНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Микитянский В.В., Микитянская Л.М., Фролов Д.А.  
(АГТУ, г. Астрахань, Россия)

*The dynamic model of the vibrant mechanism have been built and the equations of the movement have been solved in order to the definition of the amplitude and the frequency of the turning vibration of this mechanism.*

Повышение качества выпускаемой продукции во многом зависит от машиностроителей и конструкторов, создающих новое высокопроизводительное оборудование. Рост производительности машин приводит к увеличению динамических нагрузок, возрастанию динамических ошибок в законах движения рабочих органов, и тем самым вызывает необходимость проведения всестороннего динамического анализа машины на стадии ее проектирования.

Так, в некоторых технологических машинах со звеньями рычажных механизмов, совершающих сложное движение, связаны рабочие органы, колебания которых представляют непосредственный интерес. В подобных случаях, а также тогда, когда эти звенья имеют относительно высокие инерционные характеристики, упрощения, используемые при построении однокомпонентных динамических моделей, могут оказаться нежелательными.

В настоящее время одним из направлений исследования является изучение динамики вибрационного оборудования, так как накопленный опыт эксплуатации машин выявил присущие им недостатки, порожденные недоучетом специфических особенностей их работы - вибрационным движением рабочих органов. Вибрации передаются на конструкции в виде дополнительных усилий, которые воздействуют на элементы машины, вызывая их быстрый износ и разрушение.

Изучение влияния динамических факторов на надежность тех или иных элементов виброузла, а также создание основ и методов инженерного расчета виброприводов на основе ранее предложенной теории расчета узлов и механизмов такого типа оборудования является целью данной работы.

В инженерной практике нередки случаи, когда некоторые рабочие органы или другие звенья механизма оказываются достаточно массивными и в то же время обладают немалой податливостью. В этих случаях попытка отобразить механизм динамической моделью с конечным (но доста-

точно большим) числом степеней свободы обычно приводит к большей трудоемкости расчета, чем использование менее идеализированной расчетной схемы, в которой соответствующий элемент отображается в виде подсистемы с распределенными параметрами.

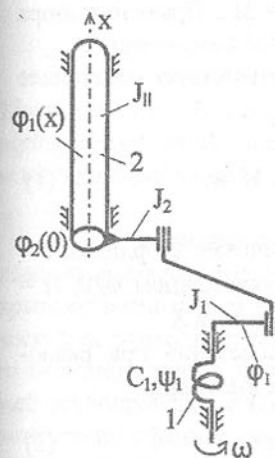


Рис.1. Схема привода.

(кривошипно-шатунного) механизма.

Динамическая модель механизма, включающая элементы с распределенными параметрами представлена на рис.2 [1].

Первая передаточная геометрическая функция механизма определяется как

$$u = \frac{\partial \varphi_{20}}{\partial \varphi_1} = \text{const},$$

где  $\varphi_1, \varphi_{20}$  - абсолютные координаты элементов  $J_1$  и  $J_2$ ;

$u$  - передаточное отношение, определяемое из геометрического синтеза механизма.

Функция  $\ddot{\varphi}_2(x, t)$  характеризует абсолютное движение произвольного сечения  $X$  вала 2. Сечение  $X=0$  разделяет динамическую модель на подсистемы с сосредоточенными

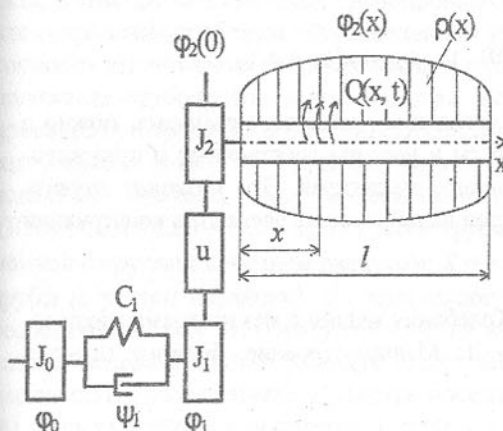


Рис.2. Динамическая модель механизма.

параметрами. В этом сечении к отсоединенным частям системы следует приложить два реактивных момента  $M_-$  и  $M_+$ , которые равны по величине и противоположны по направлению, то есть  $M_+ = M_-$ . Правило выбора знака реактивного момента описано в [1].

Подсистеме с дискретными параметрами соответствует следующее дифференциальное уравнение

$$(J_1 + J_2 u^2) \ddot{q}_1 + c_1 \dot{q}_1 = -(J_1 + J_2 u^2) \ddot{\varphi}_0 + M \cdot u. \quad (1)$$

Крутильные колебания вала 2 рассматриваются в системе координат, совмещающей угловые перемещения вместе с его левым концом  $\varphi_2(\theta, t) = \varphi_{20}(t)$ . Тогда  $\varphi_2(x, t) = \varphi_{20}(t) + \gamma(x, t)$ , где  $\gamma$  - деформация вала 2.

Дифференциальное уравнение крутильных колебаний при равномерном распределении момента инерции  $J_{||}$  по оси  $x$  имеет вид

$$\rho \frac{\partial^2 \gamma}{\partial x^2} - GJ \frac{\partial^2 \gamma}{\partial x^2} = Q(x, t) - \rho \ddot{\varphi}_{20}(t), \quad (2)$$

где  $\rho = J_{||}/l$  - момент инерции единицы длины вала и связанного с ним ориентирующего устройства;

$G$  - модуль сдвига;

$J$  - полярный момент инерции;

$Q(x, t)$  - распределенный внешний момент (член  $\rho \ddot{\varphi}_{20}$  соответствует распределенному моменту инерционных сил в переносном движении  $\varphi_{20}(t)$ ).

Уравнения (1) и (2) объединяются в единую систему, если принять во внимание, что

$$M = GJ \frac{\partial \gamma}{\partial x}(0) \quad \text{и} \quad \varphi_{20} = u(\varphi_0 + q_1).$$

Таким образом, решив уравнения движения механизма, можно в дальнейшем определить амплитуды и частоты собственных и вынужденных крутильных колебаний данного механизма. Это позволит изучить влияние вибрационных параметров на надежность элементов конструкции виброузла.

**Список литературы:** 1. Колебания машин с механизмами циклового действия / И.И. Вульфсон. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. - 309 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ

Микитянский В.В., Сахно К.Н. (АГТУ, г. Астрахань, Россия)

*The research is direct at pipe making errors estimation and calculation when piping design. In the lecture is listing several examples of calculations by working out mathematical dependencies.*

Развитие научно-технического прогресса в области автоматизации и компьютеризации производства, многочисленные разработки САПР открывают возможность автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства трубопроводов на основе математического моделирования и использования ЭВМ с обеспечением выпуска чертежей трубопроводов с координатами трасс. При создании сложных технологических комплексов, имеющих в своей конструкции многочисленные системы трубопроводов, появляется возможность предварительного изготовления труб по проектной информации. Новая технология предъявляет определенные требования к процессу проектирования, который должен обеспечить оптимизацию взаимного расположения труб и оборудования, повышение качества документации в целом и по трубопроводам, в частности. По данным различных источников изготовленные по проектной информации трубы монтируются на объекте не более чем в 40% от спроектированных. Невозможность монтажа остальных 60% труб обуславливается помехами на линии в виде различных конструктивных элементов объекта, в том числе и смежных трубопроводов. Специалистами отмечается, что сохранение проблемы обуславливается недостаточным исследованием точности изготовления трубопроводов и недооценкой ее влияния на расположение трубопроводов при монтаже. Точность расположения трубопроводов при проектировании определяется с учетом практического опыта изготовления труб. Такой принцип заложен и в современных автоматизированных системах при моделировании трубопроводов /HICAS-P, TRIBON, EUCLID-AEC и др./ Трасса трубопроводов представляется ломанной с круглым сечением радиусом:  $R = r + \delta$ , где  $r$  - наружный радиус трубы (с учетом изоляции),  $\delta$  - предельное отклонение трубопровода от теоретической оси. Величину отклонения конструктор вводит самостоятельно, исходя из своего рабочего опыта, или назначает минимальную (в насыщенных помещениях). Практика показывает, что минимальные зазоры лишь частично ограничивают величину возможных отклонений. С учетом этих обстоятельств постановка задачи исследования влияния погреш-

ностей изготовления труб на точность расположения трасс трубопроводов рассматривается как важнейший шаг по выработке научного подхода к назначению предельных отклонений любой точки линии трубопровода.

В ходе исследования были выявлены 5 видов операций изготовления труб, погрешности выполнения которых влияют на точность расположения линии трубопровода. К ним относятся: резка, продвижение (установка размера до начала погиба на трубогибочных станках), погиб, разворот (установка угла между плоскостями погибов на трубогибочных станках), установка фланцев.

Аналитические зависимости, определяющие область отклонений любой точки линии трубопровода, являются результатом сложных математических преобразований. Как известно, положение любой точки  $P(x, y, z)$  линии трубопровода, представленной в виде ломанной  $A1, A2, \dots, An$ , задается в декартовой прямоугольной системе координат. Пусть  $X, Y, Z$  - координаты той же точки  $P$ , относительно другой декартовой системы координат, начало которой имеет относительно системы  $Oxyz$  координаты  $x_0, y_0, z_0$ . Тогда координаты  $X, Y, Z$ , связаны с  $x, y, z$  следующими формулами преобразования [1]:

$$\begin{aligned} X &= t_{11} \cdot (x - x_0) + t_{21} \cdot (y - y_0) + t_{31} \cdot (z - z_0) \\ Y &= t_{12} \cdot (x - x_0) + t_{22} \cdot (y - y_0) + t_{32} \cdot (z - z_0) \\ Z &= t_{13} \cdot (x - x_0) + t_{23} \cdot (y - y_0) + t_{33} \cdot (z - z_0), \end{aligned} \quad (1)$$

или:

$$\begin{aligned} x &= t_{11} \cdot X + t_{12} \cdot Y + t_{13} \cdot Z + x_0 \\ y &= t_{21} \cdot X + t_{22} \cdot Y + t_{23} \cdot Z + y_0 \\ z &= t_{31} \cdot X + t_{32} \cdot Y + t_{33} \cdot Z + z_0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $t_{11}, t_{21}, t_{31}$  - направляющие косинусы оси  $OX$ ,  
 $t_{12}, t_{22}, t_{32}$  - направляющие косинусы оси  $OY$ ,  
 $t_{13}, t_{23}, t_{33}$  - направляющие косинусы оси  $OZ$ ,  
 относительно системы  $OXYZ$ :

$t_{11}, t_{12}, t_{13}$  - направляющие косинусы оси  $OX$ ,  
 $t_{21}, t_{22}, t_{23}$  - направляющие косинусы оси  $OY$ ,  
 $t_{31}, t_{32}, t_{33}$  - направляющие косинусы оси  $OZ$ .

Положение любой точки  $P(X, Y, Z)$  может быть представлено в виде:

$$X = \ell \cdot \cos \alpha, Y = \ell \cdot \cos \beta, Z = \ell \cdot \cos \gamma, \quad (3)$$

где  $\ell$  - радиус-вектор точки  $P$  (расстояние от точки  $P$  до  $An$ ).

В формулах (3):

$$\cos \alpha = \frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}, \cos \beta = \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}},$$

$$\cos \gamma = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}$$

Если за начало координат принимать последовательно начало линии трубопровода и вершины погибов  $A1, A2, \dots, An$ , то положение любой точки под влиянием погрешностей изготовления определяется соотношениями:

$$\begin{aligned} \hat{x} &= t_{11} \cdot \hat{X} + t_{12} \cdot \hat{Y} + t_{13} \cdot \hat{Z} + \hat{x}_0 \\ \hat{y} &= t_{21} \cdot \hat{X} + t_{22} \cdot \hat{Y} + t_{23} \cdot \hat{Z} + \hat{y}_0 \\ \hat{z} &= t_{31} \cdot \hat{X} + t_{32} \cdot \hat{Y} + t_{33} \cdot \hat{Z} + \hat{z}_0 \end{aligned} \quad (4)$$

Так, влияние погрешности погиба может быть определено с помощью преобразования координат  $x, y, z$  с одновременным переносом и поворотом осей. Перенос осуществляется в вершину погиба  $An$ , одна из осей, например  $OX$ , совмещается с отрезком  $An$ , а плоскость  $XOY$  совмещается с плоскостью погиба. В результате, в формулах (4):

$$\hat{X} = \ell \cdot \cos(\varphi \pm \Delta\varphi), \hat{Y} = \ell \cdot \sin(\varphi \pm \Delta\varphi), \hat{Z} = 0,$$

где  $\varphi$  - угол погиба,  $\Delta\varphi$  - погрешность погиба,

$$\varphi = \arccos \frac{X}{\ell}, \ell = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

Разработанный на основе проведенных исследований метод расчета отклонений любой точки линии трубопровода открывает возможность:

а) оптимального расположения трубопроводов с учетом научно обоснованных предельных отклонений,

б) совершенствования технологии изготовления труб по проектной информации с целью увеличения объема предварительно изготавливаемых труб.

В докладе приводятся примеры расчетов по разработанным математическим зависимостям. Результаты разработки применимы при проектировании трубопроводов, независимо от их функционального назначения.

**Список литературы:** 1. Корн Г. Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1984.



Михайлов А.Н. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)



*The problems of technosphere modul development are considered in the article. The principles of the progressive creation of technical systems are shown. There are also concrete examples of technical systems modularity.*

История развития человеческого общества - это процесс создания и совершенствования различных изделий, технологий и технических систем, которые в целом можно объединить под общим названием - **техносфера**. Она включает в себе все технические системы, созданные людьми или техническими системами, которые в свою очередь выполнены человеком. Путь, который прошло общество в развитии техносферы является творческим процессом непрерывного совершенствования ее объектов, а именно, технических систем.

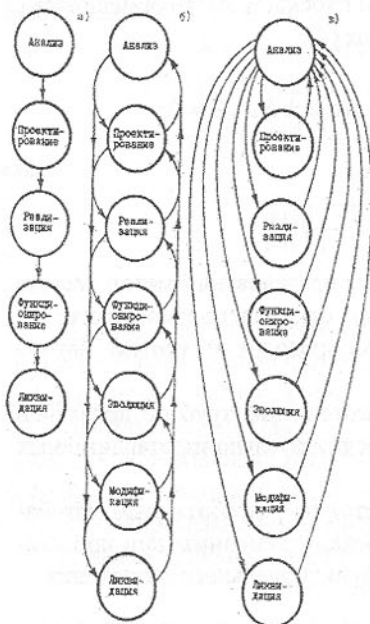


Рис. 1 Этапы жизненного цикла технических систем.

Технические системы техносферы можно условно разделить на системы типов «процесс» и «объект». Анализ их развития показывает, что они постоянно усложняются, причем эта сложность проявляется как «вглубь», так и «вширь», что увеличивает многообразие объектов и их размерность многообразия.

С усложнением техносферы возникает проблема необходимости упорядочивания структуры сложных систем, которая может быть решена различными методами [1], так как ее развитие подчиняется действию общих и частных законов техники. Одним из перспективных путей развития техносферы и упорядочивания ее объектов является создание **модульных структур** на всех этапах жизненного цикла технических систем

(рис. 1). Создание модульных структур техносферы есть своеобразная направленность ее развития или упорядочивание ее структуры.

Под модульной структурой техносферы понимается объединение ее структуры в автономные модули (рис.2), каждый из которых предназначен

для решения определенного класса задач (модуля задач). Модульность - это свойство технической системы, обеспечивающее возможность декомпозиции ее структуры на ряд связанных модулей. Модульная структура предполагает реализацию модулей на всех иерархических уровнях техносферы.

Модульная структура особенно эффективна для сложных систем, так как она позволяет создавать их из простых автономных объектов. Известно, что с усложнением технической системы она быстрее выходит из строя. Поэтому модульная структура дает возможность быстро из простых объектов

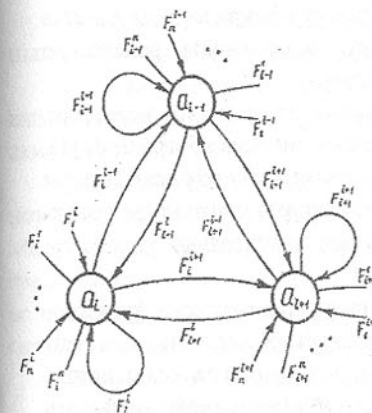


Рис.2 Структурная модель техносферы.

создавать и восстанавливать работоспособность сложных систем, а также решать сложные задачи простыми методами.

Каждый модуль техносферы должен позволять решать следующее:

- одну конкретную задачу,
- группу задач,
- класс задач, состоящий из групп.

Развитие модульных структур техносферы должно выполняться на базе следующих принципов:

- типизации, автономности и универсальности;
- иерархичности;
- параллелизма и концентрации (совмещения) объектов;
- ограничение доступа (каждый модуль решает только свой класс задач);
- устойчивости и непрерывности;
- формирования пространственных структур (линейных, поверхностных, объемных);
- компактности;
- структурного и пространственного изменения расположения;
- абстрагирования и моделирования.

Типизация модульной структуры техносферы - это ограничение, накладываемое на класс объектов и препятствующее взаимозамене различных классов структур. Это точное определение свойств строения или поведения структуры, которое присуще некоторой совокупности объектов [1]. Автономность позволяет некоторой совокупности структуры функционировать независимо от других структур. При этом структура модуля должна обладать свойством универсальности и иметь возможность решать не только одну задачу, а группу или даже класс задач.

Модульная структура должна формироваться по принципу иерархии. Иерархия - это ранжированная или упорядоченная система абстракций [1]. Основными видами иерархических структур сложных систем техносферы является структура классов (иерархия по номенклатуре) и структура объектов (иерархия по составу). Иерархия позволяет значительно упростить процесс создания технологических систем.

Параллелизм характеризует возможность одновременного функционирования объектов модульной структуры технической системы. Концентрация объектов техносферы дает возможность совместить однотипные объекты в одном модуле заданного класса и тем самым резко повысить эффективность технических систем.

Ограничение доступа - это процесс защиты отдельных элементов объекта модульной структуры технической системы, не затрагивающий существенных характеристик объекта как целого. Устойчивость - свойство объекта существовать во времени и (или) в пространстве. Непрерывность функционирования технической системы позволяет существенно повысить эффективность модульной структуры техносферы.

Для повышения эффективности технологических систем модульная структура должна формироваться в линейно -, поверхностно - и объемно - пространственных технологических зонах. Она должна быть компактной и формироваться с возможностью структурного и пространственного изменения расположения модулей.

Абстрагирование является одним из главных способов решения сложных задач. Абстракции дают возможность определять и выделять особенности модульной структуры технической системы. Моделирование позволяет реализовать принципы декомпозиции, абстракции, иерархии, что значительно упрощает процессы создания модульных структур технических систем.

Использование этих принципов способствует реализации высокоэффективных технологических систем с модульной структурой объектов на всех иерархических уровнях техносферы. Анализ модульной структуры

позволил установить, что она дает возможность создавать технические системы следующих видов:

- высокоэффективные технические системы;
- гибкие и универсальные технические системы;
- надежные и устойчивые технические системы;
- компактные пространственные технические системы с повышенным коэффициентом использования технологического пространства;
- технические системы с оптимальной структурой и качественно новыми свойствами, реализующими нетрадиционные технико-экономические показатели.

Данные технические системы позволяют реализовать качественно новую совокупность свойств и меру полезности выпускаемой продукции. Модульность развития техносферы создает предпосылки реализации прогрессивных технических систем и технологий нового поколения. В качестве примеров использования принципа модульности создания технических систем техносферы можно привести следующие объекты:

1. Компьютеры, телевизоры, радио и другие системы.
2. Модульные технологии в машиностроении [2], разработанные профессором Базровым Б.М.
3. Модульные технологии в строительстве.
4. Модульные информационные технологии и другие.

Анализ особенностей модульных технологий машиностроения [2] позволил установить, что они особенно эффективны для поточно-пространственных технологических систем (ППТС) [3]. Эти технологии позволяют обеспечить качественно новые свойства ППТС и реализовать их нетрадиционные возможности, обусловленные достоинствами модульных технологий и ППТС, а именно: гибкость, эффективность, компактность, многономенклатурность, надежность, повысить коэффициент использования технологического пространства и другие показатели.

Таким образом, модульная направленность развития техносферы дает возможность сориентировать вектор ее развития в качественно новом направлении эволюции и создавать оптимальные высокоэффективные структуры процессов и технических систем.

**Список литературы:** 1. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. -М.: Конкорд, 1992. -519 с. 2. Базров Б.М. Новый тип технологии - модульная технология // Прогрессивные технологии машиностроения и современность. Сборник трудов международной научно-технической конференции в г. Севастополе 9-12 сентября 1997г. -Донецк: ДонТУ, 1997. С. 20 - 21. 3. Михайлов А.Н. Новая

концепция развития технологических систем непрерывного действия // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Сб. научно-техн. тр. - Донецк: ДонГТУ, 1994, вып. 1. С. 74-91.

## СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ОБРАБОТКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНСТРУМЕНТА С ВАРЬИРУЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Михайлов А.Н., Байков А.В. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*The spatio-temporal model of technology zone processing using tool with different characteristic was introduced.*

Тенденция развития современных технологий предполагает, в частности, концентрацию технологических зон обработки, увеличение их плотности и создание нетрадиционных структур технологических зон обработки. Это предполагает отход от пооперационных технологических

машин и создание новых технологий и новых классов технологического оборудования.

Традиционные технологические процессы обработки деталей из хрупких неметаллических материалов (оптических деталей, деталей инфракрасной и лазерной техники, деталей из технической керамики и др.) разработаны на основе базовых положений о структуре технологического процесса в области машиностроения и приборостроения. Технологические процессы в целом однотипны и включают следующие операции [1,2,3]: грубое шлифование, тонкое шлифование,

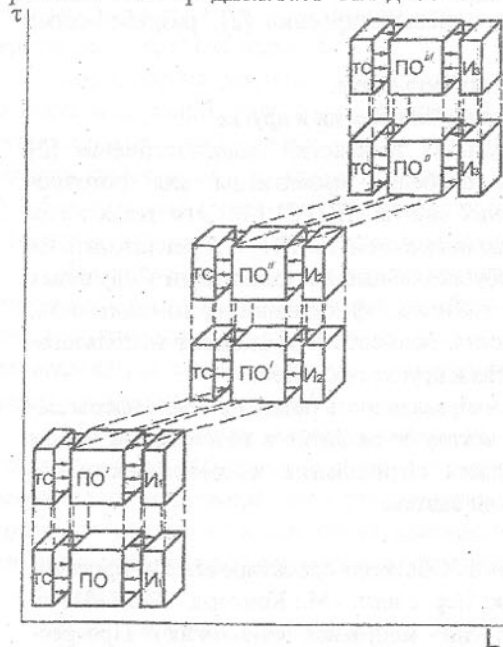


Рис.1. Пространственно-временная модель технологической зоны обработки традиционной компоновки.

предварительное полирование и полирование.

Изучение закономерностей протекания сложных многопараметрических процессов удобнее проводить при использовании моделей. Пространственно-временная модель процесса обработки неметаллических деталей на пооперационном оборудовании с перемещением зоны обработки в координатах «пространство-время» представлена на рис. 1.

В технологической зоне на предмет обработки (ПО) действует совокупность материального ( $S$ ), информационного ( $I$ ) и энергетического ( $E$ ) потоков, в результате чего меняются геометрические, физико-механические и др. характеристики ПО. На рисунке изображены элементы только материального потока: технологическая среда (ТС) и инструмент (И), непосредственно воздействующие на предмет обработки. Технологическое воздействие на ПО с требуемыми параметрами  $S, E, I$  совершается в заданном объеме пространства и в заданное время. Затем производится транспортирование ПО в новую зону, где процесс повторяется с другими параметрами  $S, E, I$ .

Анализ технологического процесса обработки хрупких неметаллических материалов показывает, что воздействие материального потока на всех технологических переходах характеризуется с одной стороны одинаковостью кинематических схем взаимодействия инструмента и заготовки, одинаковостью геометрии инструмента, одинаковостью схемы воздействия и состава технологической среды, а с другой стороны - различием эксплуатационных характеристик применяемого инструмента и различием режимных параметров обработки.

Характеристики инструмента определяют в первую очередь степень интенсивности воздействия инструмента на предмет обработки, что вызывает формирование соответствующего поверхностного слоя на детали. При переходе от предварительных (черновых) режимов обработки к чистовым и отделочным степень интенсивности воздействия инструмента снижается, что проявляется в снижении контактного давления алмазного зерна на обрабатываемый материал. В традиционных технологических процессах это достигается в основном уменьшением зернистости инструмента и применением более мягких связок.

Следовательно, применение инструмента, характеристики которого можно изменять в процессе обработки, а значит изменять интенсивность его воздействия на обрабатываемый материал, открывает возможности для разработки принципиально новых технологий и создания нетрадиционных структур технологических зон обработки.

Применительно к обработке алмазным инструментом изменение его характеристик возможно для инструмента на полимерных связках путем,



например, теплового, криогенного, ультрафиолетового, электромагнитного или иного воздействия. При этом изменяются упругие характеристики связи, следовательно, изменяется количество одновременно работающих зерен, что ведет к изменению контактного давления алмазного зерна на обрабатываемый материал. В общем случае процессов обработки необходимо разрабатывать новые схемы воздействия на ПО (электрофизические, лазерные и др.) и новые инструменты, характеристики которых можно изменять внешним воздействием.

Для данных технологических процессов структурирование зон воздействия проводится только в масштабе времени, т.к. их положение в пространстве неизменно. Пространственно-временная модель технологического воздействия при применении инструмента с варьируемыми характеристиками представлена на рис. 2.

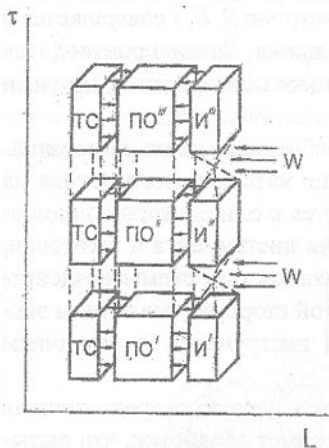


Рис.2. Пространственно-временная модель технологической зоны обработки при применении инструмента с варьируемыми характеристиками.

ками открывает возможность разработки нетрадиционных технологий, компактирования технологических зон обработки и, в целом, повышения производительности производственного процесса.

**Список литературы:** 1. Финишная алмазно-абразивная обработка неметаллических деталей / Рогов В.В.- Киев: Наук. думка, 1985.-264с. 2. Ардамацкий А.А. Алмазная обработка оптических деталей.-Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1978.-232с. 3. Ваксер Д.Б., Иванов В.А., Ни-

китов Н.В. и др. Алмазная обработка технической керамики.- Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1976.-160с.

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ РОТОРНАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА САМОСТОПОРЯЩИХСЯ ГАЕК

Михайлов А.Н., Гапеев В.Б., Седиков Р.С.  
(ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*The questions of automatic production of self-stopped nut had been considered in this work. The automatic machine of continued operation had been worked out. It had been proposed the new methods of production of self-stopped nut.*

Разработанная автоматическая линия для производства самостопающихся гаек относится к системам нового поколения, имеющих качественно новые свойства и технологические возможности. Она позволяет существенно повысить уровень автоматизации и интенсификации производственных процессов.

Промышленное применение данной линии позволяет по сравнению с используемым ранее отдельным автоматическим оборудованием повысить производительность в 3 раза, снизить трудоемкость изготовления изделия в 2 раза, сократить занимаемую площадь в 8 раз, сократить численность рабочих в 6 раз, уменьшить длительность производственного цикла в 10 раз. Это достигается главным образом за счет автоматизации слесарных операций сборки, завальцовки и кернения гаек, а также за счет применения новых способов изготовления, защищенных авторскими свидетельствами.

В роторных машинах реализован параллельно-последовательный принцип действия. В роторе имеется 12 параллельных потоков, в каждом из которых технологический процесс дифференцирован по рабочим позициям. Внутри линии инструменты и обрабатываемые детали образуют непрерывно движущийся транспортно-технологический поток, в котором транспортные и технологические функции рабочих машин совмещены во времени. Изделие, передаваемое последовательно, за каждый оборот ротора, с одной рабочей позиции на другую, постепенно получает запрограммированный объем технологических воздействий.

## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОТОЧНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Михайлов А.Н., Ищенко А.Л., Матвиенко А.В., Седиков Р.С.  
(ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*In the work there have been done researchers on solving the problem of reliability and capacity of technologic systems of continuous action the problems of structural reservation of technological elements and subjects are viewed.*

Выполненные исследования позволили установить, что при значительном увеличении количества технологических элементов (блоков инструментов) поточно-пространственных технологических систем резко уменьшается вероятность сохранения ее полной производительности. При этом определено, что увеличение вероятности сохранения полной производительности можно выполнить за счет увеличения вероятности безотказной работы элементов поточно-пространственных технологических систем, что в ряде случаев экономически не целесообразно. В связи с этим, при проектировании и эксплуатации поточно-пространственных технологических систем необходимо использовать метод сохранения производительности не менее заданной.

В работе разработанной выражение для определения действительной производительности поточно-пространственных технологических систем в зависимости от структуры и числа отказавших блоков инструментов. Приведены графики зависимости действительной производительности от вероятности сохранения не менее заданной производительности поточно-пространственной технологической системы.

Рассмотрены вопросы структурного резервирования элементов и подсистем поточно-пространственных технологических систем. Приведены методы резервирования и выполнен анализ их для технологических машин.

В зависимости от числа резервированных объектов рассмотрены варианты активного резервирования. Приведены формулы для определения вероятности сохранения полной производительности поточно-пространственной технологической системы для различных вариантов резервирования объектов.

Таким образом, использование предлагаемых методов сохранения и повышения надежности позволяет обеспечить требуемые параметры тех-

нологическим системам в зависимости от необходимой структуры элементов и подсистем.

## ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РОТОРА НА ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Михайлов А. Н., Малышко И. И. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*In work questions the influence of dynamic characteristics and parameters of technological rotor to its production are considered.*

На основании выполненных исследований установлено, что определяющее влияние на производительность технологической системы (ТС) роторного типа оказывает диаметр технологического ротора (ТР), т. к. от его параметров зависит устойчивость работы ТС.

Исследования, выполненные автором, позволяют получить зависимость действительной ожидаемой производительности от его динамических характеристик и параметров ТР

$$ПД = \frac{2\pi \sqrt{\frac{48EIg(\delta_A - \delta_B)}{I^3 \pi h \gamma \omega^2 R_p}} \beta}{h_p(t_p + t_x)},$$

где  $E$  - модуль упругости;  $I$  - осевой момент инерции вала;  $\gamma$  - удельный вес материала ТР;  $g$  - ускорение свободного падения;  $\delta_A, \delta_B$  - допуски на обработку отверстия детали и на диаметр вала;  $\beta$  - коэффициент производительности  $h_p$  - шаг ротора;  $R_p$  - радиус ротора;  $t_p, t_x$  - время основных и холостых ходов.

Данные, полученные на основании уравнения показывают, что с увеличением частоты вращения ротора радиус ТР уменьшается, а следовательно, и производительность уменьшается. Таким образом, ожидаемая производительность ТС определяется не только режимными параметрами, но и динамическими характеристиками системы: при увеличении частоты вращения ТР необходимо уменьшать его диаметр или повышать точность исполнения. В противном случае происходит снижение производительности.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОНТЕКСТЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПРИРОДУ И ЧЕЛОВЕКА

Мозговой В.И. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*The publication subjects to doubt progress in technical development in case it hasn't been founded on the principles of humanism and spirituality. It is suggested to avoid opposition between technosphere and biosphere via introduction of humanitarian aspect into creative activity and prognostication of social, psychological and ecological consequences off application of the new projects and inventions.*

Проблема места и роли прогрессивных технологий в развитии общества должна рассматриваться прежде всего в контексте их влияния на мышление и психологию конкретного человека и всей мировой цивилизации, поскольку актуальность противоречивого взаимодействия техносферы и биосферы возрастает день ото дня. Материальный прогресс при кажущемся увеличении комфорта и благополучия потребления всё более являет собой производство мёртвых вещей, которые ограждают человека от культуры общения, эмоций, превращают в своего придатка и атрофируют в конечном итоге мыслительные возможности личности. Интеллект становится могильщиком самого себя. Вот почему прогрессивность феномена технического развития возможна только в случае, если человечество сможет противопоставить ему гуманистические аспекты созидательной деятельности, очеловечить производство и познание любых явлений материального мира.

Таким образом, проблема бесконфликтного функционирования техносферы связана с глобальной общечеловеческой проблемой – моделью выживаемости человечества и связанной с ней моделью функционирования системы культуры, образования и воспитания на пороге XXI века. В связи с этим вопрос о первичности (приоритетности) материального или духовного в практике развития мировой цивилизации может быть поставлен совершенно в иную плоскость: духовность созидательна, если она лежит в основе материально-технического производства, и разрушительна, если порождается материально-техническим производством.

В первичности и приоритетности духовного, гуманистического начала в любых действиях и начинаниях инженерной, технической, научной мысли лежит решение усиливающегося и устойчивого противостояния техносферы и биосферы, их идеального сосуществования и гармонии. На

протяжении длительного времени практика внедрения новой техники или новых технологий требовала прежде всего постановки вопроса об их экономической выгоды и технической (или политической) целесообразности. При этом расчёты, связанные с сиюминутной и быстрой отдачей, очень часто оборачивались просчётами глобального масштаба и длительной перспективы. Впрочем, они и не могли быть другими, ибо учитывали человеческую личность либо в качестве некоего исполнительного механизма и государственного винтика, либо в качестве абстрактного пользователя и потребителя.

И тот, и другой взгляд на природу человека практически полностью обезличивал и растворял личность либо в коллективе, либо в среде стереотипных, одинаково мыслящих категориями потребления и благополучия индивидов, лишённых принципов нравственности и морали.

Социальные, политические и экологические катастрофы при духовности, основанной на силе и власти класса, партии, государства или индивида, духовности, стоящей над личностью и природой, были, по сути, запрограммированы всем ходом подобного «развития человечества». XX век стал не только веком так называемой «научно-технической революции», но и эпохой человеческих трагедий, природных катаклизмов, крушения иллюзий всемогущества техники, познания, силы и власти.

Вот почему идеальный инженерный, экономический или научный прогноз, связанный с внедрением новых моделей управления, новых проектов или новых технологий, их реконструкцией или ликвидацией должен сегодня базироваться на комплексном и постоянном учёте всех параметров, сопровождающих деятельность человека: социальных, психологических, экологических, демографических.

При этом нужно исходить из того, что любые, пусть даже идеальные расчёты реализуют люди, исходя из своих моральных принципов и традиций, представлений о целесообразности или нецелесообразности тех или иных действий. В этом смысле их сплочённость, способность к сотрудничеству и сопереживанию на основе объединяющей идеи, которая соотносится с типом общественного сознания (моралью), способна стать решающей производительной силой, полезной для общества и не губительной для окружающей среды.

В противном случае системный кризис, охватывающий экономику, политику, образование, науку и технику, культуру и искусство, разрушает общество, его мораль и нравственность, и тогда следует вести речь не о путях выхода из кризиса, не о новых технологиях, а о принципах построения нового общества, о новых общественных и государственных структурах и механизмах.



Но это уже предмет другого разговора...

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГУМАНИСТИЧЕСКОГО МИРОВОЗЗРЕНИЯ В ТЕХНОГЕННУЮ ЭПОХУ. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ.

Мозговой В.И., Вергазова Л.Г. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*The publication analyses the current situation and prospects of the process of formation of humanistic outlook within technocracy epoch. Psychological – pedagogic aspect of the problems connected with disbalance existing within rapid development of technosphere and human adaptability is becoming more urgent.*

Технический прогресс в истории мировой цивилизации проходил в своём развитии несколько последовательных этапов, которые так или иначе влияли на психологию и идеологию мышления общества:

1. Этап позитивного технического мышления раннего развития человечества, связанного с необходимостью расширения и усиления возможностей человека в его противостоянии природе, попытке устранения зависимости от её первобытной силы и власти.

Выход человека за пределы гармоничного единства с природой позволило ему обратиться к самому себе, преодолеть атомарность существования и задуматься о способах своего обустройства. Квинтэссенцией этого этапа явилась эпоха Возрождения.

2. Этап двойственного развития технической мысли, связанной с укреплением силы и власти правящей элиты протогосударств, который привёл к появлению изобретений, направленных не только на расширение возможностей человека, но и на его уничтожение (эпоха Просвещения).

3. Этап негативного технического мышления в эпоху формирования техногенной цивилизации, которое приводит к глобальным социальным и природным катастрофам, поскольку проекты и изобретения либо изначально направлены на уничтожение человека, либо на его постепенное устранение из сферы непосредственного общения с природой, что влечёт за собой разрушение биосферы.

Как естественная реакция на природные и социальные катаклизмы, связанные с гибелью цивилизации, в недрах техногенного общества начинает складываться психология страха и развиваться гуманистическое начало и чувство общей ответственности человечества за деятельность, разрушающую его основы.

В противоборстве гуманистического и техногенного начал тем не менее в сегодняшней практике развития цивилизации превалирует набравшее инерцию негативное техническое мышление. Психология страха при увеличивающейся частотности глобальных катастроф сменяется психологией тревоги, а затем и психологией безразличия. Выработанный психологический иммунитет на отрицательную деятельность человечества разрушает его единство и приводит общество в изначальное атомарное состояние. Мораль как норма общественного сознания сменяется моралью личного существования. Сегодня мы стоим на пороге самой губительной для человечества катастрофы духовности. Это ярко проявляется при анализе мышления нового поколения, психология безразличия которого сфокусировала мораль на обеспечение личного выживания или обогащения, ограниченного, впрочем, вполне конкретными временными рамками.

Проблематичность будущего в связи с этим требует, как никогда, актуализации психолого-педагогического аспекта, восстановления гуманистической направленности мыслительной деятельности, формирования и саморазвития естественной общечеловеческой морали (в противовес искусственной, навязанной обществу «техническим прогрессом», идеологией классов, партий или социальных групп), основанной на общении с лучшими образцами культуры, народной педагогики, литературы и искусства.

Технические инновации, выступающие катализаторами коренных изменений во всей системе человеческой жизни, на современном этапе требуют обязательного учёта и рассмотрения аксиологического (ценностного) момента. При этом основополагающим становится «антропный принцип», суть которого в наиболее общем виде состоит в том, что любой шаг познания (в том числе и технического) может быть принят только в том случае, если он гуманистически ориентирован, оправдан интересами рода людей не только при их взаимоотношениях друг с другом, но и с окружающей природой.

В полной мере «гуманитарный антропоморфизм», утверждающий неотделимость и неразрывную связь Человека и Вселенной, может стать доминантой научно-технического развития при условии качественно иного подхода к решению психолого-педагогических задач, ориентированных именно на «человекообразные» бытийные проблемы. В ином ракурсе видятся сегодня воспитательные функции как отдельного человека или общества, так и всего человечества. Их характер и исключительная сложность решения во многом заданы тем, что глобальный экокризис назревает не столько вокруг человека, сколько внутри него. Поэтому наиболее впе-

чатляющий результат, высочайшую эффективность дадут только «вложения» в человека.

Высоким технологиям жизненно необходима высокая нравственность человечества.

## ДИНАМИКА БУРОВОГО СТАВА БУРИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ УБШ

Молчанов В.Б. (АО «Буран», г. Донецк, Украина)

Анализируется влияние внешней гармонической составляющей нагрузки на динамику бурового става бурильной установки УБШ. Допустим, что один конец бурового става закреплен, а на втором со стороны забоя действует осевая нагрузка, изменяющаяся по синусоидальному закону с угловой частотой  $\omega$ . Тогда постановка задачи и краевое условие принимаю вид:

$$u_{xx} = a^2 u_{xx} + \frac{P}{m}, \quad (1)$$

$$u(0, t) = 0, \quad u_x(l, t) = \frac{P}{EF}; \quad (2)$$

Вынужденная составляющая решения определяется так:

$$u = w = X \cdot T, \quad (3)$$

где

$$u(0, t) = 0, \quad u_x(l, t) = \frac{P}{EF}; \quad (4)$$

Изменение осевой нагрузки в зависимости от координаты и времени описывается уравнением

$$N(x, t) = EF \cdot u_x = \frac{P \cdot \cos \frac{\omega}{a} x \cdot \sin \omega t}{\cos \frac{\omega}{a} l} \quad (5)$$

При  $x = 0$  из формулы (5) получается

$$N(0, t) = \frac{P \cdot \sin \omega t}{\cos \frac{\omega}{a} l}. \quad (6)$$

Таким образом, осевая нагрузка, возбуждаемая исполнительным органом, передается по буровому ставу любой длины без искажения фазы, но всегда усиливается при этом.

Если угловая частота вынужденных продольных колебаний бурового става совпадет с одной из собственных частот, то осевая нагрузка в месте

соединения бурового става с машиной растет до бесконечности, но еще раньше произойдет потеря прямолинейной устойчивости бурового става. С учетом продольных колебаний условия потери устойчивости записываются так

$$\frac{EI\pi^2}{l^2} - \frac{P}{\sqrt{2} \cdot \cos(\frac{\omega l}{a})} - \frac{ql}{2} \cos \alpha - \frac{\omega^2 l^2 q}{g\pi^2} \leq 0. \quad (7)$$

Выводы:

1. Применение дельта-функций в теории продольных колебаний стержневых систем позволяет получить точную форму стоячих волн, которым соответствуют получаемые известными методами бесконечные медленно сходящиеся ряды Фурье. Это упрощает анализ и позволяет оценить степень влияния каждой составляющей, связанной, например, с начальной скоростью и начальным ускорением стержня, внезапно приложенной нагрузкой к стержню и т.п.
2. При современных частотах вращения и гармонических продольных колебаниях осевой нагрузки на буровом ставе его распределенными параметрами можно пренебречь и считать, что передача деформации происходит мгновенно.

## ПРОБЛЕМЫ И РАЗРАБОТКА ТЕОРИИ РАСЧЕТА РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

Муганлинский С. Г. (ТРТУ, г. Таганрог, Россия)

*It is considered the problem mathematical simulating process off hard materials grinding in dynamic grinding devices. The approaches to simulation and the ways of they are realization are suggested.*

Процесс измельчения твердых материалов является обязательным во многих технологиях пищевой и строительной промышленности. До настоящего времени такой процесс в большинстве случаев обеспечивается применением динамических машин. Снижение материальных, финансовых и временных затрат на создание таких машин требует разработки теоретических основ и методик расчета рациональных геометрических, кинематических и эксплуатационных параметров таких машин.

В данной работе рассматриваются проблемы, разработка которых создаст теоретические основы расчета оптимальных характеристик динамических измельчительных машин.

Создание теоретических основ расчета параметров динамических измельчительных машин зависит от решения следующих основных проблем:

- 1) Выбор подходящей физической и реологической модели измельчаемого материала, который в общем случае перед входом в камеру динамической измельчительной машины представляет собой совокупность твердых частиц различной формы и размеров.
- 2) Расчет силовых факторов, под действием которых происходит расчленение частиц измельчаемого вещества на мелкие части. Решение этой проблемы в общем зависит от конкретной кинематической схемы измельчительной машины и физической модели измельчаемого материала. Предположительно можно указать два вида математических задач, возникающих при решении данной проблемы. Одна из этих задач представляет собой краевую задачу сплошной среды при различных реологических свойствах физической модели материала. Другая задача состоит в исследовании динамики и взаимодействия системы твердых тел как друг с другом, так и с рабочими органами динамической измельчительной машины.
- 3) Аналитическая интерпретация процесса формирования гранулометрического состава измельчаемого материала в условиях воздействия силовых факторов в рабочей камере динамической измельчительной машины. Сложность данной задачи заключается в том, что в подавляющем большинстве случаев процесс формирования гранулометрического состава материала имеет вероятностный характер. На стадии проектирования машины, конечно, можно рассматривать приближенный неслучайный процесс разрушения. Однако, для более точного решения задачи о составе конечного продукта измельчения следует обратиться к обобщению экспериментальных и опытных данных. Таким образом, здесь требуется сбор, исследование и обобщение статистических данных.
- 4) Аналитическая интерпретация процесса разрушения отдельных частиц измельчаемого материала в условиях воздействия силового фактора в рабочей камере измельчительной машины. При этом, очевидно, имеют место два случая. В одном из них можно предположить, что расчленение частицы материала на некоторые части происходит мгновенно при достижении силового фактора некоторого уровня. В этом случае задача состоит в определении напряженного состояния частицы материала и в установлении критерия разрушения принятой физической модели измельчаемого материала. В другом случае можно принять, что разрушение частицы материала происходит постепенно и при достижении локального разрушения определенной величины наступает разделение

частицы на части. Исследования показали, что для этого случая наиболее удобной моделью представляется теория распространения трещин. При этом расчетными величинами, в процессе проектирования динамической измельчительной машины, могут быть величина коэффициента интенсивности напряжения в вершине трещины и критическое значение коэффициента интенсивности напряжения.

В данной работе представлены некоторые результаты сформулированных выше проблем. Как показывает исследование опыта измельчения материалов, сам материал может быть моделирован во многих случаях сплошной средой, но с различными реологическими свойствами. Такие модели измельчаемого материала позволяют наиболее широко использовать математический аппарат для разработки расчетных методов. Такими моделями могут быть сплошные тела с упругими, вязкими и вязкоупругими свойствами. На основе таких односложных реологических моделей можно построить модель измельчаемого материала и с многосложными реологическими свойствами [1, 2, 3].

Одной из приемлемых реологических моделей, разрушаемого в машине материала, является модель сыпучего вещества в виде сплошной среды, в которой отсутствует сцепление, но имеется сопротивление сдвигу в пределах внутреннего трения [4, 5]. Такое моделирование сыпучего вещества, которым по существу во многих случаях является измельчаемый материал, приводит к модели идеальной жидкости, обладающей «сухим» трением. Такая модель измельчаемого вещества позволяет осуществить математическую постановку краевой задачи для конкретной измельчительной машины. Решение этой задачи обеспечивает определение напряженного состояния измельчаемого материала, которое позволяет интерпретировать процесс измельчения и дает возможность расчета необходимых параметров динамической измельчительной машины.

**Список литературы:** 1. Кирничанский Г. Т. Элементы теории деформирования и разрушения горных пород. - К.: Наукова Думка, 1989. - 253с. 2. Камаун С. К., Чудновский А. И. Квазихрупкое разрушение металлов. - Л.: ТрЦКТИ, вып-109, 1971. - 128с. 3. Хил Р. Упругие свойства составных тел механики. - М.: Наука, 1965. - 287с. 4. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. - М.: Наука, 1977. - 346с. 5. Строганов А.С. Экспериментальные исследования условий пластического течения и некоторые задачи теории предельного равновесия сыпучих тел. - М.: Наука, 1968. - 324с.



## О ТРЕБОВАНИЯХ К БЕЗЗАЗОРНЫМ ЧЕРВЯЧНЫМ ПЕРЕДАЧАМ

Надеин В.С., Хамуйела Жоахим А.Г. (КИСМ, г. Кировоград, Украина)

*In work are worded requirements to worm issues, intended for working in watch systems, one of which is a management kinematic and energy features of grapping on stage of designing without complicating a technology of fabrication.*

В практике машиностроения широкое применение получили передачи зацеплением к которым предъявляются жесткие требования относительно величины бокового зазора. Внимание конструкторов разнообразных технологических и специальных машин обращено к использованию в таких случаях червячных и спироидных передач благодаря кинематическому эффекту, который эти передачи позволяют получить, и ряду других их положительных свойств.

Однако практические результаты применения таких передач вызывают либо достаточно весомые технологические трудности, либо сами передачи не обеспечивают устранения бокового зазора при сохранении высокой кинематической точности воспроизведения заданного закона движения исполнительного органа машины. К тому же, зачастую энергетические потери в таких передачах достаточно высокие.

Анализ работ отечественных и зарубежных ученых в области создания червячных передач с полным автоматическим постоянным устранением бокового зазора (люфта, мертвого хода) показал, что в основном усилия их направлены на разработку конструкций люфтовывбирающих устройств.

Такое направление развития исследований беззазорных червячных передач следует признать тупиковым по целому ряду причин. Основной причиной необходимо признать следующую: при создании беззазорных червячных передач не учитываются особенности геометрии активных поверхностей витков червяка и зубьев колеса и их зацепления. Остальные причины являются производными от основной.

Причиной такого вывода служит следующее.

Анализ показал, что беззазорные передачи применяются в следящих системах станков с ЧПУ, в навигационном оборудовании и ряде других машин. Общим для указанных случаев применения беззазорных червячных передач является то, что при работе таких систем передача зачастую должна отработать команду с высокой точностью в пределах поворота колеса, измеряемого секундами. Кроме того, в случае применения следящей

системы на мобильных объектах с ограниченным энергоресурсом, важным становится вопрос снижения энергетических потерь. Имеются некоторые другие специфические требования, выполнение которых традиционными способами затруднительно.

Так, в червячных передачах с разрезным червячным колесом замыкающее усилие люфтовывбирающего устройства нагружает передачу крутящим моментом, превышающим по величине рабочий крутящий момент. В связи с этим энергетические потери возрастают больше чем в два раза. Кроме этого, взаимное перемещение половинок зубчатого венца, связанное с наличием биений колеса, червяка и другими погрешностями изготовления и монтажа, приводят к нарушению кинематики и погрешностям воспроизведения закона движения.

Большие размеры поля зацепления червячных передач приводят к тому, что в передачах с изменяемым межосевым расстоянием погрешности профиля по длине зуба колеса приводят к нарушению формы и положения мгновенной контактной линии, и, как следствие этого, к нарушению закона движения.

Наличие обратной связи в высокоточных следящих системах, предназначенной для устранения этих погрешностей, усложняет конструкцию привода, да и не всегда обеспечивает гарантированное выполнение требований, предъявляемых к механизму.

Кроме этих недостатков существенным является и то, что устранить их полностью не удастся ни конструктивными, ни технологическими приемами.

Исходя из этого к червячным передачам при использовании их в качестве беззазорных для высокоточных следящих систем как с обратной связью, так и без нее, можно предъявить следующие требования:

1. Управление кинематическими и энергетическими характеристиками зацепления конструктивными способами без технологического усложнения производства.

2. Обеспечение заданной кинематической точности воспроизведения закона движения исполнительного органа при любых взаимных перемещениях червяка и колеса, связанных с устранением бокового зазора.

3. Снижение до минимума энергетических потерь в зацеплении, связанных с силовым замыканием люфтовывбирающего устройства.

Обеспечение соответствия зацепления червячных передач предложенным требованиям можно достичь в случае отказа от применения при формообразовании активных поверхностей второго способа Оливье.

## ПРО СТВОРЕННЯ ВИРОБЛЯЮЧИХ ПАР ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ПЕРЕДАЧ З ЛОКАЛІЗОВАНИМ КОНТАКТОМ

Надєїн В.С. (КИСМ, м. Кіровоград, Україна)

*In this work question of formation produce pair for cutting surfaces of worm turns and teeth of wheel of worm and spiroid gearing with localized operated by the contact is considered.*

За останні декілька десятиріч для підвищення технічного рівня передач зачепленням використовують різноманітні способи модифікації активних поверхонь зуб'їв. Це, як відомо, дозволяє зменшити вплив похибок виготовлення деталей механізму та їх деформацію під час роботи на навантажувальну здатність зачеплення.

Відносно черв'ячних передач питання модифікації поверхонь зуб'їв має велике значення, так як поверхня зуб'їв черв'ячного колеса утворюється за так званим другим способом Олів'є, що приводить до їх дуже великої чутливості до похибок виготовлення, складання та деформацій під навантаженням.

Відносно черв'ячних передач питання модифікації поверхонь зуб'їв має важливе значення, так як поверхня зуб'їв черв'ячного колеса утворюється за так званим другим способом Олів'є, що приводить до їх дуже великої чутливості до похибок виготовлення, складання та деформацій під навантаженням. Для зменшення цієї чутливості розроблено чимало способів модифікації поверхні зуб'їв черв'ячного колеса. Наслідком такої модифікації є локалізація контакту в наперед вибраному місці зубу черв'ячного колеса.

Практична реалізація відомих способів ускладнюється деякими причинами, так як застосування їх пов'язане або із ускладненням обробки зуб'їв черв'ячного колеса, або з потребами у спеціальному інструменті. Крім вказаного, недоліками є і те, що, по-перше, ці поверхні зуб'їв черв'ячного колеса не є спряженими до поверхні витків черв'яка, в зв'язку з чим передача потребує досить довгої прироботки; по-друге, не можна керувати ступенем локалізації контакту; по-третє, кінематика контактної точки після прироботки залишається такою ж, як і в передачі без локалізації контакту.

В теорії зубчатих зачеплень прийнято виробляючі поверхні інструментів, якими нарізають поверхні зуб'їв пари коліс, що зачепляються між собою, називати виробляючою парою.

Аналізуючи причини, що приводять до недоліків, які властиві вказаним вище методам (способам) локалізації контакту, можна встановити і довести, що головною причиною виникнення цих недоліків є те, що виробляючі поверхні тих інструментів, які використовують при нарізанні витків черв'яка та зуб'їв колеса, утворюють виробляючу пару, яка не відповідає ні одній вимозі до виробляючих пар [1].

При створенні виробляючих пар для нарізування поверхонь зубчатих зачеплень треба виходити з того, що, крім забезпечення спряженості активних поверхонь зуб'їв, треба забезпечити і технологічність обробки цих поверхонь. Є немало прикладів того, що нетехнологічність зубообробки обмежує використання зачеплення.

З відомих способів синтезу спряжених поверхонь високу технологічність мають способи, основані на використанні жорстких та рухомих виробляючих пар [2,3].

В черв'ячній класичній передачі найбільші технологічні ускладнення виникають при нарізанні черв'ячного колеса, особливо при ремонті.

Очевидним є те, що при створенні виробляючої пари для формоутворення черв'ячних передач з локалізованим контактом за одну з її складових доцільно використати черв'ячну фрезу по ГОСТ 9324-60. Для обробки черв'яка можна використати цілу гаму дискових інструментів. Одна з можливих таких виробляючих пар використана для виготовлення черв'ячних та спіроїдних передач [4,5].

Досвід конструювання та експлуатації таких передач показав, що є можливість керувати властивостями таких передач в достатньо широких межах і забезпечити високі технічні показники зачеплення.

**Список літератури:** 1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. - М.: Наука, 1968. - 584 с. 2. Давыдов Я.С. Образование сопряженных поверхностей в зубчатых передачах по принципу жесткой неконгруэнтной производящей пары. - Вестник машиностроения, 1963, №2, с.9-13. 3. Давыдов Я.С. Незвольвентное зацепление. - М.: Машгиз, 1950. - 180 с. 4. Безруков В.И., Надеин В.С. Некоторые виды червячных передач с локализованным контактом зубьев. - В кн.: Совершенствование конструкций машин и методов обработки деталей/ Сб.научн.трудов, - Челябинск: ЧПИ, 1975, №164, с.3-8. 5. Безруков В.И., Надеин В.С. Применение принципа жесткой неконгруэнтной производящей пары для образования передач типа спироидных. - В кн.: Перспективы развития и использования спироидных передач и редукторов. - Ижевск: ИМИ, 1979, с.30-35.

# ВЛИЯНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Назимко Е.И., Кононова Н.С., Соколовская Н.В.  
(ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*Dynamic model for coal mine activity simulation has been developed. The impact of underground machines and equipment reliability on stability of coal output has been investigated. The model turned to be relevant tool for optimization of planing schedule.*

Коэффициент надежности оборудования является одним из основных параметров, влияющих на производительность очистного забоя. Авторами сделана оценка влияния коэффициента надежности оборудования с помощью статистических методов анализа.

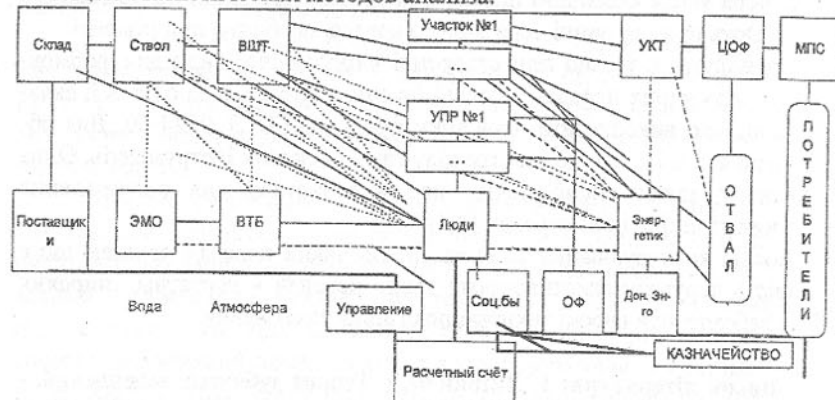


Рис. 1 Схема имитационной модели.

Прогноз добычи произведен с помощью имитационного математического моделирования. В качестве исходных данных для модели использованы реальные потоки ресурсов (люди, материалы, горная масса, концентрат и т.д.), выраженные в денежном эквиваленте (рис.1). Анализ влияния коэффициента надежности на производительность очистного забоя осуществлялся для каждого добычного участка (рис. 2) и для шахты в целом (по четырем добычным участкам).

На рисунке 2 изображено три графика суточной добычи участка: график предельно возможной добычи участка, график плановой добычи участка и график суточной добычи участка с учетом коэффициента надежности оборудования. Предельно возможная добыча участка рассчитана для идеальных условий: идеальные горно-геологические условия в сочетании с идеальной организацией труда, дисциплиной и всегда новым оборудованием. График плановой добычи участка показывает реально возможную добычу участка с учетом горно-геологических условий, вывалопасности и т.д. Третьим приведен график суточной добычи с учетом коэффициента надежности оборудования. Анализируя график мы можем определить благоприятные и неблагоприятные периоды для участка. Отметим, что неблагоприятные периоды для данного участка в данный момент могут «перекрываться» благоприятными периодами других участков. Для этого был проведен анализ четырех участков шахты и выведены показатели для шахты в целом. Графики предельно возможной, плановой и уточненной суточных добыч шахты приведены на рисунке 3. Из графика видно, что на 7-8 и 24-25 сутки добыча по шахте резко падает. В эти периоды произошел спад добычи на нескольких участках (вышло со строя оборудование или требует замены запчастей). Также, из графика видно, что на четвертые, 10-11, 16-17 и 27 сутки добыча повышается. Это связано с низкой вероятностью поломок в данные периоды и своевременной заменой

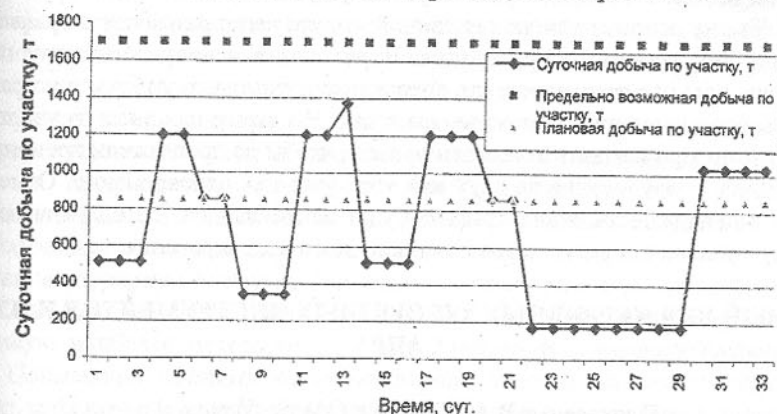


Рис. 2. Влияние коэффициента надежности оборудования на суточную добычу по участку.

оборудования или запчастей. В период относительно равномерной добычи угля по шахте происходило «перекрывание» спадов на одном участке подъемами на других.



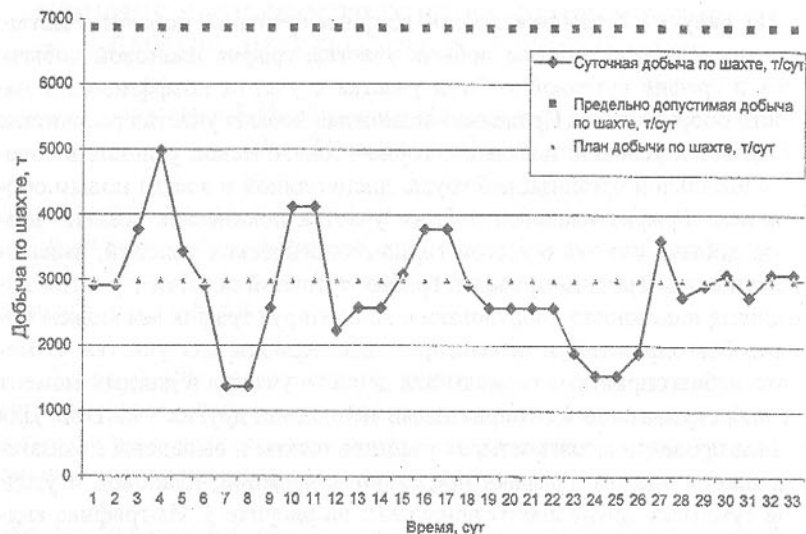


Рис. 3. Влияние коэффициента надежности оборудования на суточную добычу шахты.

Рассмотренная выше модель позволяет дать объективную оценку работы шахты и предусмотреть меры по устранению возникших трудностей. Так на основе применения данной модели легко разработать график замены или ремонта оборудования. В результате использования такого графика появляется возможность оперативно планировать работы и устранять заблаговременно возможные накладки. Например на одном из участков ремонт производить несколько раньше, чтобы по прошествии времени не менять оборудование на двух или трех участках одновременно. Отметим, что надежность такого графика будет максимальной благодаря высокой достоверности результатов имитационного моделирования.

## НОВЫЙ ВИД ЧЕРВЯЧНЫХ ЗУБОРЕЗНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ИХ САПР

Настасенко В.А. (ОГПУ, г. Одесса, Украина)

*The work results in the development of conception of improvement of worm teeth cutting tools. Suggested assortment our invention-hob cutter with plates which need no resharping and methods of their profiling, are created that provides for complex achievement of basic technico-economic indexes of teeth*

*processing: precision, productivity and made their manufacture economical and technological.*

Основными путями повышения производительности червячной зубообработки является увеличение скорости резания  $V$  или осевой подачи  $S_{об.см.}$ . Кроме снижения стойкости  $T$  инструмента (от увеличения  $V$  — по кубической зависимости, а от увеличения  $S_{об.см.}$  — по квадратичной зависимости), первый путь связан с увеличением частоты вращения инструмента  $n$  и адекватным ему ростом частоты вращения стола станка, что ухудшает динамику процесса, а второй — связан с увеличением волнистости вдоль оси изделия, что ухудшает качество обработки.

Если компенсация снижения  $T$  возможна различными путями (улучшением режущих свойств инструментальных материалов, оптимизацией конструкции инструмента, геометрии режущего клина и др.), то компенсация роста  $n$  возможна увеличением наружного диаметра инструмента, а  $S_{об.см.}$  — увеличением числа заходов. Однако реализация последних путей у традиционных инструментов затруднена, поскольку рост диаметра требует увеличения габаритов и мощности применяемого оборудования, а рост числа заходов приводит к ухудшению огранки, что требует увеличения количества реек, что, в свою очередь, невозможно без увеличения диаметра и т.д. Поэтому необходим поиск новых решений по усовершенствованию червячных инструментов на базе нетрадиционных конструкций. В его основу положена концепция их усовершенствования [1], согласно которой предпочтительна разработка многозаходных червячных инструментов, оснащенных сменными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава или сверхтвердых инструментальных материалов.

У предлагаемых червячных зубообрабатывающих инструментов пружинно-реечного типа оснащение зубьев пластинами облегчено, что обеспечивает возможность увеличения количества реек до 60...90 без увеличения наружного диаметра. При этом исключен рост огранки даже при 6...9 заходах, что делает перспективной многозаходную обработку, признанную наиболее целесообразной для повышения производительности [2]. Применение сменных неперетачиваемых пластин исключает потребность затылования, переточек и правок инструментов 1-го и 2-го порядков, а также погрешностей, связанных с данными процессами, проектированием и изготовлением данных инструментов, изменением их размеров и условий огибания. Оснащение зубьев пластинами облегчает выбор инструментальных материалов и упрощает выполнение оптимальных передних и задних углов, в т.ч. на боковых режущих кромках, что повышает технологичность, экономичность и эргономичность изготовления и эксплуатации

подобных червячных инструментов. Совокупность указанных факторов определяет перспективность предлагаемого в концепции направления.

Создание высокоточных многозаходных червячных зуборезных инструментов сдерживают органические погрешности, вызванные винтовой формой производящих поверхностей. Однако указанные недостатки исключены в предлагаемой методике профилирования, на базе которой разработана САПР.

Исследования новых конструкций червячных инструментов, созданных в рамках концепции их усовершенствования, показали, что наивысшая точность возможна при точечном профилировании. При этом погрешности профиля исключены, а конечная точность определяется лишь точностью базовых поверхностей, направления витков, а также точностью пластин и точностью их установки на зубе, что при селективном отборе пластин (а у инструментов точечного профилирования их всего одна на зубе), позволяет обеспечить точность в пределах 8...15 мкм. Такая точность превышает показатели фрез ААА класса ГОСТ 9324-80Е, а для ее достижения не требуется создания специального особоточного заточного и затыловочного оборудования нового поколения. Для предлагаемых шлифовальных кругов пружинного типа определяющей является точность установки в канавках корпуса плоских пружин с нанесенным на их вершинные боковые поверхности абразивным слоем. Перспективными также являются червячные инструменты реечного типа кромочного профилирования, устраняющие главный недостаток червячных инструментов точечного профилирования — неуниверсальность по числу зубьев обрабатываемого колеса, среди которых наивысшую точность имеют гиперболюидные.

Для практической реализации нового типа червячных фрез разработана САПР, которая охватывает поле из 600 возможных конструктивных исполнений пластин и их размещений на зубе, полученных по результатам морфологического анализа [3]. При этом программа автоматически отсеивает явно противоречивые варианты, а в диалоговом режиме проектирования — формирует рекомендации по устранению противоречий, по выбору лучших вариантов сочетаний пластин, по определению их размеров и параметров установки на зубе фрезы, а также обеспечивает их подбор и варьирование до значений из стандартного ряда размеров, несмотря на то, что в конструктивных параметрах исходного инструментального контура заложено иррациональное число  $\pi$ . Например, для черновой червячной модульной фрезы  $m=5,5$  мм на вершине зуба возможно применение пятигранной неперетачиваемой пластины с внутренним диаметром по боковым сторонам  $db=5,000$  мм, на ножке зуба — модифицированной пятигранной

пластины с  $db=13,500$  мм. Результаты вычислений иллюстрируются графической информацией по размещению пластин на зубе. Проведенные на базе расчетов исследования позволили выделить 92 варианта предпочтительных исполнений, в т.ч. оптимальные исполнения для чистовых, получистовых и черновых фрез, которые доведены до уровня практической реализации.

Программа защищена от несанкционированного использования, а конструкции инструментов и пластин — патентуются. При этом экономичное изготовление пластин возможно только в условиях специализированного производства инструментальных заводов, ограниченный круг которых облегчает контроль за внедрением изобретений. Совокупность указанного обеспечивает возможность заключения лицензионных соглашений и широкого взаимовыгодного сотрудничества с потребителями и изготовителями фрез и пластин.

**Список литературы:** 1. Настасенко В.А. Червячные фрезы XXI века //Прогрессивные технологии машиностроения и современность. — Сб. трудов междунар. науч.-техн. конф. — Донецк: ДонГУ, 1997. с.176-177. 2. Настасенко В.А. Дополнительный анализ возможности повышения производительности зубофрезерования увеличением числа заходов фрезы. //Вестник машиностроения. 1996. №1. -с.38-40. 3. Настасенко В.А. Морфологический анализ — метод синтеза тысяч изобретений. — К.: Техніка. 1994. -44с.

## СТЕНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ГЛАЗУРОВАННЫХ ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ

Недовес В. А. (ВІТУ, г. Вінниця, Україна)\*

*One of the mandatory requests to certification ceramic tiles for floors is the check of glaze wear resistance. However, mechanisms for definition of this parameter in test laboratories are absent, and the domestic industry does not produce them. In this connection the problem was delivered to develop the stand, which would correspond to GOST 27180-86.*

Одним из обязательных требований к сертификации керамической плитки для полов является проверка износостойкости глазури. Этот показатель по [1] должен проводиться на соответствующем испытательном оборудовании схема которого представлена ГОСТом Стенд для испытания (рис.1.) состоит из основной несущей плиты (1), приводимой в эксцен-

тричное круговое движение коленчатым валом (2), со скоростью вращения 300 об./мин. при эксцентриситете 22,5 мм. Испытуемые образцы (3) в количестве (8) шт. с размерами 100 на 100 мм располагаются на несущей плите стэнда и прижимаются к ней с помощью накладок (5) и резиновых втулок (4), которые ограничивают истираемую площадь плитки, равную 54 см<sup>2</sup>. Пространство между накладкой (5) и образцом (3) заполняется заданным количеством шлифовальной смеси (6).

Стэнд приводят в движение, а затем последовательно после 150, 300, 450, 600, 900, 1200, 1500 и более 1500 оборотов плиты извлекают по одному образцу. По циклу испытания, в котором будет обнаружено первое видимое повреждение или изменение поверхности испытуемого образца, для плиток устанавливают степень износостойкости в соответствии с таблицами приведенными в [1].

В настоящее время, украинская и российская промышленность испытательного оборудования полностью отвечающего требованиям не выпускает. Аналогичное западноевропейское оборудование является дорогостоящим и ориентировано на испытание одного образца.

В связи с этим в НИЛ ЕфСК ВГТУ была поставлена задача разработать стэнд, который соответство-

Рис.1. Схема испытательного стэнда.

вал бы требованиям указанным выше.

Для воссоздания необходимого эксцентричного кругового движения несущей плиты в основу принципа действия стэнда положен четырехзвенный механизм (рис.2.) с двумя кривошипами (1,3) и шатуном (2), который в отличие от альтернативных вариантов полностью исключает проворот несущей плиты вокруг собственной оси, а также является наиболее надежным и простым в изготовлении [2]. Необходимыми условиями существования данного механизма являются точные соотношения звеньев:

$$AB = CD, BC = AD.$$

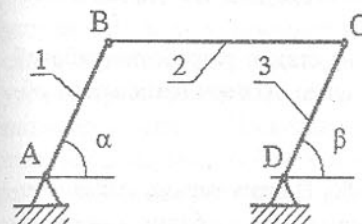


Рис.2. Принципиальная схема механизма.

В конструкции стэнда (рис.3.) роль кривошипов исполняют сборные коленчатые валы (2,3). Ведущий вал с помощью двух подшипников качения (4) крепится в центре несущей плиты (1) и воспринимает все радиальные  $F_R$  и осевые  $F_0$  нагрузки связанные с движением плиты и ее массой

$$F_R = m w^2 R;$$

$$F_0 = m g,$$

где  $R$  - эксцентриситет вала;

$m$  - суммарная масса плиты и расположенных на ней деталей;

$w$  - угловая скорость плиты.

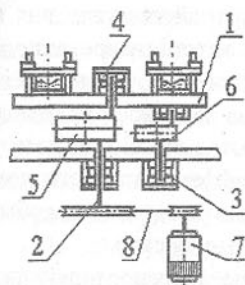


Рис.3. Конструктивная схема механизма.

Вращение ведущего вала осуществляется от электродвигателя (7) с помощью клиноременной передачи (8).

Стэнд оснащен необходимым электронным счетчиком оборотов, пультом управления и блоком обработки информации. Назначение кото-

В этом случае углы поворота ведущего  $\alpha$  и ведомого  $\beta$  звеньев будут равны в любом положении. Следовательно, звенья вращаются с равной скоростью и передаточное отношение постоянно равно единице. Эти условия обеспечивают равномерные одинаковые круговые движения для всех точек шатуна, то есть то движение которое нам необходимо создать для основной несущей плиты стэнда.

В конструкции коленчатого вала (2) предусмотрен противовес (5), функциональное значение которого - погашение вибраций связанных с радиальной силой  $F_R$ . Центр массы противовеса расположен таким образом чтобы обеспечивалось условие

$$F_R - F_R' = m w^2 R - m' w^2 R' = 0,$$

где  $m'$  - масса противовеса;

$R'$  - расстояние от центра масс противовеса до оси вращения вала.

В конструкции ведомого вала (3) также предусмотрен противовес (6), который уравнивает силы, создаваемые непосредственно массой самого вала и деталями его крепления к основной несущей плите.

\* Работа выполнена в Научно-исследовательской лаборатории эффективных строительных конструкций Винницкого государственного технического университета.



рых - отслеживать точное количество оборотов несущей плиты, соответствующее данному циклу испытаний.

В настоящее время завершена работа на стадии разработки рабочей документации и ведется подготовка к созданию экспериментального образца.

**Список литературы:** 1. ГОСТ 27180-86. Плитка керамическая. Методы испытаний.-Введ.- 11.12.86. 2. Ливицкий Н.И. Колебания в механизмах. М.: Наука. Гл. ред. физ.- мат. лит., 1988 336 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Нечепаяев В.Г., Величко Д.С. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*It is carried out the analysis of transport devices structure for modern technological systems. Optimization of structure is made by using of devices, which form additional hydrodynamic effect. It is developed the groups of practical engineering designs.*

Важной составной частью многих современных технологических систем являются транспортирующие устройства - устройства удаления и перемещения стружки металлорежущих систем автоматизированного производства, исполнительные органы горных машин и др. Их несовершенство существенно ограничивает функциональные возможности технологических систем. Так, производительность и качество обработки металлов резанием в значительной мере определяется эффективным отводом стружки, а производительность очистных комбайнов и сортность добываемого угля лимитируются погрузочной способностью шнеков.

Традиционные подходы к совершенствованию транспортирующих устройств оказались либо неэффективными применительно к рассматриваемым задачам, либо исчерпали имеющиеся возможности. Например, практически отсутствуют устройства, обеспечивающие удовлетворительный отвод стружки при фрезеровании глубоких и профильных пазов, удаление стружки из замкнутых полостей и т.д. Лучшие из существующих образцов шнеков уже не отвечают современным требованиям к транспортирующим устройствам очистных комбайнов. На основе анализа состояния вопроса сделан вывод о необходимости совершенствования структуры транспортирующих устройств с целью расширения функциональных возможностей принятых к рассмотрению технологических систем.

С целью оптимизации структуры предложено ввести в их состав устройства, осуществляющие дополнительное гидродинамическое воздействие на транспортируемые сыпучие материалы - металлическую стружку, уголь и др. Разработаны соответствующие технические решения, имеющие патентную защиту. Поскольку разработанные транспортирующие устройства представляют собой механо-гидродинамические системы, свойства которых применительно к решаемым задачам ранее не исследовались, предложен новый подход для их изучения - комплексный кинематико-силовой. В отличие от известных, он предусматривает одновременный учет и совместное рассмотрение кинематических и силовых параметров рассматриваемых систем.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МЕХАНО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Нечепаяев В.Г., Кейлин А.И. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*It is developed the methodics of modeling of transportation process for dry materials by mechano-hydrodynamic devices. Models are developed for transportation of chip and broken coal.*

Оптимизация структуры транспортирующих устройств достаточно широкого круга технологических машин (металлорежущих систем автоматизированного производства, очистных комбайнов и др.) приводит к трансформированию их в механо-гидродинамические системы, свойства которых практически не исследованы. Это определяет актуальность разработки методики моделирования процесса транспортирования сыпучих материалов такими устройствами.

В основу разработанной методики положена обобщенная физическая модель процесса транспортирования. Обобщенная модель представляет собой наклонный криволинейный желоб, внутри которого осуществляется движение сыпучих материалов. Боковые стенки желоба подвижны и имеют в общем случае различные скорости и противоположные направления перемещения. Математическая модель процесса, составляемая на основе обобщенной модели, определяет условия равновесия элементарного слоя, выделенного в перемещаемом сыпучем теле при равномерном движении его по желобу. При моделировании принимается допущение: транспортируемые сыпучие материалы рассматриваются как сплошная и несжимаемая сыпучая среда. Составление физических и математических моделей конкретных устройств выполняется по аналогичной методике с

учетом особенностей конструктивных схем и значений режимных параметров.

В общем случае в транспортируемом потоке сыпучего материала имеет место изменение давления по трем координатным осям. В этом случае математическая модель приводится к системе дифференциальных уравнений в частных производных. В частных случаях, когда изменением давления по двум координатам можно пренебречь, математическая модель приводится к неоднородному линейному дифференциальному уравнению вида

$$y''(\varphi) + \rho(\varphi)y = Q(\varphi)$$

Разработаны и реализованы модели выгрузки угля шнековыми исполнительными органами очистных комбайнов и удаления металлической стружки из пазов различной конфигурации при их фрезеровании, ориентированные на определение оптимальных параметров.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПЛАВНОСТИ В СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЕ С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ТИПА ЛЮФТ

Новикова Е.А., Морозов В.В., Костерин А.Б.  
(ВлГУ, г. Владимир, Россия)

*The article is concerned with a simulation and analysis of smoothness in the servomechanism with gap-type nonlinearity. The servomechanism is based on an electromechanical drive consisting of a dc torque motor and a rollerscrew mechanism built in its hollow rotor. The auto oscillatory modes are found and the dependencies of smoothness of motion on parameters of a drive are defined.*

Возрастающие требования к качеству следящих систем заставляют проектировщиков более внимательно и глубоко оценивать влияние нелинейных характеристик звеньев, особенно тех, которые проявляются в динамике движения системы. Анализ процессов в системах с нелинейностями позволяет подбирать параметры исполнительного механизма и усилительно-преобразовательного устройства таким образом, чтобы свести к минимуму их негативное влияние на систему. Изучению влияния зазоров на такую динамическую характеристику как точность посвящено немало работ, но практически отсутствуют сведения, каким образом данная нелинейность отражается на плавности выходного движения.

Электромеханический привод, состоящий из роликвинтового механизма (РВМ), встроенного в полый ротор вентильного двигателя, является интересным объектом исследования как система с нелинейностью типа

люфт, которую в силу сложности состава (многочисленности звеньев) и изготовления исполнительного механизма практически невозможно устранить.

При отсутствии зазора в передаче между звеньями устанавливается постоянная кинематическая связь, характеризующаяся кинематической передаточной функцией РВМ  $S_x = \frac{v_2}{\Omega_1}$ , где  $\Omega_1$  — угловая скорость вращения

входного звена,  $v_2$  — линейная скорость перемещения выходного звена. Однако реальные передачи имеют ограниченную точность изготовления, что приводит к непостоянству кинематической связи. При размыкании зазоров, присутствующих в соединениях механизма, механическая связь между массами привода может нарушаться. Наличие зазоров является характерной особенностью приводов, содержащих зубчатые и винтовые исполнительные механизмы, так как определенный минимальный зазор необходим для нормальной работы передачи. С течением времени в результате износа зазоры увеличиваются, соответственно возрастает и их неблагоприятное влияние на условия работы привода. При выборе зазоров возникают удары, увеличивающие динамические нагрузки, и ускоряющие износ передач. В следящем приводе зазоры уменьшают точность слежения, могут являться источником неравномерности движения и автоколебаний (АК).

Система дифференциальных уравнений, описывающая динамику электромеханического привода, имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = y_1 \\ \dot{y}_1 = \frac{S_x \omega_{xx} \left( 1 - \frac{k_x}{U_0} x_2 - \frac{k_y}{U_0} y_2 - \frac{S_x F_{12}(x_1 - x_2, y_1 - y_2)}{M_{II}} \right) - y_1}{T_1} \\ \dot{x}_2 = y_2 \\ \dot{y}_2 = \frac{F_{12}(x_1 - x_2, y_1 - y_2) - F_{mp}(y_2)}{m_2} \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения составлены для двухмассовой модели: первая масса жестко связана с валом двигателя и описывается фазовыми переменными  $x_1$  и  $y_1 = \dot{x}_1$ , состояние второй массы (нагрузка) определяется фазовыми переменными  $x_2$  и  $y_2 = \dot{x}_2$ .

Обозначения:  $U_0$  — номинальное напряжение на входе двигателя;  $\omega_{xx}$  — частота холостого хода двигателя;  $M_{II}$  — пусковой момент двигателя;

ля;  $T_1 = J_1 \frac{\omega_{\text{ХХ}}}{M_{\text{П}}}$  — электромеханическая постоянная времени;  $J_1$  — момент инерции 1-го звена (входного звена передачи и ротора двигателя);  $m_2$  — масса 2-го звена (выходного звена передачи и жестко связанной с ней нагрузкой);  $k_X, k_Y$  — коэффициенты обратной связи по положению и скорости;  $F_{12}(\Delta x, \Delta y) = c f_L(\Delta x) + b \dot{f}_L(\Delta x)$  — сила упругости;  $F_{\text{тр}}$  — сила трения;  $f_L$  — функция, моделирующая люфт в передаче:

$$f_L(\Delta x) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\Delta x| \leq \Delta_L \\ \Delta x - \Delta_L \operatorname{sign}(\Delta x), & \text{если } |\Delta x| > \Delta_L \end{cases} \quad (2)$$

Анализ плавности решений системы (1) с люфтом типа «зона нечувствительности» (2) основан на обработке найденных решений с помощью предложенных авторами показателей плавности, определяемых через полную вариацию решений на всем интервале наблюдения [1]. В установившемся режиме при отсутствии возмущений единственной причиной не плавности являются автоколебания, возникающие в системе с люфтом. В допустимом диапазоне изменения параметров обнаружено, что два параметра ответственны за наличие АК в системе: демпфирование в механизме и скоростная нагрузка (трение). Остальные параметры могут сдвигать границу автоколебательного режима, но если в системе практически нет демпфирования или потерь на трение, то АК в системе присутствуют всегда.

Амплитуда колебаний в приводе без нагрузки определяется только величиной зазора, другие факторы практически не влияют на амплитуду установившихся АК. Поэтому в системе с люфтом практически невозможно добиться снижения неточности ниже  $\Delta_L$  (разве только искусственно вводя демпфирование или скоростную нагрузку).

Частота автоколебаний, в отличие от амплитуды, хорошо управляемый параметр. Поэтому уменьшая частоту АК, можно добиваться снижения неплановности, управляя многими параметрами. Частота в системе уменьшается как с увеличением инерционности (утяжеление ротора, масса нагрузки, коэффициент обратной связи по ускорению), так и диссипации (демпфирование и скоростная нагрузка) системы. Напротив, увеличение позиционной нагрузки и обратных связей по положению и скорости ведет к усилению колебательных свойств привода и, следовательно, росту частоты АК. Более сложна зависимость частоты от коэффициента механической характеристики двигателя и кинематической передаточной функции — сначала их рост ведет к возникновению перерегулирования, а, следова-

тельно, к некоторому росту частоты АК. Дальнейшее увеличение этих параметров ведет к росту инерционности в системе и снижению частоты АК.

Таким образом, на не плавность выходного перемещения влияет не столько наличие или отсутствие автоколебаний, сколько их частота. Несмотря на то, что точность системы практически нельзя улучшить без введения специальных корректирующих или демпфирующих звеньев, такое качество системы как плавность вполне достижимо даже при наличии заметного зазора. Наиболее эффективно увеличение плавности происходит при увеличении масс привода (при ограничении массы это достигается введением обратной связи по ускорению), при увеличении КПД или механической характеристики двигателя.

**Список литературы:** 1. Морозов В.В., Костерин А.Б., Новикова Е.А. Интегральные критерии плавности электромеханических приводов / Материалы Международной научно-технической конференции «Конверсия, приборостроение, рынок». Владимир: ВлГУ, (14-16 мая) 1997 г. Ч. I. С. 66-70.

## УПРАВЛЕНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫМИ СТАНКАМИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Новоселов К.Ю. (СевГУ, г. Севастополь, Украина)

*The questions of optimum control of machine tools with microprocessor systems are considered on the basis of the forecast of the technological objects condition. The decomposition and mathematical model of operations is developed. The adjusting subsystem structure is considered.*

Использование станков с микропроцессорными системами управления позволяет автоматизировать процессы обработки заготовок, но эффективность их в производстве, по сравнению с теоретически достижимой, остается недостаточно высокой. Это связано со сложностью адаптации управления станками к конкретным производственным условиям. Операциям обработки материалов резанием характерно непрерывное изменение параметров технологической системы даже при сохранении условий ее эксплуатации. В процессе работы изменяются: точность и жесткость станка и приспособлений, состояние режущих кромок, форма инструмента, состав и степень загрязненности СОЖ. В особенности это чувствительно для операций шлифования, при выполнении которых изменения параметров системы и возмущения существенно влияют на производительность и ка-



чество обработанных поверхностей. Оптимальное управление в этом случае должно базироваться на стратегии его соответствия состоянию технологической системы. Любое изменение состояния системы должно учитываться при управлении.

Для реализации обоснованного подхода выполнена декомпозиция операции шлифования, проведена классификация изменений и возмущений, дана оценка частотным и скоростным параметрам изменений, разработана динамическая модель операции, предложены структура, математическое и программное обеспечение корректора. При проведении декомпозиции выделены подсистемы: станка, приспособления для правки инструмента, зажимного приспособления, инструмента, заготовки, зоны контакта заготовки с инструментом, СОЖ, управляющая и корректирующая подсистемы. Для каждой из подсистем рассмотрены вектора входных, выходных переменных, параметров состояния, изучено влияние изменений параметров подсистем на выходные переменные операций. Установлено, что изменение каждого из параметров избирательно влияет на одну или несколько выходных переменных, имеет собственную частоту прерывания и свои скоростные характеристики. В зависимости от природы, изменения не образуют непрерывного спектра и при наблюдении за выходными переменными могут быть легко идентифицированы.

При разработке комплексной динамической модели операции шлифования в основу положен теоретико-вероятностный подход, рассмотренный в работах А.В. Королева [1]. Известные зависимости дополнены функционалами, позволяющими учесть влияние на процесс шлифования жесткости и точности станка, приспособлений, вибраций, возникающих в технологической системе, изменений параметров состояния инструмента и заготовки.

Предложенные модели отражают поведение системы при ее эксплуатации и позволяют прогнозировать параметры ее текущего состояния при любых вариантах управления. Это позволило использовать ее при разработке высокопроизводительных циклов шлифования на этапе проектирования технологических процессов с учетом прогноза поведения системы. Для расчета высокопроизводительных циклов шлифования модель дополнена техническими ограничениями, отражающими возможности оборудования, характеристики заготовки, требования, предъявляемые к точности и качеству обработанной поверхности. Оптимизация цикла шлифования в соответствии с рекомендациями работы [2] выполнена по быстрейшему методу покоординатного спуска. Отличительной особенностью расчетных циклов от применяемых на производстве является изме-

нение его параметров, а в ряде случаев и его структуры для каждой новой заготовки.

Необходимость разработки корректирующей подсистемы вызвано неточностью задания параметров начального состояния технологической системы, некоторые из которых при обработке новой партии заготовок либо вообще не контролируются, либо определяются с большой погрешностью, изменчивостью окружающей технологической среды, погрешностями математической модели, связанными с принятыми допущениями и упрощениями.

Основными блоками корректирующей подсистемы являются: обнаружения отклонений выходных переменных от прогнозируемых; установления причин появившихся отклонений; принятия решения о необходимости проведения коррекции, выполнение коррекции. Алгоритм работы модуля обнаружения отклонений строится на основе методов статистики и методик анализа стохастических процессов. В модуле установления причин отклонений по вычисленным значениям вектора отклонений выходных переменных  $\Delta Y$  с помощью разработанных матриц соответствия и конечных автоматов определяются параметры вектора состояния  $\Delta Z$ , приведшие к появлению этих отклонений. В модуле принятия решений рассматриваются две ситуации. Если одна из выходных переменных выходит за пределы допустимых значений, то выполнение коррекции обязательно. Если технические требования на изделие соблюдаются, то коррекция производится, если выигрыш от нее получается больше, чем затраты на ее проведение.

Выполненные численные эксперименты модели оптимального управления на ЭВМ показали, что наибольшее влияние на параметры и структуру цикла врезного круглого наружного шлифования оказывают: жесткость технологической системы, диаметр шлифовального круга, изменение состояния его рабочей поверхности за период стойкости между правками. С уменьшением жесткости системы существенно изменяются подача и продолжительность этапа чистового шлифования. При низкой жесткости на чистовом этапе цикла шлифования подача принимает отрицательное значение, что связано с необходимостью снижения натяга в технологической системе. При уменьшении диаметра абразивного инструмента при шлифовании с постоянной частотой вращения круга уменьшается скорость резания, для обеспечения заданного качества изделия и соблюдения всех технических ограничений приходится работать с меньшими подачами. Затупление режущих кромок за период стойкости инструмента между правками приводит к повышению сил резания. Для обеспечения стабильности процесса необходимо снижать подачу на всех эта-

пах цикла. Сопоставление расчетных циклов с производственными, подобранными для наихудшего состояния системы, показывает на возможность повышения производительности операций шлифования на 40...50% при одновременной стабилизации качества обработанных поверхностей.

**Список литературы:** 1. Королев А.В., Новоселов Ю.К. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Часть 2. Взаимодействие инструмента и заготовки при абразивной обработке. — Саратов: Из-во Саратов. Ун-та, 1989. — 160 с. 2. Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. — М.: Машиностроение, 1982. — 208 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРИ ЧИСТОВОМ И ТОНКОМ ШЛИФОВАНИИ

Новоселов Ю.К. (СевГТУ, г. Севастополь, Украина)

*The basic directions of increase of productivity and quality are considered with performance of fair operations and thin grinding in the automated manufacture, the opportunity of essential increase of efficiency is established at the expense of a choice of circles of the optimum characteristics and introduction of high-efficiency cycles.*

Технологические процессы обработки наиболее ответственных деталей машин и приборов, как правило, заканчиваются операциями чистового и тонкого шлифования. С одной стороны, в структуре технологического процесса эти операции являются наиболее ответственными, так как в значительной мере определяют параметры качества изделия, с другой — они наиболее чувствительны к различного рода возмущениям и требуют точной настройки и строгого соблюдения технологических условий. Учитывая непрерывное совершенствование конструкций станков, абразивного инструмента, использование новых материалов, поиск наиболее рациональных условий выполнения операций экспериментальными методами не всегда себя оправдывает. Для этого необходимы модели, адекватные реальным процессам, позволяющие решать задачи оптимизации и оптимального управления.

При теоретическом анализе направлений повышения производительности и качества операция рассмотрена как динамическая система, функционирующая в производственной среде и имеющая вектора входных, выходных переменных, управляющих и возмущающих воздействий.

Построена комплексная динамическая модель процесса, включающая описание отдельных подсистем и их взаимодействий. Модель учитывает отсутствие у абразивных зерен регулярной геометрии, разновысотность их положения на рабочей поверхности инструмента, изменение взаимного расположения инструмента и заготовки за период съема припуска. Модель позволяет рассчитывать шероховатость обработанной поверхности, скорость съема припуска, отклонения формы и эксцентриситет поверхности при любых алгоритмах изменения режима резания.

При определении оптимальной характеристики абразивного инструмента модель дополнена техническими ограничениями и критерием эффективности. При шлифовании на заданных режимах инструмент должен обеспечивать получение предусмотренных техническими условиями параметров шероховатости поверхности, физико-механического состояния поверхностного слоя, параметров точности. Первое требование записывается неравенствами  $R_a \leq \beta_r, R_a \geq \alpha_r$ , второе, соответственно,  $T \leq \beta_t, T \geq \alpha_t$ , где за  $\beta_r, \beta_t$  и  $\alpha_r, \alpha_t$  обозначены максимально и минимально допустимые значения шероховатости и глубины дефектного слоя. Для обеспечения заданной точности при врезном шлифовании абразивный инструмент должен сохранять свою форму, величина его радиального износа  $\Delta R$  за период стойкости должна быть меньше предельно допустимой  $\Delta R \leq \beta_{\Delta R}$ . Для получения поверхности без прижогов и шлифовочных трещин, температура поверхностного слоя должна быть меньше допустимой. Кроме перечисленных требований конструкция инструмента должна создавать оптимальные условия для процесса стружкообразования. Наиболее благоприятные условия достигаются при глубине микрорезания  $t_\phi \geq \xi \rho_{K_3}$ , где  $\xi$  — критическое значение отношения глубины микрорезания к радиусу закругления при вершине абразивного зерна  $\rho_3$ , при котором наблюдается переход от пластического оттеснения к микрорезанию. В то же время глубина микрорезания должна быть меньше предельно допустимой, при которой наблюдается интенсивное разрушение абразивных зерен  $t_\phi \leq \psi \rho_3$ . Для размещения стружки объем межзернового пространства и пор  $W_n$  должен быть больше объема образующейся стружки,  $W_n \geq \eta W_c$ .

При выражении показателя  $R_a, T, \Delta R, t_\phi, W_n$  через параметры характеристики абразивного инструмента и режима резания получена система ограничений, определяющих допустимую область возможных решений.

Для выбора оптимальной характеристики в качестве критерия эффективности приняты приведенные затраты на выполнение технологической операции. Учитывая, что параметры характеристики абразивного инструмента меняются дискретно и число возможных вариантов конечно,

оптимальная характеристика может быть определена на основе вычисления и сопоставления критерия эффективности для всех возможных вариантов. Для процессов шлифования с обеспечением высокой размерной стойкости оптимальное решение может достигаться как на границе, так и внутри области, определяемой системой неравенств. При шлифовании в режиме самозатачивания расчет упрощается и может производиться в такой последовательности: из условия обеспечения заданной шероховатости поверхности определяется зернистость; из условия размещаемости стружки в межзерновом пространстве вычисляется структура; из условия получения заданного качества поверхностного слоя определяется твердость инструмента.

Высокопроизводительные циклы шлифования рассчитываются по предложенной математической модели методом винтового покоординатного спуска. При расчете учитывается наличие на поверхности заготовки исходной шероховатости поверхности, эксцентриситета поверхности, волнистости. Оптимизация цикла выполняется по быстродействию. Наибольшее влияние на структуру и параметры цикла шлифования оказывают: характеристика абразивного инструмента, состояние его рабочей поверхности, жесткость технологической системы, пространственные отклонения заготовки.

Эффективность предложенных методик подтверждена численными расчетами характеристик инструмента и циклов шлифования на ЭВМ и результатами экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных и производственных условиях. При обработке кругами расчетных характеристик обеспечивается при высокой производительности процесса, шероховатость поверхности по параметру  $R_a$  от 6,3 до 0,02 мкм с необходимыми параметрами кривой опорной поверхности. Оптимизация цикла шлифования позволяет повысить производительность на 30...50%. На основе предложенных моделей разработаны также методы управления отклонениями формы поверхностей изменением динамических характеристик технологической системы, что обеспечивает уменьшение волнистости шлифованных поверхностей в 1,5...2 раза и повышение стойкости инструмента между правками до 2 раз. Разработанные методики, оптимальные характеристики абразивного инструмента и высокопроизводительные циклы шлифования внедрены на предприятиях подшипниковой, автомобильной, приборостроительной промышленности.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТЯЖЕЛОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Норова Е. Г., Папфилова Т. С. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*In connection with the policy carrying out by countries of CIS and Baltic in support of automobile industry it is possible to predict continuous growth of demand and magnification of the automobile springs market, production of which is expedient to organising directly at the metallurgical enterprises.*

Для повышения конкурентоспособности отечественного производства, обеспечения занятости населения необходимо расширение сферы деятельности металлургических предприятий. Одним из возможных путей реализации данной задачи представляется организация производства пружин на металлургических предприятиях.

Внедряемая в мировой практике схема производства пружин для легковых автомобилей и грузовых автомобилей непосредственно на металлургическом предприятии позволяет исключить следующие недостатки в принятом на сегодня производстве:

- широкий сортамент пружин заставляет машиностроительные заводы заказывать на металлургическом производстве прутки мерной длины для типа пружин и иметь при этом значительные складские площади для их хранения;

- машиностроительный завод не может быстро реагировать на необходимость изменения требований в части марок сталей и способов производства материалов для изготовления пружин;

- нет возможности установить единую систему контроля качества и управления служебными свойствами от выплавки стали до получения готовой пружины.

В середине 90-х гг. рынок пружин в странах СНГ и Балтии существенно сократился в связи с общим спадом производства на машиностроительных предприятиях. Удорожание сырья и энергоресурсов, общая нестабильность экономики, отсутствие оборотных средств привели к резкому спаду товарной продукции и формированию значительных сумм кредиторской задолженности заводов.

Однако уже с 1996 г. наметился ряд путей для подъема отрасли. Во-первых, это связано с политикой, проводимой государствами в поддержку местных производителей. Постановлением Кабинета министров Украины №146 от 16 февраля 1998г. с 1 апреля запрещается ввоз в страну импортных автомобилей старше 5 лет и устанавливается минимальная таможен-



ная стоимость ввозимых авто, равная \$5000 [1].

Во-вторых существенно усилился приток инвестиций западных автомобилестроительных компаний, связанный с созданием совместных предприятий в Украине, России, Беларуси и Узбекистане ("Дженерал Моторз", "Дэу", "Сузуки" и др.).

15 апреля 1998г. учреждено совместное предприятие с участием иностранных инвестиций ЗАО «АвтоВАЗ-ДЭУ» [2]. Корейские инвесторы собираются выпускать конкурентоспособную продукцию: модели 1997г. - Lanos, Nubira, Legansa. Они мало чем уступают самым лучшим моделям, при этом они намного дешевле [3].

На Симферопольском предприятии АО "КрымавтоГАЗсервис" начала сборка автомобилей ГАЗ. Феодосийский завод "Море" осваивает производство машин "КИА", рассчитывая к началу 1999г. выйти на проектную мощность 60-80 тыс. автомобилей в год.

17 февраля состоялась встреча представителей российского АвтоВАЗа с руководством Министерства промышленной политики для обсуждения проекта сборки российских автомобилей на Луцком автомобильном заводе (ЛуАЗ). Сейчас украинские специалисты изучают предложения россиян, детали которого не оглашаются [4].

В конце сентября 1997г. В Москве президентом ОАО «ГАЗ» и председателем правления «Фиат С.п.А», директором Российского департамента ЕВРиР был подписан Меморандум о намерениях согласно которому в Нижнем Новгороде должно быть создано СП по производству, реализации и обслуживанию автомобилей ФИАТ [5].

В 1996г. Выпуск легковых автомобилей «Дэу» моделей «Тико», «Нексия» и «Дамас» на совместном узбекско-корейском предприятии «УзДэуАвто» составил примерно 30тыс.штук [6].

На всех совместных предприятиях запланирован частичный или полный переход на комплектующие, произведенные на местном рынке. Большинство производств рассчитывает выйти на проектную мощность в конце 1997-1998 гг.

При этом на Украине нет предприятия специализирующегося на производстве пружин.

**Список литературы:** 1. Марат Разгуляев. «Получили свой «народный» автомобиль?» / газ. «Бизнес», №7, 23 февраля 1998г. стр.82. 2. газ. «Вечерний Донецк» стр.2 рубрика «Факт». 3. Владимир Кузнецов, президент Государственной инвестиционной компании Украины / газ. «Бизнес», №7, 23 февраля 1998г. стр. 82. 4. «АвтоВАЗ тоже ищет понимания» / газ. «Бизнес», №7, 23 февраля 1998 г. стр. 83. 5. «Фиат возвращается

в Россию» / ж. Автомобильный транспорт. №1, 1998 г. Стр.45. 6. «За рулем». № 3.1997г. стр.8.

## ОЛИГОМЕРНЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.

Овчинников Е.В., Бойко Ю.С.

(Гродненский государственный университет им. Я. Купалы,  
г. Гродно, Беларусь)

*Tribotechnical and protective properties of thin-film coatings are investigated. The data of coating put on a details of the stop reinforcement from diluted solutions of fluorine-containing oligomers and active gas medium. Is established installed, that of a thin film of fluorine-containing oligomers result in improving the tribotechnical characteristics and termostable of detailses*

Исследованы триботехнические и защитные свойства тонкопленочных покрытий, полученных из разбавленных растворов фторсодержащих олигомеров, и активной газовой фазы на поверхностях трения деталей уплотнительных систем терморегуляторов и сальниковых уплотнений западной арматуры.

Установлено, что тонкие пленки олигомеров или политетрафторэтилена при толщине рабочего слоя 1-5 мкм обеспечивают не только значительное улучшение триботехнических характеристик уплотнений из резин общетехнического назначения, но и увеличивает их стойкость к термоокислению и воздействию рабочих сред (масел, топлив, смазок). Так термическая стойкость модифицированной резины на основе бутадиеннитрильного каучука увеличивается на 50-70 К, одновременно повышается гидрофобность и стойкость к потуханию в нефтяных маслах и бензине. Терморегуляторы с модифицированными уплотнителями имеют в 1,5-2 раза больший эксплуатационный ресурс по сравнению с серийными.

Такие олигомерные пленки на рабочих поверхностях деталей сальниковых уплотнений из гидрофобизированного графита и углеграфитовых волокон повышают их стойкость к воздействию термоокислительных сред, агрессивных рабочих жидкостей (концентрированных кислот и щелочей) и водных растворов солей. Сальниковые уплотнения с покрытием сохраняют высокие прочностные свойства при эксплуатации в концентрированных кислотах.

Установлено, что модифицирующее действие пленок мало зависит от толщины и определяются преимущественно строением молекулы олигомера и характером надмолекулярных структур в объеме покрытия.

Приведены стендовые и эксплуатационные испытания уплотнений в реальных конструкциях терморегуляторов и запорной арматуры на предприятиях теплоэлектроснабжения и газовой аппаратуры.

Разработаны нормативные документы, регламентирующие применение тонкопленочных фторсодержащих покрытий в машиностроении.

## ОБРАБОТКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Оковитый В.А., Ильюшенко А.Ф., Ивашко В.С., Талако Т.Л.,  
Соболевский С.Б., Шевцов А.И. (НИИ ПМ, г. Минск, Беларусь)

*The offered paper presents investigations of reducing gas permeability of the outer oxide layer of a thermal barrier coating Me -Cr-Al-Y/  $ZrO_2 + Y_2O_3$  used on the blades of gas-turbine engines.*

### 1 Введение

Актуальность применения частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСДЦ) для получения плазменных теплозащитных покрытий (ТЗП) подтверждается тем, обстоятельством, что в тематике последних международных конференций по термическому напылению (TSS 95, 96, 97, проходивших в США) примерно 20% докладов в той или иной мере посвящены разработке и исследованию газотермических ТЗП на основе  $ZrO_2$ . Однако, при достаточно широком изучении этих покрытий до сих пор остался ряд проблем, которые предстоит решить:

- создание газонепроницаемых в условиях эксплуатации покрытий;
- предотвращение взаимной диффузии элементов покрытия и основы;
- увеличение вязкости разрушения и термической стабильности керамического слоя ТЗП.

Цель данной работы состояла в использовании лазерной обработки для улучшения свойств ТЗП.

Она приводит к значительному уплотнению внешнего слоя покрытия, устраняет пористость в поверхностном слое, снижает шероховатость и соответственно неравномерность нагрева покрытия. Следует учитывать, что лазерная обработка приводит к перераспределению и изменению напряжений в покрытии, тем, более существенному, чем выше мощность из-

лучения и меньше толщина покрытия, поэтому требуется оптимизация режимов обработки.

### 2. Материалы и оборудование

Для нанесения керамического слоя использовали порошок оксида циркония, изготовленный в НИИ ПМ, в качестве металлического подслоя использовали порошок AMORY 962. Напыление подслоя проводили на установке вакуумного плазменного напыления (VPS), керамики на установке плазменного напыления на воздухе (APS).

Покрытие наносили на образцы из сплава ЖС 30, предварительно прошедшие струйно-абразивную обработку электрокорундом и ультразвуковую очистку в этиловом спирте.

Фазовый состав покрытий анализировали с помощью методов оптической металлографии (оптический микроскоп MFEF-3, Австрия) и рентгеноструктурного фазового анализа (дифрактомер ДРОН-30). Количественную оценку содержания различных модификаций диоксида циркония осуществляли на основе аналитических соотношений между интенсивностями линий и количества фаз.

Термоциклирование образцов с покрытием проводили по схеме: нагрев до  $1100^\circ\text{C}$ , выдержка 15 мин., охлаждение до комнатной температуры сжатым воздухом. Для обработки ТЗП использовали импульсно-периодический  $CO_2$ -лазер с длиной волны 9,25 мкм, плотность энергии импульса от 80 до 200 Дж/см<sup>2</sup>.

### 3. Результаты исследований и их обсуждение

Воздействие импульсного потока на образцы с ТЗП приводит к изменению структуры оксидного слоя  $ZrO_2 + Y_2O_3$ . При этом его исходная поверхность, характеризующаяся развитым рельефом, в результате обработки существенно выравнивается и растрескивается разделяясь на фрагменты с размером 20-30 мкм.

Так как оксидное покрытие обладает низкой теплопроводностью, а время воздействия лазера порядка  $10^{-3}$  сек., тепловой поток не успевает распространиться на большую глубину, в результате с поверхности покрытие приобретает вид застывшего расплава толщиной 20-25 мкм. Условия лазерной обработки представляют собой высокоскоростной тепловой удар с последующим быстрым охлаждением поверхности, в результате создаются значительные термические напряжения, которые, очевидно, и являются причиной фрагментации поверхности.

Как показали исследования, ширина возникающих трещин не превышает 0,5-1 мкм, а глубина 8-10 мкм. Возникающая на поверхности покрытия трещина при распространении в глубь теряет энергию, разделяется на несколько каналов на расстоянии 8-10 мкм от поверхности прекращают

свой рост. В большинстве случаев глубина трещины меньше трансформируемого слоя и поэтому обработанное покрытие становится как бы загерметизированным. Однако наличие отдельных сквозных трещин на всю глубину трансформированного слоя несколько снижает этот эффект.

При увеличении мощности импульса более  $200 \text{ Дж/см}^2$  в покрытии образуются крупные сферические поры и полости. Они концентрируются в основном вблизи кратера, образующегося под воздействием одиночного импульса.

В соответствии с результатами рентгеноструктурного анализа, в необработанных покрытиях идентифицируются линии двух модификаций диоксида циркония тетрагональной (17-923) и моноклинной (24-1165) при относительном содержании 93,4 и 6,6% соответственно. Линии кубической модификации  $\text{ZrO}_2$  на дифрактограмме отсутствуют.

При этом в структуре покрытий наблюдаются темные области с повышенным содержанием оксида иттрия, а линии тетрагональной модификации заметно смещены в сторону увеличения параметров решетки.

Лазерная обработка покрытий приводит к изменению фазового состава исследуемых покрытий. На дифрактограмме покрытий после обработки отсутствуют линии моноклинной модификации, а линии тетрагонального  $\text{ZrO}_2$  смещаются в сторону уменьшения параметров решетки. При этом происходит выравнивание концентрации оксида иттрия в объеме покрытия (в структуре отсутствуют обогащенные оксидом иттрия темные области). Вероятно, быстрое охлаждение покрытий после лазерной обработки подавляет диффузионные процессы, приводящие к перераспределению оксида иттрия. Однако, для корректного объяснения уменьшения параметров решетки диоксида циркония после лазерной обработки необходимы дополнительные исследования. Наличие и количественное содержание кубической модификации  $\text{ZrO}_2$  обычно изучают в интервале  $2\theta = 72-76^\circ$  (линия (400)) с учетом анализа профиля линий (004) и (400) тетрагональной фазы. Результаты исследований, выполненных с помощью программы разделения наложенных линий «SPLEET LINE» позволяют идентифицировать только линии тетрагональной модификации. Анализ профиля линий с учетом дуплетности также подтверждает отсутствие кубической фазы в обработанных покрытиях. Однако, на дифрактограмме покрытий после лазерной обработки появляется дополнительная линия ( $2\theta = 74.6^\circ$ ). Принадлежность этой линии кубической модификации  $\text{ZrO}_2$  маловероятна. Более вероятно, что она принадлежит другой модификации тетрагональной фазы (1h-53h), а ее появление вызвано превращением моноклинной фазы, присутствовавшей в покрытиях до обработки. Однако для проверки этих предположений необходимы дополнительные исследования.

Результаты термоциклирования показали, что обработанные лазером ТЗП выдержали в 1,5 раза больше термоциклов (483), чем градиентные (320).

Результаты проведенных исследований показывают, что лазерное излучение является мощным средством локального воздействия на структуру и свойства ТЗП. После обработки лазером керамический слой состоит на 100% из тетрагональной фазы, верхний слой керамики растрескивается, разделяясь на фрагменты с размером 20-30 мкм. Глубина трещины меньше ширины трансформируемого слоя, поэтому обработанное покрытие как бы загерметизировано. Такая конструкция ТЗП способствует увеличению термостойкости в 1,51 раза по сравнению с градиентными ТЗП, являющимися одними из термостойких.

## УПОРЯДОЧЕНИЕ КОМПЛЕКТАЦИИ ЗУБЧАТЫХ ПАР ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ПРИВОДОВ ГОРНЫХ МАШИН

Онищенко В.П. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*With the help of computer program's complex, imitating the process of changing of gears profiles teeth's as a result of their wearing, the analysis of influence of means of gear pairs completion is done. The worked out recommends allow to increased the longevity of gears transmissions of repaired drives by 15%.*

Зубчатые передачи горных машин работают в условиях высокой динамической нагруженности при значительном загрязнении окружающей среды, что оказывает отрицательное влияние на их долговечность. В настоящее время при капитальном ремонте приводов машин комплектация зубчатых пар производится произвольно.

Исследования влияния произвольной комплектации зубчатых пар на их долговечность были выполнены на базе пары зубчатых колес одной из цилиндрических зубчатых передач привода рабочих органов угольного комбайна. Основные параметры передачи: модуль 8мм, числа зубьев 16 и 51, ширина зубчатого венца 75мм, термообработка - цементация и закалка. На первом этапе была получена информация о действительной форме профилей зубьев. На втором этапе была выполнена комплектация зубчатых пар, имитирующая обезличенную сборку. На третьем этапе с помощью специально разработанного комплекса прикладных компьютерных программ производилось моделирование изнашивания зубьев скомплектованных пар зубчатых колес [1].



Анализ результатов численного эксперимента по моделированию изнашивания зубьев зубчатых пар при обезличенном ремонте приводов горных машин показывает, что независимо от формы профилей зубьев зубчатых колес (новые или изношенные в разной степени) со временем износ стабилизируется и профиль зуба к достижению максимальной наработки практически соответствует профилю, который имел бы место при начальной форме, соответствующей новым (неизношенным) зубьям. Иными словами происходит естественная стабилизация формы профиля зуба.

Общее требование при комплектации данного зубчатого колеса в пару можно выразить следующим образом - сопряженное ему зубчатое колесо должно иметь износ меньший, чем это колесо. Такой способ комплектации зубчатых пар позволит на 15-20% повысить износостойкость зубьев зубчатой передачи.

**Список литературы:** 1. Онищенко В.П. Прогнозирование формы профилей зубьев зубчатых передач в результате их износа. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонГУТУ, 1998 вып.5. - 245с.

## ПРОБЛЕМА ПРЕДЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ

Панасенко Н.Н., Желякова Н.Ю. (АГТУ, г. Астрахань, Россия)

*Problem of limited analysis of the port cranes space designs under the working and unworking loads have been considered.*

По данным Госгортехнадзора России вероятность аварий портальных кранов близка к  $4 \cdot 10^{-4}$  (1/год). В докладе обсуждается всестороннее влияние различных факторов на аварийность портальных кранов, в т.ч. с учетом падения качества их эксплуатационного обслуживания. Работа построена на принципах системного анализа [1] с использованием математического моделирования физико-механических систем кранов методом конечных элементов (МКЭ). Предельный анализ [2] направлен на обеспечение работоспособности портальных кранов, для безопасности как обслуживающего персонала, так и для окружающей кран инфраструктуры (портовые сооружения, суда и др.). Кроме того, предельный анализ портальных кранов направлен на достижение ими живучести, характеризующейся их устойчивой реакцией на действия факторов, лежащих вне крановой системы и подразделяющихся на три класса: стихийные, непреднаме-

ренные и преднамеренные. К стихийным относятся ураганные ветры (до 180-200 км/час) [3], сопровождаемые сильными ударными нагрузками при наезде кранов на тупиковые упоры, либо при соударении двух кранов, работающих на общем для них рельсовом пути [4,5], а также землетрясения 7,8 и 9 баллов, в соответствии с требованиями статьи 2.3 Правил ПБ 10-14-92 [6], особенно с учетом взаимодействия порталных кранов с подкрановыми сооружениями [7], прежде всего, - с грунтовыми основаниями, допускающими либо разжижение грунта, либо с учетом деформационного состояния подкрановых свайных эстакад, подпорных береговых стенок и др. Сюда следует отнести также промышленные взрывы.

Непреднамеренными факторами, обуславливающими нарушение живучести порталных кранов и требующими их предельного анализа являются одновременная работа двух кранов на один груз с возможным нарушением согласованности их эксплуатационных режимов, но, более важно, при транспортировке кранами совместно, либо независимо, длинномерных грузов, совершающих независимые колебательные движения, в т.ч. и на многонитьевых подвесах. Предельным может оказаться состояние несущих структур металлоконструкций (м/к) порталных кранов при их эксплуатации на рельсовых путях с искривлениями [8], где важным является не только установление режима дополнительного усталостного нагружения их м/к при кинематических воздействиях от неровностей рельсовых путей, но и исследование силового нелинейного взаимодействия крана с рельсовым путем через пары сухого трения качения и скольжения от ходовых колес.

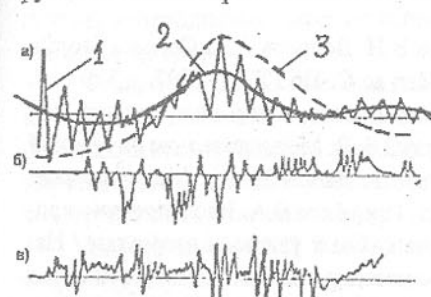


Рис. 1. Реализация нагрузок в порталных кранах [10]: а - в механизме изменения вылета стрелы: 1 - суммарный процесс, несущий высокочастотную составляющую; 2 - средняя составляющая; 3 - низкочастотная составляющая; б - в механизме поворота; в - в металлоконструкции портала.

после 10 лет эксплуатации кранов достигает 15 мм. К поставленной задаче

Введение в расчетные динамические модели (РДМ) кранов нелинейностей [9], - зазоров и сухого трения между ходовыми колесами и рельсами, позволит решить другой класс важных для безопасности порталных кранов задач - провести динамический анализ ударных взаимодействий в шарнирах шарнирно-сочлененных стреловых систем кранов, износ которых по данным практики, например, в рычагах противовесов

относится также предельный анализ несущих структур порталных кранов при внезапном обрыве груза, что соответствует внешней импульсной динамической нагрузке, неблагоприятной как с точки зрения прочности крана, так и его устойчивости положения в пространстве.

Следует учесть, что решение проблемы предельного анализа [2] порталных кранов стало возможным только благодаря компьютерным технологиям и программным продуктам на основе численных методов [9]. Если нагрузка окажется заданной как реализация временного процесса (рис.1) [10], то возможно впервые, авторы ставят задачу оценить реакцию несущих систем порталных кранов на основе интегрирования уравнений движения со многими степенями свободы (более 300), построенных МКЭ совокупно учитывающих неблагоприятные сочетания нагрузок, построение которых, следуя их содержанию по высокочастотной, средней и низкочастотной составляющим (см. рис. 1а), должно осуществляться на основе качественного исследования спектра собственных частот и форм колебаний пространственных стержневых м/к порталных кранов.

Актуальность проблемы предельного анализа порталных кранов обусловлена еще и тем, что по данным ЛИВТа [10], отношение транспортируемого ими груза к их собственному весу составляет в среднем 0,04-0,07. Результаты решения поставленной проблемы будут доложены в последующих работах авторов.

**Список литературы:** 1. Волкова В.Н. Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа С.-Пб.: Изд-во С.-Пб ГТУ, 1997. – 510 с. 2. Каменярж Я.А. Предельный анализ пластических тел и конструкций. М.: Наука. Физматлит, 1997. – 512 с. 3. Чудин А.В. Моделирование случайной ветровой нагрузки / Расчеты на прочность. Вып. №32. М.: Машиностроение, 1990. – с.186-192. 4. Заборова Н.В. Проурзин В.А. Исследование критериев устойчивости оборудования и человека к ударным нагрузкам / Надежность технич. систем. Сб. тр. лабор. методов анализа надежности (Ин-т пробл. машиноведения РАН) // Под ред. Б.П. Харламова. Вып. № 2. Препринт 138. – С.-Пб., 1998. – С.95-112. 5. Харрис С.М., Крид Ч.И. Справочник по ударным нагрузкам. Л.: Судостроение, 1980. – 416 с. 6. ПБ 10-14-92. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. М.: НПО ОБТ, 1993. – 235 с. 7. Панасенко Н.Н., Синельщиков А.В. Обоснование сейсмостойкости грузоподъемных кранов на нормативном уровне / Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 1997, № 1. – С.19-25. 8. РД 10-138-97. Комплексное обследование крановых путей грузоподъемных машин. Часть 1. М.: Изд-во Истек, 1997. – 38 с. 9. Панасенко Н.Н. Елжов Ю.Н. и др. Нелинейная модель сейсмических колебаний порталного

крана / Сб.ст. и сообщ. науч.практ. конф. по безопасности подъемн. сооружений. Новочеркасск: Изд-во НГТУ, 1998. – С.78-79. 10. Брауде В.И. Солечник Н.Л. Систематизация нагружений крановых механизмов и металлоконструкций по двум компонентам. / Механизация и оборудование портов. Тр. ЛИВТа. Вып. №149. - 1974. – С. 22-33.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УГЛЕРОДИСТОГО СПЕКАЮЩЕГОСЯ СЫРЬЯ С ПОВЕРХНОСТЯМИ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Парфенюк А.С., Кутняшенко И.В., Власов Г.А., Кауфман С.И.,  
Захаров П.А. (ДонГТУ, ОАО «Авдеевский КХЗ, МГУИЭ, г. Донецк,  
г. Авдеевка, г. Москва, Украина, Россия)

*The dependence of tribomechanical interact power characteristics of different constructing materials on carbonaceous materials have been defined, that it is necessary to design thermal aggregates.*

В последние годы активно ведется поиск путей решения проблемы создания высокоэффективных нетрадиционных технологий и агрегатов для реализации процессов обезвреживания и глубокой переработки различных углеродистых масс: от низкосортных углей до промышленных и бытовых отходов.

Решение проблемы невозможно без знания параметров взаимодействия перерабатываемых сырьевых масс с различными рабочими поверхностями агрегатов и машин в ходе технологического процесса и учета этого взаимодействия с целью уменьшения влияния разрушающих факторов на конструктивные элементы оборудования.

На кафедре МАХП ДонГТУ ведется разработка процесса термолитиза твердых углеродистых материалов в наклонных камерных агрегатах непрерывного действия.

Взаимодействие свежезагруженных в агрегат порций перерабатываемого углеродистого материала происходит на нагретых рабочих поверхностях, где образуется промежуточный слой углеродистого материала вследствие термического разложения сырья. Этот слой представляет собой сложную композицию от зерен до тонкодисперсных частиц кокса, полукокса, угля, золы, графита, сажи, смолы, пироуглерода и пр.

В ходе данного исследования контактного взаимодействия углеродистых материалов с нагретыми поверхностями использованы термины и понятия трибомеханики, а также характеристики силового взаимодействия

и температурного состояния в зоне контакта, рассмотренные ранее [1]. При этом моделировали условия работы тепловых агрегатов на приборе [2] с определением нормального напряжения отрыва углеродистого материала от образца конструкционного материала.

Главным фактором возникновения наибольших значений этого напряжения является наличие вязкотекучей массы в зоне контакта, что установлено ранее [3] и подтверждается нашими исследованиями [4]. Поэтому выбор в качестве критерия нормального напряжения адгезионного отрыва позволяет прямо установить изменения связности при воздействии различных факторов процесса. С учетом известных соотношений между связностью и сцеплением для вязкопластичных материалов установлена важная механическая характеристика - сдвиговая прочность в зоне контакта. Её минимальные значения находятся в пределах 0,7-0,8 от величины нормального напряжения отрыва  $\sigma$ .

Эксперименты по определению изменения напряжений отрыва угольной шихты от поверхности конструкционных материалов в зависимости от продолжительности их контактирования в тепловом поле проводили при температуре 620 - 670° С с предварительным уплотнением давлением 16 - 32 МПа.

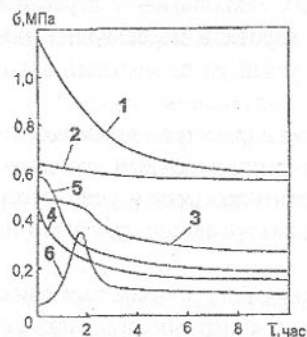


Рис. 1 Результаты исследований.

Закономерности изменения нормального напряжения адгезионного отрыва угольной шихты от поверхности различных конструкционных материалов в зависимости от продолжительности их контактирования в тепловом поле 670° С представлены на рис.1 (1-серый чугун; 2-сталь Ст3; 3-сталь 12Х18Н10Т; 4-диносокварцитовый бетон; 5-шамотный бетон; 6-шамотный мертель).

Известно, что свойства перерабатываемого и конструкционного материалов и режим нагрева оказывают влияние на временные интервалы образования пластической массы и перехода ее в твердое состояние с достижением в момент перехода наибольшей прочности при спекании.

Исследованы изменения адгезионных характеристик конструкционных материалов путем моделирования их периодичности контактирования с перерабатываемой углеродистой средой. Установлено, определяющим в изменении адгезионного взаимодействия является вид конструкционного материала, суммарное время контактирования, т.е. существу продолжи-

тельность процесса "науглераживания" рабочей поверхности конструкционного материала.

Установлено, что для всех исследованных конструкционных материалов в тепловом поле значения  $\sigma$  в начальный период в 1,25 - 2,5 раза выше, чем после продолжительного взаимодействия с углеродистым материалом. Это объясняется образованием промежуточного слоя на рабочей поверхности в течение 3 - 6 часов.

Таким образом, образующийся на греющей поверхности любого конструкционного материала промежуточный слой из углеродсодержащего материала может оказывать позитивное влияние на процесс трибомеханического взаимодействия перерабатываемой углеродистой массы с рабочими поверхностями. Функции такого слоя аналогичны сервоитным пленкам: образование самоорганизующегося защитного покрытия, препятствующего разрушению рабочей поверхности агрегата. Слой стабилизирует и снижает величину нормального напряжения отрыва  $\sigma$  в 1,8 - 2,5 раза для огнеупорных и в 1,2 - 1,5 раза для металлических материалов. Это, в свою очередь, стабилизирует работу агрегата и может существенно снижать скорость износа его рабочих поверхностей.

Результаты исследования позволяют обосновать выбор конструкционных материалов и рассчитывать режимные и силовые параметры агрегатов по переработке различных углеродистых спекающихся материалов. При этом учитывается создание на рабочих поверхностях агрегатов промежуточного углеродсодержащего защитного слоя, снижающего износ и, следовательно, увеличивающего их ресурс.

**Список литературы:** 1. Парфенюк А.С., Кутняшенко И.В., Топоров А.А. Трибомеханические аспекты продвижения углешихтовых материалов по нагретой поверхности // Кокс и химия. 1996, N4, с.28-30. 2. А.С. N 1663013 (СССР). Способ определения спекаемости углей и устройство для его осуществления. А.С. Парфенюк, И.Г. Дедовец, С.П. Веретельник, И.В. Кутняшенко и др. - Б.и., 1991, N26. 3. Скляр М.Г. Физико-химические основы спекания углей. -М.: Металлургия, 1985.-200 с. 4. Парфенюк А.С., Кутняшенко И.В., Топоров А.А. Учет трибомеханики при разработке агрегатов для пиролиза твердых углеродсодержащих материалов в движущемся слое // Кокс и химия. 1996, N12, с.23-25.



## ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЁРДЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИКИ ДЛЯ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Парфенюк А.С., Кутняшенко И.В., Топоров А.А.,  
Веретельник С.П., Мельниченко А.Г. (ДонГУ, г. Донецк, Украина)

*The problems of registration of influence of physical and mechanical characteristics of solid wastes in designing and definition equipment for wastes treatment have been presented. The possibilities of these characteristics change on the stage of treatment raw preparing have been demonstrated.*

Проблема утилизации твердых отходов промышленного и бытового происхождения приобретает в настоящее время все более острый характер в связи с тем, что объемы их генерирования постоянно растут, в то время как темпы переработки несопоставимо малы [1, 2].

В настоящее время практические решения проблемы твердых отходов в подавляющем большинстве сводятся к пассивным методам, включающим компактирование, капсулирование, захоронение или складирование на полигонах. Активные методы переработки связаны, в основном, с термическим и другими воздействиями на твердые углеродсодержащие отходы (ТУО), приводящими к их структурно-химическим превращениям. Это сжигание, пиролиз, термолиз, газификация, катализ, различные биотехнологические процессы и т.д., но они применяются в очень ограниченных масштабах.

В ходе поиска и анализа путей реализации способов и средств переработки ТУО установлено, что необходимо комплексное воздействие, которое состоит из механического, термического и химического и обеспечивает глубокую переработку и утилизацию ТУО. При этом термическое воздействие является завершающей стадией, в результате чего должны быть получены газообразные и жидкие продукты, энергия и строительные материалы.

Нестабильность свойств ТУО негативно сказывается на эффективной работе оборудования и на его работоспособности.

В решении проблемы создания техники для переработки твердых промышленных и бытовых отходов важны достоверные знания о различных физико-механических характеристиках (ФМХ) отходов, поскольку они являются исходными расчетными величинами при проектировании оборудования. Эти характеристики изменяются в очень широком диапазоне.

Объемная плотность материала, его крупность, начальное сопротивление сдвигу, коэффициенты внутреннего и внешнего трения, прочностные характеристики, параметры компрессионной кривой, энергоемкость и т.д. являются исходными данными при разработке или выборе техники для предварительной подготовки ТУО. Сдвиговые и структурные характеристики ТУО необходимы для расчетов транспортирующих, дозирующих и смесительных устройств. Компрессионные характеристики позволяют спроектировать брикетные и прессующие устройства, определить энергозатраты на прессование материала перед термической переработкой. Прочностные характеристики спрессованных ТУО позволяют рассчитать основные габаритные и технологические параметры агрегатов термической переработки.

Определение ФМХ твердых отходов проведено экспериментальным путем по известным методикам [3, 4].

Сдвиговые испытания позволили установить характер изменения коэффициентов внутреннего и внешнего трения в зависимости от влажности и количества вносимых добавок. В частности, для всех составов смесей ТУО влияние влажности на коэффициент внутреннего трения заметно больше, чем на коэффициент внешнего трения. Опыты по определению компрессионных и прочностных характеристик ТУО показали, что при добавлении твердых бытовых отходов к шламам углеобогащения происходит снижение насыпной плотности (на 5-10%) и значительное (примерно вдвое) снижение коэффициента внутреннего трения и начального сопротивления сдвигу.

Установлено, что ФМХ твердых отходов изменяются в очень широком диапазоне, перекрывающем диапазон изменения для различных углешихтовых смесей. При этом добавление некоторых компонентов в пределах 2-10% в состав перерабатываемого сырья может принципиально изменять свойства и механическое поведение материала. Это свидетельствует о возможности управления исходными характеристиками смесей в процессе подготовки путем варьирования их состава.

Разрабатываемая ДонГУ технология переработки ТУО имеет следующие стадии:

- сортировка исходного сырья с извлечением крупных включений, металлов, стекла и керамики;
- измельчение, дозирование и смешение компонентов;
- загрузка смеси ТУО в агрегат и ее прессование;
- термолиз смеси ТУО в наклонных блочных агрегатах с получением углеродистого остатка и химических продуктов;
- сжигание углеродистого остатка с утилизацией тепла;

- утилизация зольного остатка в производстве строительных материалов.

Термолиз смеси ТУО характеризуется высокой экологичностью, поскольку протекает в замкнутом пространстве агрегата, непрерывностью, управляемостью и высокой степенью автоматизации. Агрегаты обеспечивают комплексное воздействие на сырье нескольких управляющих факторов, конструктивно просты и komponуются в батареи, аналогичные существующим батареям коксовых печей. Этим достигается их надежность, экономичность, необходимые теплотехнические характеристики.

Высокоэффективная переработка ТУО осуществима при обеспечении однородности сырья и стабильности его основных физико-механических свойств. Как показано, этими свойствами в определенных пределах можно управлять посредством предварительной подготовки и воздействием механических, химических и термических факторов в процессе термолиза.

Относительно быстрая промышленная реализация такого процесса возможна при использовании имеющихся научных разработок, а также мощностей и инфраструктуры коксохимических предприятий.

Конкретизация потребностей регионов, объемов и состава ТУО как сырья для переработки даст возможность в полной мере практически реализовать новую технологию в промышленных масштабах.

**Список литературы:** 1. Алексеев Г.М., Петров В.Н., Шпильфогель П.В. Индустриальные методы санитарной очистки городов. Л.: Стройиздат, 1983,-96с. 2. Тихоцкая Н.С. Япония: Проблемы утилизации отходов. м.: Наука, 1992,-102с. 3. А.С. №1796976 СССР. Устройство для реологических испытаний образцов материалов / А.С. Парфенюк, И.В. Кутняшенко и др. - Б.и., 1993, №7. 4. А.С. №905706 СССР. Устройство для компрессионных испытаний материалов / А.С. Парфенюк и др. Б.и., 1982, №3.

### НОВАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Парфенюк А.С., Мельниченко А.Г., Веретельник С.П., Топоров А.А., Кутняшенко И.В., Комбаров А.П., Костенко Н.С., Карпов В.С.  
(ДонГТУ, Стахановский КХЗ, МГУИЭ, г. Донецк, г. Стаханов, г. Москва, Украина, Россия)

*The new technology for complex solid carbonaceous wastes by pyrolysis in the slopping block aggregates on basis of cokemaking plants have been proposed.*

Разработка нетрадиционной техники и технологии комплексной переработки твердых отходов является одной из наиболее актуальных проблем, стоящих перед современной цивилизацией.

Твердые углеродсодержащие отходы (ТУО) промышленного и бытового происхождения являются вторичными ресурсами, подлежащими переработке и использованию. Но по экономическим и технологическим причинам в настоящее время полное использование ТУО невозможно.

В ряде развитых стран уже сложилась и функционирует система управления промышленными и бытовыми отходами. Эта система обеспечивает достаточную эффективность переработки. Однако создание такой целостной системы в наших условиях является трудноразрешимой задачей, поскольку для её решения необходимы не только экономические затраты, но и высокий уровень организационно-технического обеспечения и даже сложившиеся национальные традиции в отношении утилизации отходов.

В качестве одного из наиболее эффективных методов термической переработки при комплексном использовании ТУО может быть применен термолиз, как сравнительно простой и обеспечивающий их лучшее обезвреживание и использование в качестве топлива и химического сырья. Термолиз ТУО более гибок и эффективен по сравнению с непосредственным сжиганием отходов и с точки зрения предотвращения загрязнения окружающей среды.[1-3].

В связи с этим целесообразно искать возможности переработки ТУО на существующих коксохимических заводах, тем более, что сейчас они за-

гружены на 25- 40% своей мощностью, а некоторые коксовые батареи выведены на холодную консервацию. Однако проблема заключается в отсутствии оптимальных промышленных агрегатов для термолиза наиболее массовых ТУО: шламов углеобогащения, отходов бытового происхождения, отходов коксохимического и других производств. Существующие коксовые печи из-за ограниченных возможностей управлять процессом для этого не приспособлены, а выгрузка твердого остатка продукта термолиза после завершения процесса термического

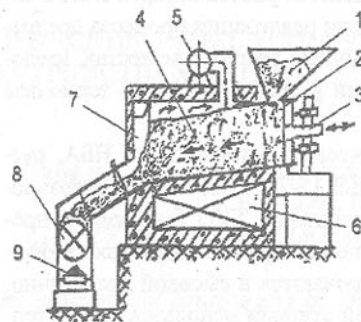


Рис.1. Схема наклонного блочного агрегата (НБА) для термолиза углеродистых материалов.

разложения весьма затруднена в связи с техническими трудностями при его выталкивании.

По нашему мнению наиболее полно все основные достоинства термолитиза могут быть достигнуты при осуществлении процесса переработки ТУО в наклонных блочных агрегатах (НБА), разработанных Донецким государственным техническим университетом.

НБА компануются в батареи, аналогичные существующим коксовым батареям.[4].

На рисунке 1. представлена схема НБА (продольный разрез агрегата), цифрами обозначены: 1 - загрузочный бункер, 2 - камера прессования, 3 - прессующе-проталкивающее устройство, 4 - камера термолитиза, 5 - газосборник, 6 - регенератор, 7 - камера газификации или сжигания, 8 - разгрузочное устройство, 9 - транспортер-охладитель.

Конструкция агрегата, органически совмещает в едином технологическом процессе загрузку, уплотнение и проталкивание сырья, его термолитиз с получением газообразных, жидких химических продуктов и твердого углеродистого остатка, возможную изотермическую выдержку, газификацию или сжигание твердого углеродистого остатка с последующим его охлаждением и разгрузкой.

Технология обеспечивает полное отсутствие газопылевых выбросов в атмосферу. Отвод, улавливание и переработка летучих продуктов термолитиза протекает по схеме аналогичной традиционному химическому крылу коксохимических заводов. Гибкое варьирование параметров переработки в зависимости от свойств сырья и целевого продукта осуществляется за счет регулирования степени уплотнения, режима загрузки, теплового режима и других параметров агрегата. Предусматривается работа батареи НБА в автоматическом режиме. При любом варианте реализации процесса предотвращается прямое сжигание ТУО и токсичные твердые вещества, имеющиеся в отходах, оказываются связанными в твердом остатке термолитиза или золе.

Анализ конструктивных и технологических возможностей НБА, расчетные оценки и результаты исследований [5-7] позволяют прогнозировать многие достоинства переработки различных ТУО бытового и промышленного происхождения в батареях таких агрегатов на коксохимических предприятиях. Эти достоинства заключаются в высокой экологичности процесса переработки сырья, глубокой степени использования потенциала сырья, гибкости и управляемости процесса, зависящая от свойств сырья, полной автоматизации и механизации всего процесса, высокой надежности и долговечности оборудования, благодаря простоте конструкции и применению проверенных решений; возможности использования тех-

ники для улавливания и переработки летучих продуктов пиролиза, профессионально подготовленных кадров и всей инфраструктуры коксохимического завода.

Перечисленные достоинства новой техники и технологии переработки ТУО при ее внедрении в промышленных масштабах на некоторых коксохимических заводах обеспечат, в конечном итоге достижение значительного экологического, экономического и социального эффекта, что делает их весьма привлекательными и перспективными для освоения.

**Список литературы:** 1. Белосельский Б.С., Барышев В.И. Низкосортные энергетические топлива: Особенности подготовки и сжигания. - М.: Энергоатомиздат, 1989.-136 с. 2. Бернадинер М.Н. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов.- М.: Химия, 1990.-304 с. 3. Тихоцкая И.С. Япония: проблемы утилизации отходов. -М.: Наука. 1992. - 102 с. 4. Парфенюк А.С., Зборщик М.П. Экологически чистая технология коксования углей в наклонных камерных печах. Тезисы научно-технического семинара "Фундаментальные основы экологически чистых технологий", "Техноэкология-91" г. Донецк, 1991, с.76. 5. А.С.1723095. Батарея горизонтальных коксовых печей. Парфенюк А.С., Веретельник А.С., Зборщик М.П. и др. Б.И. N12. 1992. 6. Парфенюк А.С., Топоров А.А., Кутняшенко И.В., Котова Е.Д., Ткаченко В.Н., Бритов Н.А. Распределение температур в зоне прессования загрузки коксовых агрегатов. // Кокс и химия. 1996. N4. с.25-28. 7. Парфенюк А.С., Кутняшенко И.В., Топоров А.А. Трибомеханические аспекты продвижения углешихтовых материалов по нагретой поверхности. // Кокс и химия. 1996. N4. с.28-31.

## ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ПРЕССУЮЩЕ-ПРОТАЛКИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Парфенюк А.С., Топоров А.А., Кутняшенко И.В., Маслаков В.И., Бондарев В.Г., Поролов В.В.

(ДонГТУ, ОАО «СЛАВЯЖМАШ», г. Донецк, г. Славянск, Украина)

*The principles of constructing of the pressing-pushing installation of aggregates for carbonaceous materials treatment have been worked out and its main characteristics have been defined, the possibilities of the charge pressing process flexible have been demonstrated.*



Одним из проблемных вопросов освоения термических процессов переработки различных углеродистых сыпучих и связных материалов, отличающихся малой насыпной плотностью, но имеющих химическую и энергетическую ценность, является придание этому сырью стабильных характеристик и лучшей пригодности для эффективного ведения процесса.

Прессующе-проталкивающее устройство (ППУ) является одним из наиболее ответственных узлов наклонного блочного агрегата термолитиза углеродистых материалов. ППУ должно обеспечить при загрузке полное исключение газопылевых выбросов, прессование порций шихты в блоки до необходимой плотности и их проталкивание в зону термической переработки с одновременным вытеснением соответствующих порций из этой зоны. При этом необходимо, чтобы спрессованные блоки обладали заданными физико-механическими свойствами, не разрушались при перемещении по камере термолитиза и, следовательно, не создавались аварийные ситуации.

ППУ герметично примыкает к камере термолитиза и состоит из загрузочного бункера, камеры прессования, толкателя с гидроприводом и опорной стойки. Работает устройство следующим образом. В камеру прессования из загрузочного бункера подается порция шихты, включается гидропривод толкателя и начинается уплотнение загруженной шихты, пока усилие прессования не превысит силу сопротивления продвижению всей загрузки, находящейся в печи, и далее идет процесс проталкивания, пока не будет выбран рабочий ход толкателя. После этого толкатель отводится в исходное положение, и цикл прессования-проталкивания повторяется до тех пор, пока в камере термической переработки не произойдет полное замещение переработанного материала спрессованными блоками сырья. Далее прессование-проталкивание прекращается и протекает процесс термической переработки.

Основными факторами, влияющими на надежность работы ППУ, являются параметры процесса нагрева загрузки и силовые параметры прессования-проталкивания. До недавнего времени аналитические исследования процесса уплотнения шихты в щелевой камере проводили при допущении, что шихта имеет одинаковые физико-механические свойства по всему объему камеры прессования. Такое допущение не соответствует реальному процессу. В связи с этим была поставлена задача исследования процесса прессования-проталкивания в двухмерном сечении с учетом температурного состояния загрузки и элементов конструкции. Математическая модель, описывающая протекающие во времени процессы прессования-проталкивания, учитывает изменения структурного состояния за-

грузки под влиянием температурного поля и связанные с этим изменения ее адгезионного взаимодействия со стенками камеры.

В общую модель процесса прессования-проталкивания входит математическая модель процесса нагрева загрузки в камере прессования, в основу которой положено двумерное уравнение теплопроводности [1, 2], моделирующее процесс сушки загрузки и движение границы между сухой и влажной шихтой. При этом учтены все виды теплообмена: контактный, конвективный и излучением.

Особенности моделирования процесса прессования-проталкивания обусловлены многими факторами, основной из которых - различие физико-механических свойств перерабатываемой массы по длине и ширине камеры прессования [3]. Действительно, на завершающей стадии процесса термической переработки температура загрузки в зоне камеры прессования, примыкающей к камере термолитиза может достигать в отдельных местах до  $1000^{\circ}\text{C}$ , при температуре со стороны толкателя - менее  $100^{\circ}\text{C}$ . Таким образом в камере прессования на участке длиной около 1000 мм. находится загрузка в температурном диапазоне  $20 - 1000^{\circ}\text{C}$  при соответствующих структурных изменениях от шихты до кокса.

Исследования математической модели выполненное численно методом конечных элементов, позволило определить возможности переработки в агрегатах такого типа различных по составу и свойствам сырьевых углеродистых материалов. Конструкция применима не только для угольных шихт, но и для твердых производственных и бытовых отходов. При этом твердый остаток термолитиза может быть использован как низкосортное бездымное топливо, сырье в производстве ферросплавов, различных строительных материалов и огнеупоров или для других целей.

Дальнейшие исследования и конструктивные разработки с целью создания гибкого и надежного ППУ ведутся по следующим направлениям:

- разработка трехмерных математических моделей, позволяющих полнее учесть все действующие факторы и обеспечить надежность и управляемость всего агрегата;
- расширение области применения агрегата путем использования в качестве сырья различных углеродистых материалов и отходов бытового и промышленного происхождения, в том числе, и смесей с добавлением жидких компонентов;
- разработка конструкции камеры прессования с изменяемой геометрией, что создаст дополнительные возможности управления процессом загрузки и прессования-проталкивания;

- управление трибомеханикой взаимодействия загрузки со стенками камеры прессования;
- разработка системы оптимального компьютерного управления всем процессом нагрева, загрузки и прессования-проталкивания при изменениях характеристик сырья;
- применение в конструкции камеры прессования композитных материалов, что позволит снизить ее материалоемкость и повысить долговечность.

**Список литературы:** 1. Ткаченко В.Н., Бритов Н.А., Парфенюк А.С., Топоров А.А. и др. / Математическая модель теплообмена в зоне прессования агрегатов для коксования углей // Кокс и химия. 1994, N2, с.19-21. 2. Парфенюк А.С., Топоров А.А., Кутяшенко И.В. и др. / Распределение температур в зоне прессования загрузки коксовых агрегатов // Кокс и химия. 1996, N4, с.25-27. 3. Топоров А.А., Парфенюк А.С., Веретельник С.П. / Математическое моделирование процесса прессования-проталкивания загрузки в камерных агрегатах непрерывного коксования. // Кокс и химия. 1996, N11, с.22-25.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДАРНЫХ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК НА БУРОВОМ СТАВЕ

Пасынков Р.Е., Молчанов В.Б. (АО «Буран», г. Донецк, Украина)

При бурении скважин ударные нагрузки возникают чаще всего при забурировании, когда буровой став подается на забой с большой скоростью. Известны случаи, когда при забурировании происходило разрушение инструмента, нелинейные деформации бурового става, заклинивание и заштыбовка исполнительного органа, смещение бурового става от установленного направления и т.п.

Для бурильных машин ударно-вращательного бурения ударные нагрузки являются рабочим процессом, и от адекватности отражения этих процессов во многом зависят технические характеристики создаваемых буровых и бурильных машин. Для исследования продольных колебаний гибкого стержня, вызванных ударом его о забой скважины используется дифференциальное уравнение динамического равновесия стержня.

$$u_{tt} = a^2 u_{xx} + \frac{P}{m}; \quad (1)$$

краевые

$$u(0,t) = 0, u_x(\ell,t) = \frac{P}{EF}; \quad (2)$$

и начальные условия

$$u(x,0) = 0, u_t(x,0) = V; \quad (3)$$

где  $u$  - продольные перемещения стержня,  $m$ ;

$u_{tt}$  - вторая частная производная от перемещения по времени,  $m/s^2$ ;

$u_{xx}$  - вторая частная производная от перемещения по координате,  $m^{-1}$ ;

$m$  - масса стержня,  $kg$ ;

$F$  - площадь поперечного сечения стержня,  $m^2$ ;

$$a = \sqrt{\frac{E}{\gamma}}; \quad (4)$$

$a$  - скорость распространения волны продольных колебаний,  $m/s$ ;

$E$  - модуль упругости первого рода,  $H/m^2$ ;

$\gamma$  - плотность стержня,  $kg/m^3$ .

В результате решения определяется осевое усилие на исполнительном органе горной машины:

$$N(0,t) = EFu_x(0,t) = P \left[ 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{m'=0}^{\infty} \frac{(-1)^{m'} \cos \frac{(2m'+1)\pi}{2\ell} at}{2m'+1} \right] + \\ + P \left[ 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m'=0}^{\infty} \frac{\cos \frac{(2m'+1)\pi}{2\ell} at}{(2m'+1)^2} \right] + \frac{VEF}{a} \cdot \frac{4}{\pi} \sum_{m'=0}^{\infty} \frac{\sin \frac{(2m'+1)\pi}{2\ell} at}{2m'+1} \quad (5)$$

Ряды в этой формуле относятся к разряду медленно сходящихся, поэтому прямое вычисление по ним требует применение ПЭВМ. Но оказывается возможным определить иным путем геометрические образы, описываемые этими рядами. Для этого используется разложение дельта-функции в ряд на интервале  $0 < wt < \pi$ . Здесь  $w$  - угловая частота колебаний первой гармоники  $w = \frac{\pi \cdot a}{2\ell}$ . Разложение дельта-функции в ряд Фурье запишется так:

$$\pi \cdot \delta(\omega t) = 1 + 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \cos(n\omega t) \quad (6)$$

Очевидно, что интеграл от дельта-функции будет содержать синусную составляющую, поэтому выражение (4) может быть представлено набором дельта-функций и интегралом от них. В результате получаются уравнения, описывающие геометрические образы ударной волны, а не бесконечные медленно сходящиеся ряды, как в первом случае. В результате установлено, что максимальное усилие равно:

$$N(0, t)_{\max} = 4P + \frac{VEF}{a}. \quad (7)$$

## РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ И ПРИНЦИПОВ КЛАССИФИКАЦИИ СПОСОБОВ ПРОХОДКИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Петтик Ю.В. (ДонГУ, г. Донецк, Украина)



*This paper analyses the existent classifications of methods of rock-breaking of mine trunks by rock-breaking mountings. The new principles of classification of rock-breaking mountings by kinematics features are proposed.*

Динамично развивающаяся во всем мире угольная промышленность на Украине в силу ряда социально-экономических причин находится в стадии глубочайшего кризиса. Так, в структуре мировых запасов органического топлива уголь занимает 67% (нефть - 18%, газ - 15%), а на Украине, как известно, этот баланс почти целиком базируется на угле - 95,4% (остальное - нефть и газ). Поэтому говорить о энергетической независимости и самостоятельности государства без возрождения угольной промышленности и горного машиностроения, обеспечивающего ее реабилитацию бессмысленно.

В последнюю четверть века объем мировой добычи угля увеличился в полтора раза, ежегодно прирастая на три процента. На Украине угледобыча сократилась вдвое, производительность труда снизилась более чем в полтора раза. В то же время, имеется реальная возможность полностью обеспечить потребность Украины в черном топливе. Так, Украина обладает угольной сырьевой базой, достаточной для полного обеспечения потребностей народного хозяйства твердым топливом на 300 и более лет. Балансовые запасы угля составляют 44,5 млрд. тонн, из них на действующих шахтах - 10,3 млрд. тонн.

Одна из основных причин, приведших к сложившемуся положению является большая глубина разработки угольных пластов. Так, средняя глубина разработки приближается к 700 метрам, а в перспективе до 2000 года средняя глубина разработки приблизится к 800 метрам и потребуются освоение глубин порядка 1400-1600 метров. Одним из "узких мест" и фактором, ограничивающим угледобычу, является проблема, связанная с вентиляцией шахт, так как на глубоких горизонтах добывают более 60% всего угля.

В свою очередь, ликвидация "узких мест", связанных с вентиляцией, невозможна без реконструкции шахт, одной из главных составляющих которой является бурение вентиляционных стволов и скважин большого диаметра. Потребность угольной промышленности в стволах ( $\varnothing$  более 3600 мм) и скважинах большого диаметра ( $\varnothing$  от 1000 до  $\varnothing$  3600 мм) составляет не менее 8-9 км в год.

Для проходки стволов используется различное буровое оборудование и разнообразные технологии, зачастую используя нерациональные методы бурения связанные с отсутствием потребного прогрессивного оборудования.

В последние десятилетия бурно развивается объем бурения как нефтяных скважин, так и шахтных стволов и скважин различного назначения. Для технического обеспечения их проходки отдельными фирмами и институтами разрабатывались различные классификации методов и способов бурения, буровых установок и комплексов, которые в некоторой мере позволяли систематизировать и стандартизировать имеющийся парк оборудования. Это позволяло, иногда, получать максимальный технико-экономического эффекта от существующего технологического оборудования. С другой стороны, гораздо больший эффект можно получить если использовать при этом нетрадиционные решения, новые конструкции или в отдельных случаях модернизацию бурового оборудования для конкретных условий проходки стволов.

Однако всеобщей классификации всего имеющегося парка бурового оборудования не существует, что часто является сдерживающим фактором как для разработчиков новых конструкций буровых комплексов, так и при выборе конкретного оборудования для бурения данного ствола.

Рядом авторов, буровые установки и машины классифицировались по ряду признаков в зависимости от технологии проходки стволов и скважин, их назначения, глубины, геометрических параметров ствола, направления движения бурового агрегата, места его расположения относительно земной поверхности, вида и размеров разрушаемых частиц породы, направления и способов удаления породы с забоя, вида используемой



энергии при акте разрушения породы, горно-геологических условий и возможностей энерго-обеспечивающего комплекса и т.д. При этом оборудование классифицировалось по роду, методу, способу и видам бурения. Указанные признаки, в первом приближении, позволяли систематизировать и классифицировать любую буровую установку или комплекс стран производителей. С другой стороны в промышленно развитых странах, производители буровой техники, вопросам стандартизации стали уделять внимание только в последнее время в связи с давлением потребителей бурового оборудования. Однако, данная проблема, связанная с классификацией и стандартизацией оборудования, далека от разрешения, так как конкурирующие фирмы свои оригинальные решения защищают патентами, которые могут не попасть в общепринятый стандарт и потерять рынок сбыта. К главному недостатку существующих классификаций следует отнести отсутствие возможности синтеза принципиально новых кинематических схем компоновки исполнительных органов буровых установок, так как по кинематическим признакам ни в одну из существующих классификаций не входили.

Автором предложены новые принципы кинематической классификации способов проходки стволов и скважин большого диаметра. Предложены возможные сочетания видов вращательных и поступательных движений, необходимых для формирования внешнего контура ствола заданных геометрических размеров. Классификацией предусмотрены группы и уровни сложности, так же возможности реализации кинематических схем в зависимости от количества и сочетания элементарных движений. Используя классификацию и цифрово-буквенный код можно не только легко анализировать существующие установки по кинематическим признакам, но и синтезировать принципиально новые кинематические схемы высокопроизводительных буровых систем с получением максимального технико-экономического эффекта с позиций общегосударственных интересов.

**Список литературы:** 1. Петтик Ю.В., Гуня А.П., Картунов А.Н. Новые принципы кинематической классификации способов проходки шахтных стволов // В кн. Теорія механізмів, машин і техносфера України ХХІ сторіччя. Матеріали першого Всеукраїнського з'їзду з теорії механізмів і машин з іноземною участю. Харків, 18-20 червня, 1997 р. С.32. 2. Петтик Ю.В. Основные направления конструирования прогрессивного бурового инструмента и разработки технологии его изготовления при организации его производства для нужд угольной промышленности Украины // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Сб. научных статей. - Донецк: ДонГТУ, 1996. вып.3. С.101-114.

## КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА РАБОТЫ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Петтик Ю.В., Гуня А.П., Гуня И.А. (ДонГТУ, НРМЗ, г. Донецк, Украина)

*Some questions about the control of geometrical parameters of quality of the drilling tools of cutter type has been considered. The method of control of the bit details has been worked out. This method makes possible a following repair.*

Выход Украины из энергетического кризиса невозможен без коренной реконструкции 60% действующих угольных шахт, одной из составляющих которой является проблема вентиляции, связанная с проходкой шахтных стволов установками реактивно-турбинного бурения (РТБ).

Исполнительный орган установок РТБ оснащен шарошечными долотами, участвующими в сложном, планетарном движении. Эффективность проходки ствола в основном зависит от стойкости, стоимости и полноты обработки шарошечного инструмента. Стойкость долот непродолжительна и составляет от 10 до 50 часов, причем стоимость использованных долот (бурового инструмента) составляет до 65% от общих затрат на проходку ствола. Особое внимание необходимо уделять определению момента прекращения бурения, анализу состояния извлеченного бурового инструмента, а также принятию решения о замене его на новый соответствующий условиям бурения.

Особенностью работы исполнительных органов буровых комплексов является то, что стандартный долотный инструмент не является ремонтпригодным.

Контроль поднятого из скважины бурового инструмента при бурении на нефть и газ осуществляется только для оценки эффективности его работы (соответствие типа долота категории разбуриваемых пород и режимам бурения: нагрузка и частота вращения) и традиционно производится путем определения степени и характера износа вооружения (зубьев шарошек долот), а также осевого люфта в опорах качения шарошек. Причем, степень износа зубьев шарошки определяется визуально и носит субъективный характер. Некоторые фирмы используют шкалу порядка с реперными точками 1/4, 1/2, 3/4 и полный износ зуба. При высоте зуба новой шарошки 40 мм погрешность оценки составляет величину порядка 5-8мм, что снижает эффективность обработки дорогостоящего инструмента (стоимость одного зубчатого долота диаметром 490 мм достигает 2,0 тыс. американских долларов). Более точные методики контроля степени износа зубьев путем измерения геометрии оттисков из легкоплавких металлов,

при помощи контура из проволоки, а также при помощи специального устройства с использованием штангенциркулей в промышленных условиях не нашли широкого применения. Контроль осевой и радиальной игры шарошек долота в условиях эксплуатации практически отсутствует.

При использовании шарошечных долот в установках РТБ износ опоры шарошки контролируют косвенно, как правило без разборки долота и измерений по люфту в опоре.

Это делает заключение о состоянии долота весьма приблизительным и инструмент, который после профилактических работ и осмотра мог бы еще эксплуатироваться, отправляется в лом.

Так как долота при РТБ работают в разных условиях и разбуривают разные объемы пород (обусловлено конструкцией и кинематикой агрегата), то отдельные долота оказываются работоспособными и их замена на новые экономически не целесообразна.

Таким образом, в силу сложившегося экономического положения на Украине, напряженности с инструментальным обеспечением буровых и высокой стоимостью инструмента возникла проблема дальнейшего использования частично изношенных долот, а также организации ремонта бурового долотного инструмента. В работе [1] предложена и рассмотрена прогрессивная технология ремонта опор качения как обычных, так и специальных ремонтнопригодных долот. В связи с этим встал вопрос совершенствования методики контроля состояния бурового инструмента в условиях буровых участков и разработки методики контроля стандартных и ремонтнопригодных долот при их ремонте в заводских условиях.

В ДонГТУ была разработана методика и метрологическое обеспечение в виде специализированных измерительных приспособлений для оценки степени износа зубьев, осевого и радиального люфтов в опоре шарошки без свинчивания долота с турбобура [2].

Предложенная методика предусматривает контроль следующих геометрических параметров: ширины и высоты зуба, суммарного люфта в опоре, составными частями которого являются осевые и радиальные зазоры в подшипниках опоры шарошки. Требования к отклонению диаметра долота и разновысотности шарошек в долоте не контролируются, так как в условиях РТБ они не влияют на качество ствола.

Измерение отклонений высоты и ширины зуба, а также суммарного люфта в опоре ремонтнопригодного долота, осуществляют с использованием специального устройства с подпружиненной штангенлинейкой отсчета высоты и подвижной штангенгубкой для отсчета толщины зуба у основания, на корпусе которого закреплена дополнительная подпружиненная линейка, по предельным показаниям которой определяется суммарный

люфт корпуса шарошки относительно лапы. Это устройство базируется по технологической проточке корпуса шарошки долота и закрепляются специальными зажимами.

Анализ результатов измерений, проведенных по этой методике позволяет принять одно из решений по конкретному долоту:

- оставить на агрегате для дальнейшей работы;
- переставить на турбобур с более легким режимом работы;
- осуществить мелкий ремонт в условиях буровой;
- отправить для капитального ремонта в специализированные мастерские или на ремонтный завод;
- отправить в лом.

При ремонте долот в заводских условиях используется ранее рассмотренная методика поэлементного контроля состояния вооружения шарошки (высота и ширина зуба), а также специально созданная для ремонтнопригодных долот методика контроля геометрических параметров опоры шарошки [3].

Для реализации этой методики в заводских условиях используется комплекс универсальных измерительных средств с применением специальных измерительных принадлежностей. Это позволит сделать заключение о ремонтнопригодности долота в целом или отдельных его элементов (корпус, лапа, шарошка), установить последовательность и объем ремонтных работ, а также исследовать вид и характер износа элементов опоры шарошки долота. Вид и характер износа перечисленных выше элементов позволяет разработать рекомендации по оптимизации режимов бурения с целью эффективной отработки вооружения долота с одной стороны и по совершенствованию конструкции долота с другой стороны.

Предложенные методики и устройства применяются при эксплуатации и ремонте ремонтнопригодных долот, изготавливаемых на НРМЗ государственной холдинговой компании "Спецшахтобурение" и при незначительных изменениях могут использоваться для контроля работоспособности шарошек долот при бурении нефтяных и газовых скважин.

**Список литературы:** 1. Петтик Ю.В., Гуня А.П. Прогрессивная технология ремонта опор качения, работающих в условиях ударно-абразивного износа// Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Сб. Научных трудов. ДонГТУ: 1997. Вып.4. С.121-130. 2. Петтик Ю.В., Гуня А.П. Метрологическое обеспечение эксплуатации исполнительных органов буровых комплексов для проходки шахтных стволов//4-я научно-техническая конф. Состояние и проблемы технических измерений. 2-4 декабря 1997г. Москва: МВТУ. 1997. С. 241-242. 3. Петтик Ю.В., Гуня

А.П. Разработка методики контроля геометрических параметров и метрологического обеспечения производства и эксплуатации буровых долот //Прогрессивные технологии машиностроения и современность. Сб. Трудов научно-технической конференции в г. Севастополе 9-12 сентября 1997. Донецк: ДонГТУ. 1997. С.195-197.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОМАССОВЫХ ЦЕПНЫХ ПЕРЕДАЧ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Пилипенко О.И. (ЧТИ, г. Чернигов, Украина)

*By methods of mathematical modelling of multimass chain drive operation on personal computer basic characteristics of its dynamical system have been obtained. Complex of automated optimal design of multimass chain drive makes it possible to build chain circuit containing to 24 masses (sprockets) to satisfy requirements of optimal design.*

Математическая модель установившегося режима работы  $n$ -массовой цепной передачи имеет вид:

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\varphi}_1 + c_{1,2}(\varphi_1 R_1 - \varphi_2 R_2) R_1 + c_{1,n}(\varphi_1 R_1 - \varphi_n R_n) R_1 = \\ - c_{1,2}(S_1 - S'_2) R_1 - c_{1,n}(S'_1 - S_n) R_1; \\ I_i \ddot{\varphi}_i + c_{i-1,i}(\varphi_i R_i - \varphi_{i-1} R_{i-1}) R_i + c_{i,i+1}(\varphi_i R_i - \varphi_{i+1} R_{i+1}) R_i = \\ - c_{i-1,i}(S'_i - S_{i-1}) R_i - c_{i,i+1}(S_i - S'_{i+1}) R_i; \\ I_n \ddot{\varphi}_n + c_{n-1,n}(\varphi_n R_n - \varphi_{n-1} R_{n-1}) R_n + c_{n,1}(\varphi_n R_n - \varphi_1 R_1) R_n = \\ - c_{n-1,n}(S'_n - S_{n-1}) R_n - c_{n,1}(S_n - S'_1) R_n, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $i = 2, 3, 4, \dots, n-1$ ;  $I_1, \dots, I_i, \dots, I_n$  — приведенные моменты инерции масс относительно осей валов;  $\varphi_1, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_n$  — мгновенные углы поворота масс (звездочек);  $c_{1,2}, \dots, c_{i,i+1}, \dots, c_{n,1}$  — жесткости соответствующих ветвей цепного контура;  $R_1, \dots, R_i, \dots, R_n$  — радиусы расположения концевых шарниров ветвей цепного контура на звездочках;  $S_1, \dots, S_i, \dots, S_n, S'_1, \dots, S'_i, \dots, S'_n$  — разложенные в ряды Фурье функции возмущений, представляющие собой периодические негармонические продольные перемещения концевых шарниров набегающих и сбегающих (со штрихами) ветвей цепного контура.

Разность функций возмущений в правых частях (1) представляется в виде сумм гармонических составляющих, например:

$$\begin{aligned} \pm S_i \mp S'_{i+1} = \pm A_i \sin k \omega_z \tau \pm B_i \cos k \omega_z \tau, \\ A_i = \frac{t}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{(1 - k^2 z_{i+1}^2) \cos k \xi_i - (1 - k^2 z_i^2) \cos k 2\pi j}{k(1 - k^2 z_i^2)(1 - k^2 z_{i+1}^2)}; \\ B_i = \frac{t}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{(1 - k^2 z_i^2) \sin k 2\pi j - (1 - k^2 z_{i+1}^2) \sin k \xi_i}{k(1 - k^2 z_i^2)(1 - k^2 z_{i+1}^2)}. \end{aligned} \quad (2)$$

В (2)  $k$  — номер гармоники;  $\omega_z = \omega z_i$  — частота возмущения;  $\omega_i$  — угловые скорости вращения масс (звездочек);  $z_i$  — их числа зубьев;  $\tau$  — время;  $t$  — шаг цепи;  $\xi_i = \alpha_i - p_i \frac{2\pi}{z_i}$  — сдвиг по фазе между движением концевых шарниров ветвей, принадлежащих одной звездочке;  $\alpha_i$  — угол обхвата цепью звездочки;  $p_i$  — количество шарниров цепи на дуге обхвата;  $j = \frac{\varepsilon \cdot z_i}{2\pi}$  — коэффициент числа звеньев;  $\varepsilon$  — сдвиг по фазе между возмущениями концевых шарниров ветвей, принадлежащих соседним звездочкам.

Решение системы дифференциальных уравнений (1) даст:

— динамические нагрузки в ветвях цепного контура

$$P_{i,i+1} = c_{i,i+1} \left[ \mp \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k A_i \sin k \omega_z \tau \mp \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k B_i \cos k \omega_z \tau \mp x_i \pm x_{i+1} \right], \quad (3)$$

где  $x_i, x_{i+1}$  — линейные амплитуды колебаний;

— инерционные нагрузки от неравномерности вращения масс

$$P_{\bar{a}} = m_i \ddot{x}_i = P_{i,i+1} - P_{i-1,i}, \quad (4)$$

где  $m_i$  — вращающиеся массы;  $\ddot{x}_i$  — их ускорения;

— динамическую неравномерность вращения масс

$$\delta_i = 2\varphi_i z_i \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $\varphi_i$  — угловые амплитуды крутильных колебаний.

Решение системы дифференциальных уравнений (1) без правых частей дает собственные частоты системы, одна из которых равна нулю:

$$p_{\varphi 1} = 0; p_{\varphi m-1} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n c_n}{m_1} + \frac{\sum_{i=2}^n c_n}{m_2} + \dots + \frac{\sum_{i=n}^n c_n}{m_n} \right)^{1/2}, \quad (6)$$

где слагаемые — суть парциальные частоты системы.



При этом, чтобы получить амплитуды колебаний и динамические нагрузки при практически любом количестве масс (звездочек) в цепном контуре, совершен переход от их аналитического определения к численным методам, реализуемым на ЭВМ. Решение численными методами на ЭВМ обобщенной алгебраической проблемы о собственных значениях дает квадраты собственных частот и собственные формы колебаний цепной передачи с практически любым количеством масс:

$$p_{\varphi}^2 = [M]^{-1} \cdot [C], \quad (7)$$

где  $[M]$  – диагональная матрица вращающихся масс;  $[C]$  – симметричная матрица жесткостей ветвей цепного контура.

Проектирование многомассовой цепной передачи рассматривается как совокупность двух основных задач: выбора структуры (структурного синтеза) и выбора числовых значений параметров полученной структуры (параметрического синтеза). Структурный синтез осуществляется на основе построения оптимальной структурной схемы, состоящей из суммы парциальных систем, топологически формирующих практически любое множество цепных передач, с любым количеством масс, расположенных различным образом в декартовой системе координат. Проводится параметрическая оптимизация цепной передачи по занимаемому ею объему (массе) и параметрической функции, включающей максимальные долговечность, коэффициент полезного действия и сопротивление износу (при сохранении минимального объема). В качестве целевой функции при оптимизации многомассовой цепной передачи по критериям виброактивности приняты амплитуды динамических нагрузок и наиболее интегральная характеристика – коэффициент динамичности цепной передачи, зависящий, в частности, от среднеквадратических абсолютных значений максимальных динамических нагрузок в ветвях цепного контура.

Разработанный комплекс автоматизированного оптимального проектирования многомассовых цепных передач ПОДБОР, построенный по блочному принципу модульного проектирования в виде пакетов прикладных программ геометрического, силового и динамического расчетов, позволяет конструктору, работая в диалоговом режиме с ЭВМ, построить цепной контур, содержащий от 2 до 24 масс (звездочек), удовлетворяющий как техническому заданию, так и требованиям оптимального проектирования. Комплекс позволяет осуществить имитационное моделирование работы цепных передач на ЭВМ, что обеспечивает быстрый и всесторонний анализ влияния различных параметров: координат расположения центров звездочек, частот их вращения, условий эксплуатации, типа и рядности цепи, способа смазки, передаваемой мощности, срока службы, величин вращающихся масс и применяемых материалов.

Снижение динамических нагрузок, контактных напряжений и износа достигается применением полимерных и металлополимерных звездочек и цепей, однако, изменение упругих, инерционных и демпфирующих параметров в результате их применения приводит к рассогласованию колебательной системы цепной передачи и смещению резонансных зон частот вращения. Поэтому применение таких деталей передач вслепую, без прогнозирующего динамического расчета, позволяющего управлять указанными параметрами, лишено всякого смысла. Соответствующей же теории и математического аппарата, способных обслуживать научно обоснованные методы проектирования цепных передач, до сего времени не было разработано, что препятствовало их широкому освоению промышленностью.

## СТРУКТУРНО - ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРАФОВЫЕ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Пипкин Ю. В., Зелинский А. Н. (ДГМИ, г. Алчевск, Украина)

*It is suggested to use the devise of poling graphs for construction of mathematical models of technological systems. Obtained forms of presenting information about models-graphs and intermediate functions may be described in form of matrix in digital electronic computers.*

Среди большого числа производственных технических систем значительное место занимают технологические системы механической обработки. Эти системы традиционно рассматриваются на основе принципа декомпозиции на сосредоточенные, укрупненно сосредоточенные или приведено сосредоточенные элементы, через изучение которых проводится исследование системы в целом (система станок - приспособление - инструмент - деталь) [1].

Современный уровень технологического оборудования и приспособлений требует применения наиболее эффективных методов исследования и расчета, среди которых можно выделить математическое моделирование, основанное на принципах системного подхода. С другой стороны, развитие средств электронной вычислительной техники, принципов построения систем автоматизированного проектирования требуют получения дискретных цифровых описаний технологических систем механической обработки, «понятных» коду логических связей в ЦЭВМ.

Указанным выше задачам отвечает язык математического аппарата полюсных графов [2]. На основе этого языка возможно построение описа-

ний пяти основных классов однородных подсистем: механических поступательной и механической вращательной, гидравлической, пневматической, электрической — в случае, если в рассматриваемой подсистеме могут быть выделены сосредоточенные или условно сосредоточенные компоненты. Алфавит языка полюсных графов включает в себя компоненты, отражающие процессы поступления, накопления, преобразования и рассеивания энергии в пределах выделенной однородной подсистемы, а также основные формы связи между различными однородными подсистемами в пределах рассматриваемой технологической системы механической обработки.

Технологическим системам механической обработки свойственно обеспечение процесса изменения состояния обрабатываемой заготовки за счет удаления слоя материала при организации взаимосвязанных движений резания инструмента и заготовки. Движения резания в большинстве случаев реализуются вращательным и (или) поступательным движениями или их суперпозицией. Указанные процессы и механизмы их обеспечивающие, могут быть рассмотрены в пределах механических вращательной и поступательной подсистем. Поступление энергии в технологическую систему для обеспечения непосредственно процессов резания как правило производится от электрического привода, влияние которого может быть учтено в электрической подсистеме. Вспомогательные процессы зажима и ориентации могут иметь электрический, пневматический и гидравлический привод, который учитывается соответственно электрической, пневматической и гидравлической подсистемами. Высокая сложность исследования совместного описания нескольких подсистем влечет за собой изучение отдельных подсистем с укрупненной оценкой влияния подсистем, опущенных при рассмотрении.

Для исследования в технологической системе выделяют определенную техническим заданием на проектирование часть, составляют расчетную схему и ее описание.

Обычно расчетная схема носит иллюстративный характер, помогающий логически увязать изучаемые параметры технологического процесса и формулируемые уравнения равновесия, и не рассматривается как образ подсистемы нижнего уровня системы в целом. При более уточненном расчете [3], учитывающим влияние сил инерции зажимных элементов на зажимающие усилия и (или) вопросы устойчивости зажима при высокоскоростной обработке, принятая расчетная схема претерпевает изменения — в ней выделяются основные элементы, между которыми устанавливаются характерные связи. Дальнейший переход от расчетной схемы к математической модели в виде системы уравнений в значительной степени

формализуется при использовании аппарата полюсных графов и проводится в несколько основных этапов [2,4]. После замены выделенных и установленных связей условными обозначениями образуется эквивалентная схема, которой однозначно соответствует полюсный граф. В полюсном графе выделенным элементам и связям соответствуют дуги вершины графа, рассматривающие движение используемой энергии в полученной сетевой модели принятой расчетной схемы.

Математическая модель в виде системы алгебро-дифференциальных для полученного полюсного графа состоит из двух частей. Первую часть образуют топологические уравнения, сформированные согласно первому и второму закону Кирхгофа для вершин и контуров. Во вторую часть входят компонентные уравнения, устанавливающие взаимосвязь фазовых переменных в пределах одного выделенного элемента подсистем.

Приведение полученной параметрической модели для ее решения после вычисления и подстановки неизвестных коэффициентов проводится на основе матрицы инцидентности графа, которая представляет собой прямоугольную матрицу, элементы которой принимают значение +1 и -1. При необходимости исключения из рассмотрения избыточных элементов или включения недостающих матрица инцидентности модифицируется путем исключения или добавления соответствующих строк и столбцов.

**ВЫВОДЫ:** 1. Аппарат полюсных графов позволяет формировать математические описания выбранной расчетной схемы технологической системы в формах удобных для представления в цифровой электронной вычислительной машине. 2. Полученные математические описания отражают класс объектов. 3. Переход от расчетной схемы к математической модели в значительной мере поддается формализации. 4. Матричное представление графа технологической системы может служить основой для организации моделирующего процесса. 5. Рассмотрение элементов подсистем как преобразователей однородного вида энергии может способствовать рассмотрению и исследованию технологических систем как энергетических объектов, в которых происходит преобразование энергии привода и подвод ее к зоне пластических деформаций снимаемого с заготовки припуска.

**Список литературы:** 1. Ракович А. Г. Автоматизация проектирования приспособлений для металлорежущих станков. — М.: Машиностроение, 1980. — 136 с. 2. Математический аппарат инженера. Сигорский В. П. «Техника», 1975, 768 с. 3. Самонастраивающиеся зажимные механизмы: Справочник / Ю. Н. Кузнецов, А. А. Вачев, С. П. Сяров, А. Й. Цървенков; под ред. Ю.Н. Кузнецова. — К.: «Тэхника»; София: Гос. изд-во

«Техника», 1988. — 222 с. 4. Вопросы математического моделирования станочных приспособлений в системах обработки / Ю. В. Пипкин, А. Н. Зелинский: Донбас. горно-металлург. ин-т. — Алчевск, 1997. — 10 с.:3 ил. — Рус. — Деп. в ГНТБ Украины 21.08.97. <sup>1</sup> 477. — Ук. 97.

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИНАХ

Познанский В.И., Сытник А.А. (ИЭИИТ, г. Кременчуг, ГИЦТС  
«Светкермет», г. Светловодск, Украина)

*Two-ply composition coatings from carbide, nitride, titanium were obtained in combination of two methods - gas phase with settling (carbide and titanium) and ionic-cathode spraying (nitride-titanium) were examined. The results of comparative tests the cutting plates with compound coating are described.*

Высокая износостойкость и надежность в эксплуатации предопределили широкое внедрение в обрабатывающей промышленности сменных многогранных пластин с износостойкими покрытиями. Из всей гаммы возможных покрытий промышленное применение нашли покрытия из карбида, нитрида и карбонитрида титана, оксида алюминия. Наиболее перспективно применение многослойных покрытий, обеспечивающих повышение износостойкости в широких диапазонах режимов резания различных сталей и чугунов.

Накопленный опыт по эксплуатации сменных многогранных пластин с однослойным покрытием из карбида титана свидетельствует о том, что такое покрытие обеспечивает повышение износостойкости при оптимальных режимах обработки сталей и чугунов в среднем в 2,5 - 3,5 раза. Применение пластин с однослойным покрытием при фрезеровании оказалось неэффективным. Последнее связано с тем, что при осаждении карбида титана из газовой фазы происходит обезуглероживание твердосплавной подложки с образованием хрупкой переходной прослойки между основой и собственно покрытием примерного состава  $W_3Co_3C$ . При обезуглероживании твердого сплава снижаются его прочностные характеристики; в некоторых работах сообщается о снижении предела прочности при изгибе образцов из твердого сплава с покрытием из карбида титана на 30 - 40%.

Более низкая температура осаждения, применяемая при осаждение покрытий из нитрида титана методом катодно-ионного распыления (метод КИБ) исключает образование обезуглероженной прослойки и, соответ-

ственно, предотвращает значительное снижение прочностных характеристик твердого сплава.

С целью дальнейшего увеличения износостойкости и надежности твердосплавного инструмента разрабатываются и находят все более широкое применение композиционные многослойные покрытия.

В данной работе рассматривается двухслойное композиционное покрытие из карбида и нитрида титана, полученное сочетанием двух наиболее распространенных методов - газовой фазой осаждением (карбид титана) и катодно - ионным распылением (нитрид титана).

Непосредственно на твердосплавную основу наносится покрытие из карбида титана методом осаждения из газовой фазы, что обеспечивает хорошее сцепление покрытия с твердосплавной основой, затем наносится второй слой покрытия из нитрида титана методом катодно-ионного распыления, полная взаимная растворимость карбида и нитрида титана предопределяет надежное сцепление износостойких слоев.

Покрытие из нитрида титана, осаждаемое методом КИБ, обладает совершенной плотной мелкозернистой структурой, что определяет его высокие характеристики ударной вязкости и трещиностойкости. Указанный факт определяет преимущество режущих пластин с комбинированными покрытиями перед пластинами с газовой фазой покрытиями на операциях прерывистого резания с ударными нагрузками, в частности, на операциях фрезерования. Оптимальная толщина слоя комбинированного покрытия на режущих пластинах, предназначенных для фрезерования, должна составлять: для слоя карбида титана 1,5 - 2 мкм. при этом, обеспечивается надежная адгезия слоя карбида титана со сплавом-основой, и для нитрида титана - 3-5 мкм. Толщина слоя комбинированного покрытия на пластинах, предназначенных для точения, может достигать 10 - 12 мкм за счет увеличения толщины нитридного слоя.

Основой для нанесения покрытий служат сменные многогранные пластины из сплавов ВК6 и ВК8.

Опытно-промышленный выпуск пластин с комбинированным покрытием осуществляется по ТУ 48-4206-308-97. Обозначение пластин с комбинированным покрытием - ВС3115 (основа из сплава ВК6) и ВС3225 (основа из сплава ВК8). Пластины марок ВС3115 и ВС3225 рекомендуются для обработки чугунов в подгруппах применения К10-К20 (ВС3115) и К20-К30 (ВС3225) по ISO взамен сплавов ВК4, ВК6, ВК8. Возможна дополнительная область применения этих марок для обработки сталей взамен сплавов Т5К10 и Т14К8 в подгруппах Р20-Р30 по ISO.



В таблице приведены результаты испытаний пластин ВС3115 и ВС3225 в промышленных условиях (геометрические параметры сравниваемых пар идентичны).

Таблица - Результаты и режимы испытаний пластин с комбинированным покрытием.

| № | Вид обработки, обрабатываемый материал | Материал режущего | Режим резания |            |       | Коэффициент стойкости |
|---|----------------------------------------|-------------------|---------------|------------|-------|-----------------------|
|   |                                        |                   | V<br>м/мин    | S<br>мм/об | t мин |                       |
| 1 | Черновое точение ст. 40X               | BC3115<br>BK6     | 140           | 0,4        | 3,0   | 3,6<br>1,0            |
| 2 | Продольное точение, ст.30XГСА          | BC3115<br>BK6     | 40            | 0,3        | 1,0   | 4,2<br>1,0            |
| 3 | Подрезка торца ст.45,HB180-200         | BC3225<br>T5K10   | 80            | 0,15       | 4,0   | 2,8<br>1,0            |
| 4 | Продольное точение, СЧ 21-40           | BC3225<br>BK8     | 60            | 0,8        | 1,2   | 4,6<br>1,0            |
| 5 | Предварительная обточка, СЧ 18-36      | BC3225<br>BK8     | 120           | 3,5        | 0,23  | 4,8<br>1,0            |

Применение пластин с комбинированными износостойкими покрытиями позволяет сократить число применяемых марок твердых сплавов и значительно их износостойкость.

## РОЗВИТОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЕХНІКИ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ В УКРАЇНІ

Полонський Л.Г. (ЖІТІ, м. Житомир, Україна)

*In article presentation the history of development in Ukraine progressive of*

*techniques treatment of materials - electrical of techniques of gasthermal spraying of coatings.*

Матеріальні і технічні труднощі, які супроводжували в 1930-і р.р. розвиток в СРСР такої прогресивної техніки ХХ ст. як газове (газополуменеве) напилення покриттів, не дозволяли нам досягти в цьому технічному напрямку рівня промислових країн Заходу. Це заставляло вести пошуки техніки напилення на іншій енергетичній базі [1].

Ще в 1932-1933 р.р. електрометалізація поступово почала проникати в ремонт автомобілів [2]. В умовах гострої нехватки основних засобів виробництва, в плані зростання економіки одним із завдань третьої п'ятирічки було визначено широкий розвиток відновлення зношеного устаткування. Напиловальні електричні засоби були і є основними на історичному етапі розвитку відновлювальної техніки газотермічного напилення покриттів (техніки ГТНП) [3]. Але, що стосується України, давалася визнаки її певна географічна ізольованість від визнаних промислових центрів того часу (Москва, Ленінград), де техніка напилення покриттів розвивалася найбільш інтенсивно. Становище змінилося на краще в перші повоєнні роки.

Історично сталося так, що техніка напилення з'явилася на базі зварювального виробництва, і це сприяло її розвитку в Україні. Адже з початковим періодом її розповсюдження (30-і - 40-і р.р.) співпало становлення Інституту електрозварювання, який відіграв усе більшу роль у технічному розвитку країни. Необхідність економії кольорових металів, поліпшення довговічності машин, скорочення простоїв устаткування і витрат на ремонт - ось рушійні сили розповсюдження і техніки покриттів взагалі, і електричної техніки ГТНП.

Під кінець 40-х р.р. проникнення електрометалізації в різні галузі промисловості вже не могло забезпечуватися стараннями окремих відомств, воно вимагало узагальнень, наукового прогнозу. На початку 50-х р.р. стали традиційними Київські науково-технічні конференції з питань поліпшення термінів служби машин. Три конференції протягом 1952 - 1957 р.р. були першими зібраннями такого роду в Україні. На них підведено підсумки використання електричної техніки ГТНП, виявлено недоліки її розвитку. Зокрема, зверталася увага на незадовільну координацію науково-дослідницьких робіт в цьому виді техніки, було відзначено досягнення в поліпшенні електродугового напилення покриттів Українського науково-дослідного інституту механізації сільського господарства, Інституту будівельної механіки та ін. організацій.

Аналіз ефективності електричної техніки ГТНП, проведений напередодні II-ї конференції (1954 р.) в передових МТС Київської області - Бучанській і Васильківській - показав, що стійкість проти спрацювання низки деталей тракторів і молотарок, відновлених електрометалізацією, зростає майже на третину. Основуючись на цих даних, конференція рекомендувала розширювати впровадження електричної техніки ГТНП. Мабуть, вперше спеціалістами, зокрема, І.А. Довгичем (м. Київ), на I-й Київській конференції було названо одну з найголовніших причин, яка негативно впливає на впровадження електрометалізації у виробництво - невизначеність з механічною обробкою поверхонь з покриттями [4].

1953 р. став роком значного досягнення України в техніці ГТНП. У Запоріжжі науковим співробітником місцевого філіалу Всесоюзного науково-дослідного інституту електрофікації сільського господарства К.П. Савенковим було сконструйовано принципово новий електричний апарат для напилення покриттів - однодотіяний високочастотний металізатор МВЧ-1 [5].

В 50-і р.р. на Білоцерківському ремонтному заводі для захисту від корозії резервуарів бензовозів використовувалась електрометалізація цинком і алюмінієм [6]. Наприкінці 60-х - на початку 70-х р.р. електричну техніку ГТНП впроваджено на одному з найпотужніших підприємств чорної металургії - ждановському заводі "Азовсталь".

Сформувалися основні напрямки використання електричної техніки ГТНП, вона зайняла чітко визначене місце в технологіях ремонту на підприємствах Міністерств чорної металургії, хімічної промисловості та інших. А найбільш широко електродугове напилення покриттів знайшло застосування в ремонтній сфері Держсільгосптехніки УРСР. В процес так званої "малої реставрації" воно було впроваджене практично в усіх районних відділеннях сільгосптехніки. Наприклад, тільки у Вінницькій області за допомогою цієї техніки в 1975 р. відновлено деталей на суму близько 13 тис. руб., а в 1980 р. - вже на 24 тис. руб. Одночасно тут було зекономлено більше 40 т металу [7].

Протягом 80-х - на початку 90-х р.р. електрична техніка ГТНП розвивалася в Україні особливо динамічно. Устаткуванням для електродугового напилення покриттів було оснащено ремонтні дільниці багатьох підприємств. Серед них - виробниче об'єднання "Тівденсудноремонт", Горлівський авторемонтний завод, районні відділення сільгосптехніки у Донецькій, Київській, Харківській та багатьох ін. областях.

В нинішній ситуації в Україні (знову ми зіткнулися з дефіцитом газу), очікується розширення використання електричної техніки ГТНП.

Незважаючи на матеріальну скруту, провідними науково-дослідними установами України продовжуються пошуки в напрямку утвердження електричної техніки ГТНП в сучасних прогресивних технологіях ресурсозбереження, захисту матеріалів, зміцнення деталей машин. Роботи проводяться, в основному, за трьома перспективними напрямками:

- 1) поліпшення конструкції металізаторів;
- 2) пошук нових сфер використання існуючих технічних засобів за рахунок оптимізації електричних режимів напилення [1];
- 3) поліпшення і пошук нових матеріалів для покриттів.

Усі ці напрямки мають за мету отримання більш однорідних напилюваних часток, зменшення їх окислення і, нарешті, поліпшення міцності зчеплення покриття з основою і зменшення його пористості.

**Список літератури:** 1. Рудой А.П. Перспективы использования газотермического напыления в промышленности // Экологические и ресурсосбережения. - 1995. - №3. - С. 13-20. 2. Ефремов В.В. Ремонт автомобилей. - М.: Автотрансиздат, 1954. - В 2-х ч. - Ч. 1. - 436 с. 3. Полонский Л.Г. Исторические периоды развития техники газотермического напыления // VI Međunarodna konferencija "Fleksibilne tehnologije": Zbornik radova, Novi Sad - Yugoslavia, 24-26 juna 1997. - С. 127-132. 4. Повышение износоустойчивости и срока службы машин. - Киев - М.: Машгиз, 1953. - 436 с. 5. Красниченко Л.В. Современная технология металлизации распылением. - М.: Трудрезервиздат, 1958. - 94 с. 6. Катц Н.В., Линник Е.М. Электрометаллизация. - М.: Сельхозгиз, 1953. - 222 с. 7. Цюра В. Деталям - друге життя // Механізація сільського господарства. - 1980. - №11. - С. 22-23.

## ВИДЫ ИЗНОСА ЗУБЧАТЫХ МУФТ

Польченко В.В., Соловей А.В. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

*Classification of wear and tear kinds for teeth of toothed couplings has been developed. It gives a possibility to control the coupling rating life.*

Неисправности агрегатов и машин зачастую связаны с нарушением работоспособности зубчатых муфт. При этом большинство отказов и, как следствие, поломки изношенных зубьев или увеличение поломки изношенных зубьев или увеличение выше допустимого предела вибраций машины, вызванных увеличенными зазорами в зацеплении муфты. В настоящее время у исследователей нет единого мнения о видах износа зубьев

зубчатых муфт, что является важнейшим в вопросе повышения долговечности муфт.

Для выявления видов изнашивания зубчатых муфт проведены исследования видов разрушения зубьев на основе изучения состояния поверхностного слоя зубьев после изготовления и эксплуатации в производственных и лабораторных условиях. Качество поверхности зубьев до эксплуатации определяется технологическим процессом изготовления. В результате работы изменения. Изменяются характер и величина шероховатости, волнистость поверхности, механические и физические свойства трущейся поверхности.

Шероховатость и волнистость поверхностей трения исследовались на профилографе-профилометре "Калибр2-252", структура и рельеф поверхностей изучались на металлографическом микроскопе МИМ-7. Процессы упрочнения к разупрочнения, возникающие в поверхностных слоях при трении, изучались по изменению микротвердости поверхностного слоя зубьев. Величина износа измерялась на проектной приставке большого инструментального микроскопа БМИ-1 при увеличении 50 Макрогеометрия изношенных зубьев исследовалась на приборе УЗП-400 с дополнительной приставкой. Установлены почти все известные виды износа (по классификации Б.И. Костецкого): окислительный износ, схватывание 1 рода, абразивный износ схватывание 1 рода, абразивный износ, фрейтинг-коррозия, поломка зубьев. При этом установлена прямая зависимость вида и величины коррозии, поломка зубьев. При этом установлена прямая зависимость вида и величины износа от условий эксплуатации муфты. Наиболее часто встречающиеся условия эксплуатации (величина возвратно-поступательного скольжения более 0,3 мм, давление в пределах 550...660 МПа для закаленных и 300...35- МПа для незакаленных зубьев) приводят к неблагоприятному виду износа - схватыванию 1 рода.

На основании исследований видов разрушения и условий их возникновения, разработана классификация основных видов износа зубьев зубчатых муфт, которая позволяет на стадии проектирования, после установления основных параметров эксплуатации определить главный (ведущий) вид износа и предусмотреть мероприятия по его минимизации.

Список литературы: 1. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах, -Киев: Техника, 1970.-395с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ильицкий В. Б., Ерохин В. В.<br>ВЫСОКОТОЧНАЯ ОБРАБОТКА ВАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br>ПОВОДКОВЫХ ЦЕНТРОВ В УСЛОВИЯХ<br>АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА.....                                                                               | 3  |
| Ильюшенко А.Ф., Ивашко В.С., Оковитый В.А., Шевцов А.И.,<br>Соболевский С.Б., Кулак А.И., Лесникович Л. А.<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ<br>ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ<br>ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОСТНЫХ ИМПЛАНТАТОВ..... | 6  |
| Ильюшенко А.Ф., Ивашко В.С., Оковитый В.А., Шевцов А.И.<br>ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПЛАЗМЕННЫХ<br>МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ.....                                                                                  | 8  |
| Инютин В. П.<br>НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА, НАДЕЖНОСТИ<br>И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ПРИБОРОВ И ИНСТРУМЕНТОВ .....                                                                                                     | 11 |
| Ишин Н.Н., Басинюк В.Т., Берестнев Я.О., Антошенин Л.М.<br>ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ<br>СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ .....                                                                          | 14 |
| Ищенко А.Л., Михайлов А.Н.<br>ЭЛЕМЕНТЫ МАРШРУТИЗАЦИИ ИЗДЕЛИЙ В РОТОРНЫХ СИСТЕМАХ<br>СБОРКИ С РАЗВЕТВЛЯЮЩИМИСЯ ПОТОКАМИ.....                                                                                                           | 17 |
| Кавалец М., Круль Г., Янковик М.<br>СТЕРЕОМЕТРИЯ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗАКАЛЕННОЙ<br>СТАЛИ ПОСЛЕ ТОЧНОГО ТОРЦОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ<br>КЕРАМИЧЕСКИМИ ПЛАСТИНАМИ.....                                                                   | 22 |
| Каганюк А.К., Кобазев В.П., Бакуновская Н.В.<br>ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО<br>ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СИГНАЛОВ «ПОРОДА-УГОЛЬ».....                                                                                                  | 24 |
| Калафатова Л.П.<br>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА<br>ОБРАБОТКИ ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ .....                                                                                                                   | 27 |
| Калашников В.І., Каспер Р.<br>МЕТОДОЛОГІЯ ТА ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З МЕХАТРОНІКИ.....                                                                                                                                          | 30 |



|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Калинин Е.П.<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ<br>ДОЛИ ТЕПЛОТЫ, УХОДЯЩЕЙ СО СТРУЖКОЙ ИЗ ЗОНЫ ШЛИФОВАНИЯ .....                       | 32 |
| Каплун В.Г., Пастух И.М.<br>ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО С ПРИМЕНЕНИЕМ<br>УПРАВЛЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ .....                           | 35 |
| Капуста П.П.<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАГРУЖЕННОСТИ И<br>РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....                             | 38 |
| Каргапольцев С.К., Лившиц А.В.<br>УЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ<br>ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....                       | 41 |
| Каргапольцев С.К., Лившиц А.В.<br>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ<br>ДЛИННОМЕРНЫХ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ .....                                | 43 |
| Каржавин В.В., Мальцев Л.В., Филимонов И.Е.<br>СОЗДАНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ШТАМПОВКИ НА ОСНОВЕ<br>ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ..... | 46 |
| Карпов Э.А., Виноходова А.Ф., Крахт В.Б.<br>ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ<br>В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ .....                               | 48 |
| Карпов Э.А., Виноходова А.Ф., Ченцова Е.П.<br>СОЗДАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ<br>ПРЕДПРИЯТИЕМ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА .....    | 50 |
| Карпов Э.А., Виноходова А.Ф., Черезов А.В.<br>ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ<br>ПРОВЕДЕНИЯ РЕИНЖИНИРИНГА .....                        | 53 |
| Карпов Э.А., Виноходова А.Ф., Черезов А.В.<br>СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ<br>РЕИНЖИНИРИНГА БИЗНЕС - ПРОЦЕССОВ .....              | 56 |
| Картау Ю.К., Луби Х.О.<br>ВОЗВРАЩЕНИЕ К ДВИГАТЕЛЮ НАРУЖНОГО СГОРАНИЯ .....                                                                                  | 59 |
| Кашица Л.П., Худолей А.Л., Сосновский И.А., Кляменко С.Е.<br>ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ                                                     |    |

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ВКЛАДЫШЕЙ.....                                                                                                                   | 61 |
| Кашуба Ю.О., Митник М.М., Стухляк П.Д.<br>ДИЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДВОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ НА<br>ОСНОВІ ЕД-20 ТА ОКСИДІВ АЛЮМІНІЮ, МІДІ І ХРОМУ .....        | 63 |
| Киричок А.С., Яценко Ю.П.<br>ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ<br>ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ<br>ДОНБАССА.....                 | 66 |
| Ключинченко В.Н., Венжега В.И., Пасов Г.В.<br>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСА<br>ПРОФИЛЯ АБРАЗИВНОГО ОРИЕНТИРОВАННОГО КРУГА .....    | 69 |
| Клягин Г.С.<br>КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ И ПРЕОДОЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ<br>БАРЬЕРОВ В ТОРГОВЛЕ.....                                                                    | 71 |
| Кобазев В.П., Чупайленко А.А., Кошин Б.А., Прокопенко А.И.<br>ДИАГНОСТИКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ<br>РЕГУЛИРОВАНИЯ ДУГОГАСЯЩЕГО РЕАКТОРА .....              | 74 |
| Ковалев В.Д.<br>МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ<br>ОПОР ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....                              | 77 |
| Ковришкін М.О.<br>ВИЗНАЧЕННЯ БОКОВИХ ЗАДНІХ КУТІВ ДИСКОВОЇ ФРЕЗИ ДЛЯ<br>ОБРОБКИ ЧЕРВ'ЯКІВ ПРИ РУСІ ПОДАЧІ, ЯКИЙ НЕ СПІВПАДАЄ<br>З НАПРЯМКОМ ЇХ ВІТКІВ..... | 81 |
| Комарова В.И., Басинюк В.Л., Комаров А.И., Белоцерковский М.А.<br>УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ ПАР<br>МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ.....       | 83 |
| Кондратенко В.И., Пастухов М.И., Сытько В.В.<br>МЕТРОЛОГІЧЕСКІЕ АСПЕКТЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ<br>ШЕРОХОВАТОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....         | 85 |
| Кононыхин С.В., Дворников В.И., Рыбалко Р.И.<br>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕПАРАТОРА ДЛЯ<br>ПНЕВМО-КЛАССИФИКАЦИИ МЕРТЕЛЕЙ .....                                    | 88 |

|                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Котенева Н.В., Максименко А.А., Перфильева Н.В.<br>УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ<br>МАШИН ПРИ СЛОЖНОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ.....                                   | 90  |
| Кочергин В.Г., Горкуша А.Е., Стебляко В.Г.<br>НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ОПОРНЫХ УЗЛОВ С<br>ВКЛАДЫШАМИ ИЗ ПОЛИМЕРОВ.....                                              | 92  |
| Кравченко П.Д.<br>КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА<br>ОБРАБОТКИ ОБЪЕКТОВ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ.....                                                            | 93  |
| Кравченко П.Д., Дудченко А.Н.<br>ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ<br>МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ РУКОЯТИ МАНИПУЛЯТОРА<br>С ВНУТРЕННИМ ЗАХВАТОМ ОБЪЕКТА.....                     | 96  |
| Кравченко П.Д., Нарыжный В.А.<br>УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА<br>ОТНОСИТЕЛЬНО ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ ГИБКОГО ПОДВЕСА.....                                    | 99  |
| Краснова Н.В., Юнусов Ф.С.<br>МЕТОД ОТОБРАЖЕНИЯ В МОДЕЛИРОВАНИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ<br>СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ФОРМ.....                                                                | 101 |
| Крижанівський В.А.<br>РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ<br>СХЕМИ НАВАНТАЖЕННЯ ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ ПРИВОДА<br>ПОДАЧІ СИЛОВОЇ ГОЛОВКИ.....                      | 104 |
| Кузнецов В.Н., Крахт В.Б., Колерко Г.В.<br>РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА<br>КАНАЛИЗАЦИОННЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ.....                                                  | 108 |
| Кузнецов В.Н., Крахт В.Б., Сопилкин Г.В.<br>ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗАЦИИ<br>ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В<br>СИСТЕМАХ ВОДООТВЕДЕНИЯ..... | 110 |
| Кузнецов Б. И., Соляник В. П., Чаусов А. А.<br>СИНТЕЗ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ<br>ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ.....                                       | 113 |
| Кузьменков О.И., Капанец Э.Ф., Князев В.Н.<br>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОЙ                                                                                             |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ДИАГНОСТИКИ ЗУБОПРОКАТНОГО СТАНА ЗПС-250(В).....                                                                                                                                                                                                      | 116 |
| Кулініч Т.В.<br>ВИРОБНИЧО-УПРАВЛІНСЬКИЙ АСПЕКТ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА<br>ПРИ ОЦІНЦІ ЙОГО ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ.....                                                                                                                            | 117 |
| Кундас С.П., Достанко А.П., Сороговец Ю.В., Гуревич В.А.,<br>Ильющенко А.Ф., Оковитый В.А., Наumenko Н.Н.<br>ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ<br>МОДЕЛИРОВАНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕССОВ<br>ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ..... | 120 |
| Куница А.В.<br>МЕТОД ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ<br>МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....                                                                                                                                                               | 122 |
| Куница А.В.<br>КАНОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИТВМ ПРЯМОГО ХОДА.....                                                                                                                                                                                     | 126 |
| Куница А.В.<br>КАНОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИТВМ ОБРАТНОГО ХОДА.....                                                                                                                                                                                   | 129 |
| Куница А.В.<br>КАНОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИТВМ СМЕШАННОГО ХОДА.....                                                                                                                                                                                  | 133 |
| Купченко Г.В., Майонов А.В., Поко О.А.<br>НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАПРАВЛЕННОЙ<br>КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ<br>ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ.....                                                                                             | 137 |
| Курбанов Х.К.<br>ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЗА СЧЕТ<br>УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНВЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ<br>ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА.....                                                                                                           | 139 |
| Кухтик Т.В., Решетняк В.В.<br>ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ПРИ<br>ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ НАКАТЫВАНИИ.....                                                                                                                                | 142 |
| Кухтик Т.В., Соломко Т.Ю.<br>К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ<br>КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....                                                                                                                                                  | 144 |
| Куцын А.Н., Гапонов А.С.<br>СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ СБОРКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ                                                                                                                                                                         |     |

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ЛОКАЛЬНОГО НАГРЕВА ДЕТАЛЕЙ.....                                                                                                                                        | 146 |
| Кхелуфи А., Белецкий В.С., Сергеев П.В.<br>СОЗДАНИЕ НОВОЙ ПРОГРЕССИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ<br>ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ СОЛЕННЫХ УГЛЕЙ.....                                              | 150 |
| Лалазарова Н.А., Хагет Л.Г., Балабан В.В.<br>ВЛИЯНИЕ ДРОБЕСТРУЙНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА<br>МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ<br>ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА .....  | 153 |
| Ландик В.И., Горин А.Н., Макаров А.С.<br>ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКОНОМИИ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ<br>ЛИНИЙ ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ ПОРЕЗКИ РУЛОННЫХ СТАЛЕЙ .....            | 156 |
| Лебедь В.Т.<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ФРЕТТИНГ-ИЗНОСА СОСТАВНЫХ<br>КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....                                                                                 | 158 |
| Литвин А.В.<br>НОВОЕ В СТАНКОСТРОЕНИИ УКРАИНЫ.....                                                                                                                     | 161 |
| Логвин И.В., Корниенко В.Г.<br>ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРИВОДА КАРУСЕЛЬНЫХ<br>СТАНКОВ.....                                                                      | 164 |
| Лунарски Е., Зелецки В.<br>УПРОЧНЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РАДИУСОВ ВАЛИКОВ<br>ПНЕВМОШАРИКОВЫМ НАКЛЕПОМ И АЛМАЗНЫМ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ.....                                            | 166 |
| Лунарски Е., Семп Я.<br>МОДИФИЦИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ<br>ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....                                                                      | 169 |
| Луни Л.С., Овчинников В.А., Благин А.В.,<br>Алфимова Д.Л., Константинов П.А.<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИСМУТОВЫХ ЗОН ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ<br>МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР ..... | 172 |
| Лысенко О.Н.<br>СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ<br>ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ОТ АО «АСКОН».....                                                                | 175 |
| Лысенко А.Б., Козина Н.Н., Борисова Г.В.<br>ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО БОРИРОВАНИЯ                                                                                |     |

|                                                                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| С ЦЕЛЬЮ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ .....                                                                                                                                                                       | 178 |
| Любченко А.П., Евсюкова Н.Н., Сатановский Е.А., Соболев В.Н., Чигрина Т.В.<br>РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ПРИНЦИПОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ<br>ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ МЕТОДОМ<br>НАПРАВЛЕННЫХ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ..... | 181 |
| Мазур М.П., Милько В.В.<br>РОЗРОБКА САПР ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ РІЗАННЯ ПЛАСТИЧНИХ<br>МАТЕРІАЛІВ .....                                                                                                                     | 183 |
| Мальшико И.А., Киселева И.В.<br>ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ<br>КОМБИНИРОВАННЫМИ РАЗВЕРТКАМИ .....                                                                                                         | 186 |
| Мальшико И.А., Сурженко А.Н.<br>ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ<br>ЗЕНКЕРА НА ЛИМИТИРУЮЩУЮ ТОЛЩИНУ РЕЖУЩЕЙ ПЛАСТИНЫ.....                                                                          | 187 |
| Маляренко А.Д.<br>ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ<br>ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ.....                                                                                                                     | 190 |
| Маневич В.В., Сысоев Ю.С.<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКРЫТЫХ БАЗ ДЛЯ БАЗИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК<br>КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....                                                                                                    | 192 |
| Макаров Г. Н., Зайцева И. Г.<br>МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУДА РАБОТНИКОВ<br>ПРЕДПРИЯТИЯ.....                                                                                                                   | 195 |
| Маренич К.Н., Бурлака А.Н.<br>КОСВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК В<br>ТЯГОВОМ ОРГАНЕ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА .....                                                                                             | 198 |
| Мартыненко В.А., Шпирка И.И., Доморацкий В.А.<br>ВЫБОР ДИАМЕТРА КРУГЛЫХ ПОВОРОТНЫХ РЕЖУЩИХ<br>ПЛАСТИН ДЛЯ СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА .....                                                                                 | 199 |
| Матвиенко А.В., Михайлов А.Н., Кудрявцев А.А.<br>ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ<br>ТОНКОСТЕННЫХ РЕЗЬБОВЫХ ИЗДЕЛИЙ.....                                                                                         | 201 |



|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Матросов Н. И., Дугадко А. Б., Павловская Е. А.<br>ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ<br>ГИДРОПРЕССОВАНИЯ МНОГОВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТА ..... | 203 |
| Матюха П.Г., Полтавец В.В.<br>РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА УДАЛЕННОГО МАТЕРИАЛА<br>ПРИ ШЛИФОВАНИИ ПО УПРУГОЙ СХЕМЕ .....                                          | 206 |
| Мелехов Р., Тубилевич Х., Смиин О.Д.<br>СПЕЦИФИКА ХРУПКИХ РАЗРУШЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС .....                                                            | 207 |
| Микитянский В.В., Декина Ю.И., Чепурная М.Н.<br>ОПЕРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТОКА И ЕЕ<br>ХАРАКТЕРИСТИКИ.....                                 | 210 |
| Микитянский В.В., Мартыанова А.Е.<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ<br>ПОТОКОМ АБРАЗИВНЫХ ЧАСТИЦ .....                                             | 212 |
| Микитянский В. В., Микитянская Л. М.<br>КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГИБКОСТИ И<br>ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....                  | 215 |
| Микитянский В.В., Микитянская Л.М., Фролов Д.А.<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВИБРОУЗЛА СЛОЖНОЙ<br>ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....                               | 218 |
| Микитянский В.В., Сахно К.Н.<br>МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ<br>ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ .....                                    | 221 |
| Михайлов А.Н.<br>МОДУЛЬНАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ РАЗВИТИЯ ТЕХНОСФЕРЫ .....                                                                                    | 224 |
| Михайлов А.Н., Байков А.В.<br>СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ОБРАБОТКИ ПРИ<br>ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНСТРУМЕНТА С<br>ВАРЬИРУЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....        | 228 |
| Михайлов А.Н., Гапеев В.Б., Седиков Р.С.<br>АВТОМАТИЧЕСКАЯ РОТОРНАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА<br>САМОСТОПОРЯЩИХСЯ ГАЕК .....                              | 231 |
| Михайлов А.Н., Ищенко А.Л., Матвиенко А.В., Седиков Р.С.<br>ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ                                                            |     |

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ПОТОЧНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....                                                                                                                | 232 |
| Михайлов А. Н., Малышко И. И.<br>ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК<br>ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РОТОРА НА ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ .....                                       | 233 |
| Мозговой В.И.<br>ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В<br>КОНТЕКСТЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПРИРОДУ И ЧЕЛОВЕКА .....                                               | 234 |
| Мозговой В.И., Вергазова Л.Г.<br>СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ФОРМИРОВАНИЯ<br>ГУМАНИСТИЧЕСКОГО МИРОВОЗЗРЕНИЯ В ТЕХНОГЕННУЮ ЭПОХУ.<br>ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ..... | 236 |
| Молчанов В.Б.<br>ДИНАМИКА БУРОВОГО СТАВА БУРИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ УБШ .....                                                                                               | 238 |
| Муганлиевский С. Г.<br>ПРОБЛЕМЫ И РАЗРАБОТКА ТЕОРИИ РАСЧЕТА<br>РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ<br>ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ .....                                 | 239 |
| Надеин В.С., Хамуйела Жоаким А.Г.<br>О ТРЕБОВАНИЯХ К БЕЗАЗОРНЫМ ЧЕРВЯЧНЫМ ПЕРЕДАЧАМ.....                                                                             | 242 |
| Надеин В.С.<br>ПРО СТВОРЕНИЯ ВИРОБЛЯЮЩИХ ПАР ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕНИЯ<br>ЧЕРВ'ЯЧНИХ ПЕРЕДАЧ З ЛОКАЛІЗОВАНИМ КОНТАКТОМ .....                                                | 244 |
| Назимко Е.И., Кононова Н.С., Соколовская Н.В.<br>ВЛИЯНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА<br>ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ .....                              | 246 |
| Настасенко В.А.<br>НОВЫЙ ВИД ЧЕРВЯЧНЫХ ЗУБЕРЕЗНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ИХ САПР .....                                                                                       | 248 |
| Недовес В. А.<br>СТЕНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ<br>ГЛАЗУРОВАННЫХ ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ.....                                                                        | 251 |
| Нечепас В.Г., Величко Д.С.<br>ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ<br>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....                                                       | 254 |

Нечепанев В.Г., Кейлин А.И.  
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МЕХАНО-  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ .....255

Новикова Е.А., Морозов В.В., Костерин А.Б.  
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПЛАВНОСТИ  
В СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЕ С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ТИПА ЛЮФТ.....256

Новоселов К.Ю.  
УПРАВЛЕНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫМИ СТАНКАМИ В  
АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ .....259

Новоселов Ю.К.  
ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРИ  
ЧИСТОВОМ И ТОНКОМ ШЛИФОВАНИИ .....262

Норова Е. Г., Панфилова Т. С.  
ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТЯЖЕЛОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....265

Овчинников Е.В., Бойко Ю.С.  
ОЛИГОМЕРНЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ  
ТРЕНИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....267

Оковитый В.А., Ильюшенко А.Ф., Иванко В.С., Талако Т.Л.,  
Соболевский С.Б., Шевцов А.И.  
ОБРАБОТКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ.....268

Онищенко В.П.  
УПОРЯДОЧЕНИЕ КОМПЛЕКТАЦИИ ЗУБЧАТЫХ ПАР ПРИ  
КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ПРИВОДОВ ГОРНЫХ МАШИН .....271

Панасенко Н.Н., Желякова Н.Ю.  
ПРОБЛЕМА ПРЕДЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ.....272

Парфенюк А.С., Кутняшенко И.В., Власов Г.А., Кауфман С.И., Захаров П.А.  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УГЛЕРОДИСТОГО СПЕКАЮЩЕГОСЯ СЫРЬЯ С  
ПОВЕРХНОСТЯМИ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ.....275

Парфенюк А.С., Кутняшенко И.В., Топоров А.А.,  
Веретельник С.П., Мельниченко А.Г.  
ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ  
ОТХОДОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИКИ ДЛЯ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ .....278

Парфенюк А.С., Мельниченко А.Г., Веретельник С.П.,  
Топоров А.А., Кутняшенко И.В., Комбаров А.П., Котенко Н.С., Карпов В.С.  
НОВАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ  
ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ .....280

Парфенюк А.С., Топоров А.А., Кутняшенко И.В., Маслаков В.И.,  
Бондарев В.Г., Поролов В.В.  
ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ПРЕССУЮЩЕ-ПРОТАЛКИВАЮЩЕГО  
УСТРОЙСТВА АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ  
УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ.....283

Пасынков Р.Е., Молчанов В.Б.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДАРНЫХ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК  
НА БУРОВОМ СТАВЕ .....286

Петтик Ю.В.  
РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ И ПРИНЦИПОВ КЛАССИФИКАЦИИ  
СПОСОБОВ ПРОХОДКИ ШАХТНЫХ СТВолов .....288

Петтик Ю.В., Гуня А.П., Гуня И.А.  
КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА РАБОТЫ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА ..291

Пилипенко О.И.  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
МНОГОМАССОВЫХ ЦЕПНЫХ ПЕРЕДАЧ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ....294

Пипкин Ю. В., Зелинский А. Н.  
СТРУКТУРНО - ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРАФОВЫЕ МОДЕЛИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ .....297

Познанский В.И., Сытник А.А.  
КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ НА  
ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИНАХ.....300

Полонський Л.Г.  
РОЗВИТОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЕХНІКИ ГАЗОТЕРМІЧНИХ  
ПОКРИТТІВ В УКРАЇНІ.....302

Польченко В.В., Соловей А.В.  
ВИДЫ ИЗНОСА ЗУБЧАТЫХ МУФТ .....305