



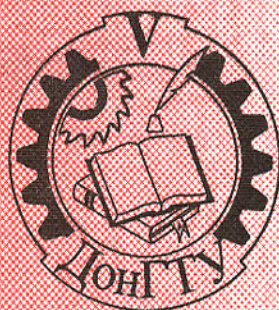
Специальный выпуск -
материалы
V международной
научно-технической
конференции

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА НА РУБЕЖЕ XXI ВЕКА

ТОМ 1

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 1



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.1- Донецк: ДонГТУ. Вып.6, 1998. - 324 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.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель - ректор ДонГТУ, заслуженный деятель науки и техники Украины, академик АИН Украины, д.т.н., проф. Минаев А.А.

Заместитель председателя - зам. директора по научной работе Института международного сотрудничества ДонГТУ, зав. кафедрой ТМ ДонГТУ, д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

Члены: нач. отдела ИМАШ РАН, д.т.н., проф. Базров Б.М.; председатель управления АО «ДЗГА» Баскаков Б.И.; профессор Портсмутского университета Бемент М.; директор института надежности машин АН Беларуси, д.т.н. Берестнев О.В.; зам. председателя исполкома г. Донецка Бешуля С.Г.; руководитель рабочей группы межгосударственного научно-технического совета стран СНГ министерства Украины по делам науки и технологий, д.т.н., проф. Богорож А.Т.; президент УО МАН ВШ, д.т.н., проф. Бугай Ю.Н.; профессор СевГТУ, д.т.н. Бохонский А.И.; зав. кафедрой ТРТУ, д.т.н., проф. Бутенко В.И.; зав. кафедрой Силезского технического университета, д.т.н., проф. Войнаровский Ю.; директор НЦ «Проблем механики машин» НАН Беларуси, проф. Высоцкий М.В.; НТУУ «КПИ», д.т.н., проф. Гавриш А.П.; нач. отдела ГНПО «Метрология», к.т.н. Гафанович Г.Я.; зам. директора по науке ДИХТ, к.т.н. Гейер Г.В.; директор ДИХТ, к.т.н. Горин А.Н.; секретарь научно-технического союза машиностроения Болгарии Дамянов Д.; профессор Остравского технического университета Данек Я.; начальник управления машиностроения, ВПК и конверсии Донецкой облгосадминистрации Демин В.П.; генеральный директор АО «НОРД», к.т.н. Жидков В.В.; зав. кафедрой ВУГУ, д.т.н., проф. Зарубицкий Е.У.; ректор ТРТУ, д.т.н., проф. Захаревич В.Г.; зав. кафедрой СУ, д.т.н., проф. Захаров Н.В.; проректор по научной работе ДонГТУ, д.т.н., проф. Зборщик М.П.; зав. кафедрой ГАЛПУ, д.т.н., проф. Зенкин А.С.; зав. кафедрой ДГМА, д.т.н., проф. Зиновьев Н.И.; генеральный директор АО НИИ «Изотерм», к.т.н. Ивютин В.П.; председатель правления АОЗТ «1-й Донецкий авторемзавод» Каспарьянц А.Г.; профессор Портсмутского университета Кларидж С.; зав. кафедрой ВИ НГТУ, проф. Кравченко П.Д.; ген. директор корпорации «УКРУГЛЕМАШ» Кравцов В.И.; зам. директора НЦ «Проблем механики машин» НАН Беларуси, д.т.н., проф. Красневский Л.Г.; директор Старо-Оскольского филиала МИСиС, к.т.н., проф. Крахт В.Б.; технический директор ПО «Минский тракторный завод» Крупен Л.Н.; профессор НТУУ «КПИ», д.т.н. Кузнецов Ю.Н.; директор Севастопольского строительного техникума Лихота Л.К.; декан ДонГТУ, к.т.н., проф. Мизин Б.М.; председатель правления АО «Буран», к.т.н.

Молчанов В.Б.; пом. президента АО «НОРД», к.т.н. Муравья Е.С.; проректор по международному сотрудничеству ДонГТУ, проф. Навка И.П.; зав. кафедрой СевГТУ, д.т.н., проф. Новоселов Ю.К.; профессор Портсмутского университета Оливер Т.; зав. кафедрой Ясского технического университета, д.т.н. проф. Прутяну О.В.; зав. кафедрой НГУУ «КПИ», д.т.н., проф. Равская Н.С.; профессор НГУУ «КПИ», д.т.н. Радзевич С.П.; профессор НГУУ «КПИ», д.т.н. Родин П.Р.; президент ассоциации технологов машиностроителей Украины, д.т.н., проф. **Рыжов Э.В.**; зам. директора Старо-Оскольского филиала МИСиС, д.т.н., проф. Сопилкин Г.В.; зав. кафедрой НГУУ «КПИ», д.т.н., проф. Струтинский В.Б.; зав. кафедрой ВУГУ, к.т.н., доц. Сурнин Ю.М.; нач. отдела института надежности машин АН Беларуси, к.т.н., проф. Сусин А.А.; зав. кафедрой БГТУ, д.т.н., проф. Суслов А.Г.; директор ИМиС, д.т.н., проф. Тернюк Н.Э.; зав. кафедрой ХГПУ, д.т.н., проф. Тимофеев Ю.В.; профессор ДГМА, д.т.н. Хаэт Г.Л.; зав. кафедрой ДонГТУ, д.т.н., проф. Шевченко Ф.Л.; проректор по научной работе ДГАСиА, проф. Югов А.М.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель - зам. директора ИМС ДонГТУ, зав. кафедрой ТМ ДонГТУ, д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

Заместитель председателя - доцент кафедры МС ДонГТУ, к.т.н. Каляфатова Л.П.

Ученый секретарь - ассистент кафедры ТМ ДонГТУ Ищенко А.Л.

Члены: доцент кафедры ТМ ДонГТУ Богуславский В.А.; ассистент кафедры МС ДонГТУ Байков А.В.; ученый секретарь ДонГТУ Гапеев В.Б.; ассистент кафедры ТМ Голубов Н.В.; гл. технолог АО «ДЗГА» Вассерман Г.Д.; зам. директора ССТ Ермашова Г.Д.; ассистент кафедры МС ДонГТУ Горкуша А.Е.; доцент кафедры МС ДонГТУ, к.т.н. Гусев В.В.; доцент кафедры ТМ ДонГТУ, к.т.н. Ивченко Т.Г.; доцент кафедры МС ДонГТУ, к.т.н. Киселева И.В.; зав. кафедрой ДонГТУ, к.т.н., доц. Лукичев А.В.; профессор кафедры МС ДонГТУ, д.т.н. Малышко И.А.; ассистент кафедры СМ ДГАСиА Матвиенко А.В.; зав. кафедрой ДонГТУ, д.т.н., проф. Матюха П.Г.; декан механического факультета ДонГТУ, к.т.н., проф. Мизин Б.М.; доцент кафедры ТМ ДонГТУ, к.т.н. Нечепасев В.Г.; директор по науке АО «Буран», д.т.н., проф. Пасынков Р.Е.; доцент кафедры МС ДонГТУ, к.т.н. Петтик Ю.В.; доцент кафедры ТМ ДонГТУ Польшченко В.В.; декан факультета психологии и менеджмента ИПиП, к.т.н., доц. Цокур В.П.; зам. генерального директора АО НИИ «Изотерм» Сухарев С.О.; доцент кафедры ВМ ДонГТУ, к.т.н. Улитин Г.М.

Дорогие друзья и коллеги !

Организационный комитет международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века» рад приветствовать ее участников, собравшихся здесь уже на пятую традиционную встречу. Эта конференция является юбилейной и продолжает традицию встреч машиностроителей на легендарной севастопольской земле. Она примечательна тем, что проводится накануне праздника - дня машиностроителя и направлена на развитие сотрудничества машиностроителей различных стран и обмен информацией научно-технического характера.

На этой встрече основное внимание будет уделено проблемам прогрессивного развития новых технологий и технологического оборудования машиностроения, а также установлению закономерностей эволюции техносферы. Мир техносферы проявляет себя широким многообразием и большой размерностью. При этом, несмотря на то, что машиностроение представляет собой только узкую часть техносферы, оно поддерживает развитие всех ее составляющих, так как создает необходимые машины, орудия и основные средства производства. Поэтому наша конференция посвящена машиностроению - основной связующей части техносферы, от общего состояния которого зависит развитие всех других отраслей народного хозяйства. На ней будут рассмотрены вопросы, связанные с практикой и перспективами развития и применения прогрессивных технологических процессов, высокоэффективного оборудования и технологических систем, автоматизацией производственных процессов, изготовлением инструментов и оснастки, а также будет освещен ряд других актуальных проблем машиностроения.

Проведение этой конференции, на наш взгляд, позволит наметить основные ориентиры, определить вектор прогрессивного развития машиностроения и подвести итоги развития новой техники и технологий машиностроения на рубеже веков.

Оргкомитет уверен, что данная встреча будет способствовать интеграции машиностроителей стран СНГ и дальнего зарубежья, развитию совместных международных проектов ученых и специалистов различных стран, а также реализации дружеских встреч и развитию творческого сотрудничества.

С самыми наилучшими пожеланиями.

Председатель организационного комитета
Михайлов А.Н.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАЛАДКИ СТАНКА НА УСЛОВИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИХ ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Абызов А.П., Чемборисов Н.А., Юрасов С.Ю.
(КГТУ им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия)

Recommendations for production of details containing helical surfaces, based on the theory of helical surfaces in the tool planing and mathematical simulation of the compound surface machine processing. In particular, orientation of single-angle milling cutter and grinding wheel about the blank.

Новые экономические отношения ставят перед производителями продукции новые задачи, в том числе и снижение себестоимости. Это может быть обеспечено на этапе проектирования технологической операции изготовления изделий, содержащих сложные поверхности (инструментальное производство - сверла, конические концевые фрезы, зенкеры, авиация - лопатки турбин). Одним из частных случаев сложной поверхности является коническая винтовая поверхность. Это, например, винтовые стружечные канавки металлорежущего концевого инструмента, расположенные на конусе. Их получают фрезерованием или вышлифовывают.

При формообразовании винтовых стружечных канавок изделия инструментом второго порядка из имеющейся на предприятии номенклатуры (одноугловыми фрезами) возникает проблема обеспечения благоприятной для последующей заточки и эксплуатации формы передней поверхности получаемого изделия. Предпочтительным является использование в качестве контролируемого параметра профиля нормального сечения, так как оно характеризует условия работы режущего лезвия. К благоприятной можно отнести вогнутую или плоскую конфигурацию, к неблагоприятной - выпуклую. При этом традиционной является такая установка фрезы относительно обрабатываемой заготовки, при которой обработка ее передней поверхности производится торцовым зубом. Расположение нормалей к обрабатываемой поверхности, размеры и форма аксоидов обработки при этом таковы, что не всегда обеспечивается правильное формообразование (нормали к поверхности могут не пересекаться или касаться аксоидов, или пересекаться их в непоследовательном порядке). Это возникает вследствие того, что радиус кривизны участка исходной инструментальной поверхности (ИИП) соприкасающегося с обрабатываемой передней поверхностью стремится к бесконечности. При этом возникают завалы и подрезы полу-

чаемой поверхности. Для устранения этого недостатка предлагается вариант технологической наладки, при котором обработка передней поверхности производится периферийной (конусной) частью угловой фрезы. Преимуществом данной схемы установки можно считать более благоприятные условия формирования получаемой передней поверхности, которые уменьшают риск возникновения её "завалов" и обеспечивают более благоприятную её форму для последующей заточки, а также возможно меньшие требования к используемому оборудованию, так как отпадает необходимость изменения межосевого расстояния между инструментом и заготовкой даже при необходимости обеспечения у получаемого изделия конической сердцевины.

Окончательное формообразование передней поверхности инструментов с винтовыми стружечными канавками производится в ходе ее заточки на универсальных и специальных заточных станках. Обычно обработка производится конической поверхностью тарельчатого круга, что зачастую приводит к подрезанию. В качестве альтернативного способа заточки предлагается обработка конической стороной чашечного круга. При этом линия касания поверхностей шлифовального круга и затачиваемого зуба (характеристика) в большей мере приближается по своему характеру к прямой, что обеспечивает меньшее отклонение от заданного профиля передней поверхности.

Данное предложение - вариант технологической наладки - предполагает использование ЭВМ для моделирования процесса обработки перед проведением заводских испытаний.

Список литературы: 1. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. М.: "Машиностроение", 1968. - 372 с. 2. Юнусов Ф.С. Формообразование сложнопрофильных поверхностей шлифованием. М.: "Машиностроение", 1987. - 248 с. 3. Юнусов Ф.С., Чемборисов Н.А., Юрасов С.Ю. Оптимизация параметров настройки станка для обработки винтовых стружечных канавок, расположенных на конусе. //Международная научно-техническая конференция "Молодая наука - новому тысячелетию": Тезисы докладов - Набережные Челны: КамПИ, 1996. 4. Палей М.М. Технология производства металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1982. - 256 с. 5. Кирсанов Г.Н. Проектирование инструментов. Кинематические методы. М.: Мосстанкин, 1978. - 70 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ, ОРИЕНТИРОВАНИЯ И СОРТИРОВКИ ШТУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА БАЗЕ ПНЕВМОИНЕРЦИОННЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Авцинов И.А., Битюков В.К., Новиков Д.Ю., Степанов С.В.
(ВГТА, г. Воронеж, Россия)

A number of flexible untouch load devices is designed. These devices use the technical sensory-touch principle with the air carrying layer usage. It allows to produce the active orientation, separation and the feed of articles for further technological operation by untouch method.

В современных условиях, одними из важнейших требований предъявляемых к промышленным предприятиям являются: высокий уровень гигиены и производственной санитарии; эффективная работа предприятия при постоянном изменении ассортимента выпускаемой продукции; сокращение затрат на внедрение, освоение и эксплуатацию нового оборудования.

Все вышесказанное выдвигает определенные требования к технологическому оборудованию. Оно должно: удовлетворять определенным санитарным нормам по производственной гигиене; обладать высоким уровнем гибкости (т.е. возможностью манипулировать разнообразными изделиями при минимальных затратах на переналадку); быть простым, надежным и легко встраиваемым в технологические линии.

Основой любого производства является технологические операции, совокупность которых позволяет решать практически любые задачи. Одними из самых ответственных и сложных операций являются ориентирование изделий во времени, пространстве и дальнейшая их сортировка.

Ориентирование включает в себя распознавание образа изделия по определенному ключу ориентации с последующим манипулированием распознанным объектом. Одним из перспективных направлений является создание ориентирующих устройств с элементами технического осязания на базе использования газовой несущо-распознающей прослойки.

В Воронежской государственной технологической академии в научно-исследовательской лаборатории «Механика сплошных сред» ведутся работы по созданию пневмоинерционных устройств. Основным элементом разрабатываемого пневмоинерционного оборудования является: несущая поверхность, полностью перфорированная воздухоподводящими отверстиями. Она выполнена с возможностью вращения и имеет различные геометрические размеры и конфигурацию. Конструкция несущей поверх-

ности функционально взаимосвязана с технологическими возможностями разрабатываемых устройств.

Особенностью таких устройств является использование газовой прослойки в качестве не только несущего, но и распознающего элемента конструкции. Последняя обладает высокой чувствительностью к изменению параметров транспортируемых изделий, таких как: геометрические размеры, площадь опорной поверхности, качество обработки поверхности и масса.

Распознавание образа изделий в традиционных загрузочных устройствах производится по какому-то определенному ключу ориентации, связанному с конкретными особенностями конфигурации ориентируемого изделия, что резко снижает их универсальность и, в конечном счете, гибкость. Предлагаемые устройства обладают высоким уровнем гибкости, так как они могут быть использованы для различных типов изделий. Это обусловлено тем, что в них для распознавания изделий применяется критерий «удельная нагрузка» (отношение массы изделия к площади опорной поверхности), позволяющий не учитывать конкретные геометрические особенности предмета производства. При этом процесс переналадки в результате перехода с одних типов изделий на другие сводится к подбору расхода сжатого воздуха, подаваемого в пневмокамеры, и может осуществляться в автоматическом режиме.

Причем, если подавать горячий воздух через перфорацию несущей поверхности происходит сушка изделий одновременно с их ориентированием и транспортированием на газовой прослойке. Таким образом, к операциям ориентирования, сортировки и транспортирования добавляется еще и процесс сушки.

Использование в ряде устройств совмещенных технологических операций (сушка, активное ориентирование, сортировка и транспортирование) позволяет сократить количество оборудования, а соответственно энергозатраты. А также высвободить производственные площади и обслуживающий персонал, что ведет к снижению себестоимости продукции и, в конечном счете, повышению эффективности производства.

Кроме этого создание газовой смазки между ориентируемым предметом производства и несущей поверхностью устройства позволяет использовать данный класс оборудования для деталей, узлов и изделий, к которым предъявляются особые требования при манипулировании. К ним можно отнести изделия, выполненные из хрупких или особо чистых полупроводниковых материалов, с окрашенными поверхностями, пищевых штучных продуктов, медикаментов и т.п.

СИНТЕЗ МОНОКАРБИДА ВОЛЬФРАМА ИЗ ВОЛЬФРАМОВОГО АНИДРИДА

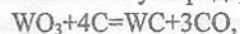
Азаренков Н.А., Алимов С.С., Бизюков А.А., Бобков В.В.,
Литовченко С.В., Чижика В.А.

(Харьковский госуниверситет, г. Харьков, Украина)

The results on wolfram monocarbide synthesis from wolfram anhydride) with the help of various methods are viewed. It is pointed that applications of vacuum-plasma technologies in industry for wolfram monocarbide production have good perspectives.

При производстве карбида вольфрама и твердых сплавов основным исходным материалом является трехокись вольфрама. В промышленном производстве наиболее часто трехокись вольфрама восстанавливают водородом до металла, а затем в смеси с сажей нагревом получают карбид вольфрама. Науглероживания состоит в том, чтобы получить содержание связанного углерода возможно ближе к теоретическому, а содержание свободного углерода, кислорода и азота по возможности низким. Безупречный технический карбид вольфрама содержит 6,1-6,15% С, в том числе 0,05-0,1% свободного, который необходим при подготовке и смешивании шихты WC-Co. Гораздо реже используется прямое получение карбида вольфрама из смесей трехокси вольфрама и углерода.

Нами для синтеза карбида использовались трехокись вольфрама и прокаленные сажа или графит при соотношении компонентов 5,37:1, т.е. около 90% теоретического количества углерода, отвечающего реакции



т.к. образующаяся окись углерода участвует в реакции науглероживания.

Смешивание компонентов шихты осуществлялось с применением водного раствора поливинилового спирта, т.к. в сухом виде из-за большой разности в плотности компоненты перемешиваются плохо.

Контейнер для синтеза карбида вольфрама изготовлен из графита. Нагрев шихты осуществлялся в вакууме при давлении $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. с перемешиванием во время синтеза.

Восстановление трехокси вольфрама углеродом начинается уже при 650°C. Сначала образуются низшие окислы вольфрама. Образование карбида вольфрама возможно при полном восстановлении окислов, которое осуществляется при температурах 1000-1050°C. Но только при температуре 1500°C получается продукт, свободный от кислорода. Синтез осуществлялся ступенчатым отжигом с выдержкой в течение 1 часа при тем-

пературе 1050-1100°C с последующим подъемом температуры до 1500°C со скоростью 50°/мин. и выдержкой при этой температуре 5 мин.

Получен порошок карбида вольфрама с размером частиц 0,5-15·10⁻⁶ м.

Рентгеновский анализ полученного порошка показал наличие кроме монокарбида вольфрама следов низшего карбида вольфрама, ликвидация которого может быть достигнута учетом точного состава присутствующих в реакционном объеме веществ и корректированием их соотношения.

Отработка режимов процесса и состава для получения карбида вольфрама проводилась на образцах небольшого объема весом до 10 г.

После отработки режимов лабораторный синтез карбида вольфрама осуществлялся на вакуумной установке СШВ -1.2,5/25И2 с рабочей камерой диаметром 100 мм и длиной 300 мм. Графитовый тигель имел внутренний диаметр 75 мм и длину 250 мм. Загрузка исходной шихты осуществлялась в количестве: WO₃ - 100 г, сажа - 18,6 г. В результате получено карбида вольфрама - 106 г, что хорошо согласуется с теоретическими расчетами.

Максимальная загрузка данного тигля составляет 3,5 кг. При этом необходима мощность печи 8,5 кВт. Время полного цикла получения карбида вольфрама составляет 4,5 часа, из них непосредственно синтез - 1,5 часа, нагрев-охлаждение - 3 часа.

При применении шлюзовых камер для ввода и вывода тиглей из рабочего пространства печей можно интенсифицировать процесс синтеза карбида вольфрама в 2 раза и получить производительность установки ~ 1,8 кг/час монокарбида вольфрама.

Высокие требования в указанной выше технологии получения карбида вольфрама из вольфрамового ангидрида к весовому соотношению реагентов и их массопереносу в процессе реакции послужили основанием для использования методов вакуумно-плазменных технологий. Были разработаны и апробированы следующие технологические операции.

В первом варианте было реализовано магнетронное распыление мишени пиролитического углерода. При этом осуществлялся массоперенос углерода на порошок трехокси вольфрама. Порошок с размером зерен в диапазоне от 100 до 5 мкм засыпался в специальное устройство, в котором создавался «кипящий слой» порошка. За время работы характер перемешивания порошка позволял проводить напыление углерода на поверхность его зерен с однородностью не хуже 15%. Углеродное покрытие имело адгезионную прочность на поверхности вольфрамового ангидрида намного превосходящую данную характеристику при обычном перемешивании шихты.

После получения необходимого весового соотношения реагентов проводились ранее описанные традиционные операции синтеза монокристалла вольфрама.

Контроль выходной продукции показал более высокие ее параметры по сравнению с предыдущими результатами.

Анализ разработок, имеющих у авторов данной работы, показывает на возможности создания компактной промышленной установки по нанесению углерода на зерна WO_3 с производительностью более 10 кг порошка в рабочую смену.

Во втором варианте в едином вакуумном цикле с помощью вакуумно-плазменной системы магнетронного нанесения и травления покрытий осуществляется следующий технологический процесс. Проводилось вакуумное ионно-плазменное нанесение углерода на зерна порошка триоксида вольфрама и вакуум-плазменный отжиг в электрическом газовом разряде. На следующем этапе производилось удаление излишков углеродного покрытия плазмохимическим травлением при масс-спектрометрическом контроле момента окончания данной операции. Такой технологический цикл обеспечивает высокую чистоту конечного продукта и не требует выполнения точного соотношения компонентов. Перемешивание порошка осуществляется тем же способом, что и в предыдущем варианте.

Проведенные оценки данной технологии показали возможность ее реализации в установке промышленного типа, но требуют дополнительных макетных испытаний и расчетов для определения их производительности.

ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ И ГАЗОВЫХ СРЕД

Азаров С.М., Ротина О.А.
(НИИ ИП с ОП БГ НПК ПМ, г. Минск, Беларусь)

The cermet filtering elements are developed, their operational properties are investigated at clearing liquid and gas media.

Использование современных технологий позволяет внедрять изделия высокого качества в различные области промышленности и тем самым расширить области производства. В 80-х годах в зарубежных и технических изданиях появились сведения об использовании металлокерамиче-

ских фильтров для микро- и ультрафильтрации жидкостей. Их появление на рынке вызвало значительный интерес благодаря ряду достоинств. Высокая надежность, прочность, химическая стойкость, способность к регенерации, стерилизации, долговечность - эти характеристики привлекли потребителя к новому виду фильтрационного материала.

В НИИ импульсных процессов с опытным производством Белорусского государственного научно-производственного концерна порошковой металлургии (НИИ ИП с ОП БГ НПК ПМ) разработаны металлокерамические пористые материалы. На их основе методом гидродинамического прессования изготавливаются крупногабаритные осесимметричные и сложной формы изделия - фильтрующие элементы. Привлекательность гидродинамического прессования определяется простотой, производительностью и малом риске получения брака. Традиционным материалом является порошок титана различных марок. На опытном производстве НИИ ИП освоено изготовление трубчатых фильтроэлементов различного диаметра и длины. Отработаны режимы прессования и спекания, при которых обеспечивается отсутствие трещин на поверхности и изменение геометрических размеров. Выявлены технологические параметры, позволяющие получать открытую пористость на уровне 35-37 % в сочетании с достаточной прочностью.

На основе разработанных фильтроэлементов сконструированы и изготовлены системы для очистки газов и жидкостей. При осушке газов используются элементы с размером пор от 100 до 150 мкм, что позволяет улавливать механические частицы, задерживать влагу и масло.

Во многих районах в настоящее время остро стоит вопрос об улучшении качества воды. Для решения этой проблемы также использовался разработанный материал, но структура его была усовершенствована путем создания на поверхности слоя с более мелкими порами 5 и 0,5 мкм. При этом удалось сохранить высокую производительность и повысить качество фильтрации. При очистке воды фильтроэлементы показали высокий процент улавливания механических примесей, полное задержание нерастворенного железа, уменьшение концентрации марганца и других примесей до уровня ПДК по ГОСТу «Вода питьевая». Производительность составила 0,5-1 т/(м²*час), ресурс работы 3000-4000 т/м², рабочее давление до 0,2 МПа.

Также исследовано влияние различных типов предфильтров на эксплуатационные характеристики. Проведенные эксперименты показали, что титановые фильтроэлементы легко регенерируются, не теряя при этом своих рабочих характеристик.

Результаты экспериментов по производительности фильтров и ре-

сурсу их работы при фильтрации воды представлены на рис. 1.

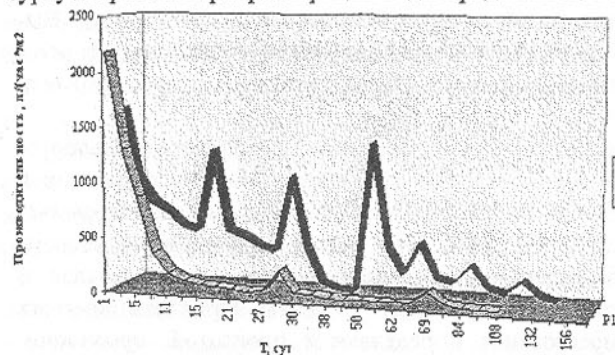


Рис. 1. Зависимость производительности металлокерамических фильтроэлементов от длительности эксплуатации. Ряд 1. Однослойный фильтроэлемент. Ряд 2. Многослойный фильтроэлемент.

изделий.

Список литературы: 1. Сивов А.В. Изготовление титановых фильтров. - В кн.: Сборник трудов Горьковского политехнического института им. А.А. Жданова, 1979, т.28, вып. 8. 2. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. - Л: Наука, 1985. 3. Фарсиянц С.Ю., Веричев Е.Н., Опалейчук Л.С. Керамические фильтры с мембранным покрытием. - Стекло и керамика, 1990, № 1, с. 23-24. 4. I. Redman. Ceramic Membrane Filter. - Chem. Engin. - 1988. - № 445. -P.15-16.

ДО ПИТАННЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ВІБРАЦІЙ СТАНКІВ ШЛЯХОМ ЇХ ПІДРЕСОРЮВАННЯ

Акопян Р. А. (Жешувська політехніка, м. Жешув, Польща)

The work presents some solutions considering vibration lowering for the benches (weaver, poligraphic etc.) when using known springing elements. It is recommended to use pneumatic resilient elements for their purpose with maximal known energetic capacity.

Вібрації та шум, які супроводжують роботу деяких типів станків, головним чином ткацьких, обумовлюють розробку заходів віброзахисту,

В последнее время ведутся разработки по созданию фильтрующих элементов из керамических материалов на базе местного сырья. Это позволит в значительной мере снизить стоимость производимых

які задовільняють вимогам нормальних умов роботи персоналу.

Значні можливості віброзахисту відкривають нові типи пружних елементів - пневматичні, гідропневматичні, гідравлічні, які з'явилися в останнє десятиріччя.

На рис.1 подана одна з перших розробок віброзахисту станків на основі одинарних пневматичних балонів та автоматичних регуляторів [3].

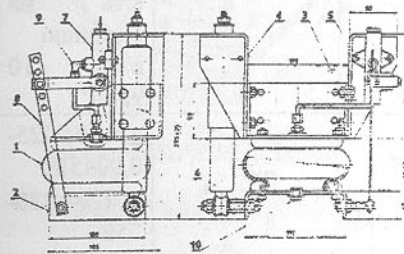


Рис. 1. Наблизенная схема установки для подресорювання станків: 1 - одинарный балон; 2 - фундаментная плита; 3 - кріплення амортизатора; 4 - кронштейн регулятора; 5 - амортизатор гідравлічний; 6 - трубка; 10 - пробка.

В таблиці 1 згруповані характеристики перспективних пружних елементів, які рекомендовані для віброзахисту станків. Якщо співставити енергомісткість листових ресор ($\Delta U = 7,6-11,5$), пружин ($\Delta U = 17,8-28$), торсіонів ($\Delta U = 25,4-38$) із приведеними в таблиці 1 енергомісткостями рекомендованих пружних елементів, то переваги останніх безумовні.

Подальше підвищення ефективності гасіння коливань станків можливо при використанні пневматичних демпферів замість

гідравлічних амортизаторів [1, 2].

На сьогодні відомі конструкції пневматичних демпферів, які працюють за принципом поділу об'ємів основної та допоміжної порожнини пневматичного пружинного елементу між собою, під час коливань на початку кожного ходу і наступного їхнього з'єднання в разі зміни напрямку руху. Реалізація названого принципу з достатньою ефективністю в підвісках станків утруднена через малі можливі об'єми додаткових порожнин. Окрім того, в цьому випадку, використання пневматичних демпферів можливе лише в підвісках з пневматичними елементами.

Спосіб дисипації енергії коливань станка на підвісці з пневматичним демпфером реалізують з допомогою пристрою (рис. 2), який має пневматичний циліндр 2, прикріплений до амортизованого об'єкту 1, шток 7, мембрана 3 яка поділяє внутрішню порожнину на дві порожнини А, В. Демпфування відбувається внаслідок перетікання повітря каналами 18, 19, 20, 23.

Таблиця 1.

Тип пружного елемента	Характеристика, Н	Жорсткість, Н/см	Теоретично необхідна вага ресори (кг) та питома енергомісткість на одиницю ваги 10 Н/см ³
Подвійний балон	$dP = \left[\frac{p\gamma S^2}{V_0 + V_p} - \int_0^f S df + (p-1) \frac{dS}{df} \right] df$	$c = \frac{p\gamma S^2}{V_0 + V_p} + (p-1) \frac{dS}{df}$	$g \approx (0,0025 - 0,0045)P$ $\Delta U = 120 - 250$
Гідравлічний пружний елемент	$dP = \frac{FE}{h_0} df$	$c = \frac{F^2 E}{V_0}$	$g \approx (0,017 - 0,035)P$ $\Delta U = 40 - 55$
Пневмогідравлічний пружний елемент	$dP = \left[\frac{pV_{жс} \left(1 - \frac{p}{E}\right) + 1}{\frac{pV_{жс}}{p_0V_0} + \frac{E}{p}} \right] \frac{EF}{f_0} df$	$c = \frac{EF}{f} * \frac{pV_{жс} \left(1 - \frac{p}{E}\right) + 1}{\frac{pV_{жс}}{p_0V_0} + \frac{E}{p}}$	$g \approx (0,012 - 0,025)P$ $\Delta U = 70 - 90$

Під час перекриття каналів 18, 20 шайбою 21 на ході стиску відбувається стиск повітря в порожнині Б. Випробування демпферів такого типу підтвердили можливість виключення із системи підресорювання гідравлічних амортизаторів без помітного зниження ефективності гасіння коливань (рис. 3).

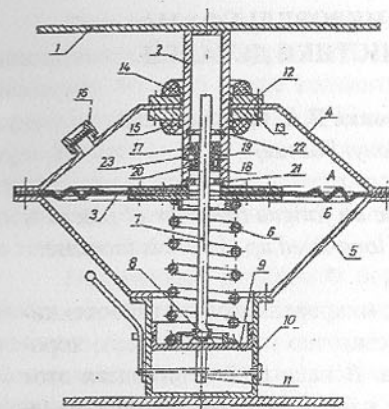


Рис. 2. Схема демпфера.

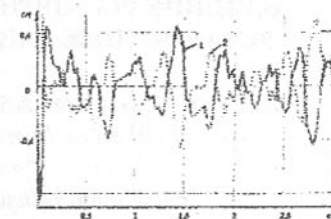


Рис. 3. Характеристики коливань станка з пневматичним підресорюванням: 1 - з гідравлічним амортизатором; 2 - з демпфером.

Подальшим розвитком принципів пневматичного демпфування є не лише розробка заходів відсікання повітря, що перебуває в додатковій порожнині, а й створення умов, за яких цей газ буде здійснювати під час ходу підвіски роботу проти переміщення об'єкта віброзахисту. В подальшому, як і в попередньому випадку, дисипація енергії коливань здійснюється шляхом з'єднання між собою основної та додаткової порожнини пневматичного пружного елемента в момент зміни напрямку руху та вирівнювання тиску в останніх.

Це дає змогу підвищити ефективність вбудованих демпфувальних систем у пневматичну підвіску (незважаючи на малі об'єми додаткових порожнин), а також реалізувати конструкції пневматичних демпферів, придатних для використання у підвісках з будь-якими видами пружних елементів. Залежно від конструктивного виконання може бути реалізована симетрична і несиметрична характеристики демпфування.

Список літератури: 1. Акопян Р.А. Способ дисипации энергии колебаний объекта на подвеске с пневматическим демпфером. А.с. 1486654 СССР // Бюл. Изобр. 1989, № 22. 2. Akopjan R. Charakterystyka konstrukcji i technologia gumowa-kurdowych elementow sprzytych - «Technika i technologia montazu maszyn. Materiały 3 konferencji Naukowo-Technicznej - 1997. Rzeszow-Jawor, 199. s. 145-149. 3. Krejcir O. Pneumatika vobroisolate: Doktorska disertacni prace. - Liberec. 1986 - 223 s.

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА НА УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ

Аксенов В.Н. Бабичев А.П. Семченко В.А. Шевцов С.Н.
(ДГТУ, г. Ростов на Дону, Россия)

The influence of regular microrelief of surface on fatigue behavior of pieces is studied. The rise strength residual stresses of long-lived up to 40% is increase.

Положительное влияние регулярных микрорельефов на триботехнические свойства поверхностей изделий достаточно известный факт, хорошо описанный в работах Ю.Г. Шнейдера. В наших экспериментах этот факт тоже нашел свое подтверждение. Так например, у пар трения с нанесенным РМР инструментом ШСУ, интенсивность износа значительно быстрее стабилизируется и составляет 50-80% износа точеной поверхности при одинаковых нагрузках и путях трения, а критическая нагрузка задиробразования увеличилась на 30-50%. Однако многие детали пар трения функционально испытывают циклические и комбинированные нагрузки (валы, торсионы, плунжеры и т.п.). В связи с этим возникает вопрос о влиянии регулярного микрорельефа, элементы которого могут рассматриваться как концентраторы напряжений, на усталостные свойства циклически нагружаемых деталей.

Для определения степени влияния РМР полученного методом ППД на усталостные характеристики деталей были проведены испытания стальных образцов на усталость. Схема испытания предусматривала поперечный изгиб с симметричным циклом жесткого (кинематического) нагружения. Геометрические размеры образцов и схема их установки выполнены с учетом параметров усталостной машины МУИ.

Испытанию подвергались образцы из стали 40ХНС2МА четырех типов:

1. Исходные после фрезерования R_a 1.6;
2. Обработанные ШСУ с нанесенными на поверхность концентратора продольными бороздами (ширина борозд 1мм, шаг между бороздами 3мм, радиус закругления дна 4мм;
3. Обработанные ШСУ с нанесенными на поверхность концентратора регулярными лунками (шаг лунок 3мм, диаметр лунок 1.4мм радиус закругления дна 4мм;
4. Обработанные в контейнере вибрационного станка полированными стальными шариками (время обработки 1.5 часа, шероховатость R_a 0.64.

Регулярные микрорельефы на поверхность образцов были нанесены инструментом ШСУ используя привод фрезерного станка. Так борозды наносили по всей длине концентратора вдоль образца при непрерывной продольной подаче стола $S=13\text{мм/мин}$ с частотой 40Гц. Лунки наносили при фиксированном расположении ШСУ относительно образца так, что пучок перекрывал всю поверхность концентратора. Формирование лунок осуществлялось стержнями с радиусом наконечника 4мм с частотой 40Гц в течении 30сек.

Полученные результаты показывают существенный рост долговечности образцов параллельно с увеличением разброса результатов. Однако увеличение разброса показателей долговечности произошло за счет образцов показавших почти в два раза большую долговечность. Так для образцов не подвергшихся ни какой обработки величина долговечности составила 22мин, а амплитуда рассеяния 2мин. Для образцов же поверхность которых была обработана ШСУ долговечность выросла до 35мин (РМР- борозды) и до 27мин (РМР- лунки), а амплитуда рассеяния до 5мин.

Усталостная долговечность (мин) образцов из стали 40ХНС2МА при консольном поперечном изгибе с напряжением 40 Дан/кв.мм.



Также следует отметить повышение долговечности образцов с нанесенным РМР по сравнению с образцами подвергшихся упрочняющей вибрационной обработки в среде закаленных стальных шариков $\varnothing 8\text{мм}$. Как отмечалось ранее в исследованиях А.П. Бабичева, посвященных улучшению усталостных свойств стальных деталей после отделочно-упрочняющей вибрационной обработки, наблюдается устойчивое повышение долговечности и снижение ее разброса за счет улучшения шероховатости поверхности, создания упрочненного приповерхностного слоя и сжимающих остаточных напряжений. Анализируя полученные результаты (долговечность образцов с нанесенными РМР- бороздами выше виброобработанных на 15-25%, а шероховатость и прочность большей части поверхности концентратора не изменилась после нанесения РМР) можно сделать вывод о том, что основное влияние на существенное повышение долговечности образцов (на 40-60%) оказало создание интенсивных сжимающих остаточных напряжений у поверхности концентратора. Характерно, что создающая напряжения картина борозд в некотором смысле подобна структуре композитного материала.

Список литературы: 1. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. Изд. 2-е, перераб и доп. М., "Машиностроение", 1974. 134 с. с ил. 2. Шнейдер Ю.Г. Вибрационное обкатывание. (Результаты и перспективы внедрения). Л., (Ленингр. Организация о-ва "Знание" РСФСР, ЛДНТП), 1974. (- 44 с. с черт.).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Александров Е.Е., Отман А., Сила Т.А. (ХГПУ, г. Харьков, Украина)

The experimental research of diesel-generator energetic experimental installation is considered.

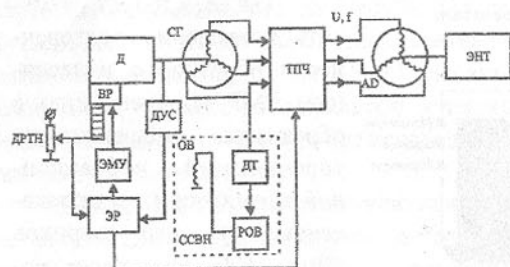


Рис.1. Дизель-генераторная энергетическая установка в составе экспериментального стенда: Д - дизель; СГ - синхронный генератор; ВР - всережимный регулятор; ДРТН - датчик рейки топливного насоса; ДУС - датчик угловой скорости; ЭР - электронный регулятор; ЭГУ - электрогидравлический усилитель; ССВН - система стабилизации выходного напряжения; ДТ - датчик тока нагрузки; РОВ - регулятор обмотки возбуждения; ОБ - обмотка возбуждения; ТПЧ - тиристорный преобразователь частоты; АД - асинхронный электродвигатель; ЭНТ - электрический нагрузочный тормоз.

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований дизель-генераторной энергетической установки (ДГУ), описанной в [1]. Схема экспериментального стенда представлена на рис.1.

В качестве силовых агрегатов в ДГУ используются дефорсированные по частоте вращения дизели 5ТДФ и 6ТД. Коленчатый вал дизеля соединен с ротором синхронного генератора ГСФ-200. Постоянство напряжения при переменной нагрузке достигается системой стабилизации выходного напряжения (ССВН), содержащей датчик тока нагрузки (ДТ) и регулятор обмотки возбуждения (РОВ), а постоянство частоты выход-

ного напряжения достигается за счет постоянства угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя при постоянной настройке всережимного регулятора топливоподачи (ВР).

Недостатки рассмотренной ДГУ состоят в следующем:

- высокая степень неравномерности механического всережимного регулятора топливоподачи приводит к нестабильности частоты выходного напряжения в условиях переменной нагрузки;
- высокая колебательность системы топливоподачи, обусловленная использованием центробежного чувствительного элемента в качестве измерителя угловой скорости коленчатого вала дизеля, приводит к повышенному расходу топлива.

С целью уменьшения расхода топлива и повышения стабильности частоты вырабатываемого напряжения в ДГУ введен тиристорный преобразователь частоты (ТПЧ), а также электронный регулятор, управляющий системой топливоподачи и тиристорным преобразователем частоты. Чувствительными элементами регулятора являются датчик угловой скорости коленчатого вала двигателя (ДУС) и датчик рейки топливного насоса (ДРТН). ДУС представляет собой тахогенератор переменного тока (ТГ) с диодным выпрямителем (ДВ), а ДРТН представляет собой потенциометр, движок которого механически связан с рейкой топливного насоса дизеля. Выходы ДУС и ДРТН связаны со входами электронного блока (ЭБ), формирующего сигналы управления, подаваемые на входы ТПЧ и электрогидравлического усилителя (ЭГУ), выходной шток которого связан с органом настройки всережимного регулятора дизеля (рис.1).

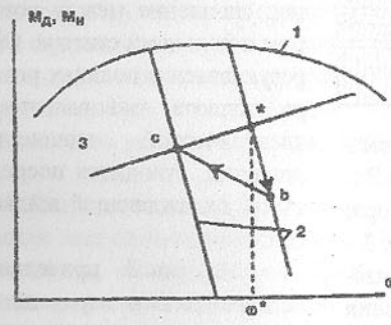


Рис.2. Характеристика дизеля: 1 - внешняя; 2 - регуляторная; 3 - минимального расхода топлива.

Изменение нагрузки в электрической сети приводит к изменению нагрузки на коленчатом валу дизеля [2] и к уходу рабочей точки по регуляторной характеристике 2 к характеристике минимального расхода топлива 3 в положение b.

При этом изменяется угловая скорость коленчатого вала, а, следовательно, и частота вырабатываемого напряжения, а также повышается расход топлива. Для возвращения рабочей точки в исходное положение следует изменить момент нагрузки на коленчатом валу, приведя его к прежнему значению. Это может быть достигнуто изменением настройки ТПЧ, однако такое изменение настройки приведет к значительному изменению частоты вырабатываемого напряжения. Для сохранения стабильной частоты вырабатываемого напряжения следует изменить угловую скорость вращения коленчатого вала, что и достигается изменением настройки всережимного регулятора дизеля [3]. При этом рабочая точка переходит в положение с, т.е. возвращается на характеристику минимального расхода топлива 3, но при новой настройке всережимного регулятора топливopодачи.

Экспериментальный стенд, представленный на рис.1 в качестве имитатора электрической нагрузки включает асинхронный электродвигатель

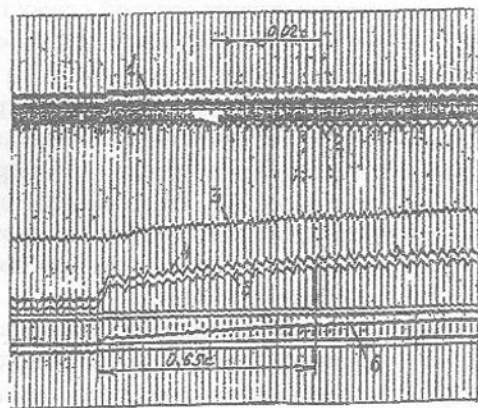


Рис.3. Оциллограмма переходного процесса при наборе нагрузки в 55,2 кВт: 1 - эффективное напряжение генератора; 2 - частота генерируемого напряжения; 3 - угловая скорость коленчатого вала дизеля; 4 - величина эффективного значения тока генератора; 5 - перемещение рейки топливного насоса дизеля; 6 - величина тока возбуждения генератора.

сокой точности поддержания частоты и напряжения генерируемой электроэнергии.

АД, ротор которого механически связан с валом электрического нагрузочного тормоза типа С-350 SS фирмы ЦЕЛЬНЕР (Германия). ЭТН работает по принципу вихревых токов, индуцируемых в кольцах статора специальной катушкой возбуждения и создающих магнитное сцепление между ротором и кольцами статора. Образующаяся в кольцах ротора теплота, эквивалентная электрической мощности нагрузки, отводится посредством охлаждающей жидкости.

На рис.3 приведены оциллограммы переходных процессов при возрастании электрической нагрузки. Анализ оциллограмм позволяет сделать вывод о вы-

Список литературы: 1. Александров Е.Е., Отман А. Дизель-генераторная энергетическая установка // Вестник ХПТУ Місто САД'97. - Харьков: 1997. - с.220-222. 2. Александров Е.Е., Епифанов В.В. Электрические и электромеханические трансмиссии самоходных гусеничных машин. - К: УМК ВО, 1988. - 48с. 3. Александров Е.Е., Борисюк М.Д., Кононенко В.А. Автоматизированное управление бесступенчатыми трансмиссиями и механизмами поворота гусеничных машин. - Харьков: ХПТУ, 1995.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ШАХТЫ

Ализаев Г.Т., Артемов А.Ю., Шкуматов А.Н., Гончаренко А.А.
(ПО Донецкуголь, ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

When destroying the objects, explosive and non-explosive technologies are used. Special place is taken by the cumulative explosion. Electrothermal, SHF, discharge impulse technologies belong to the non-explosive technologies. Their use noticeably reduces the expenses for restructurization of the mine.

При выполнении работ по разрушению объектов на поверхности в период реструктуризации шахты возникает необходимость применения специальных методов их ведения. Объекты разнообразны по своей конструкции. Часто они находятся вблизи агрегатов, которые нельзя остановить из-за непрерывности технологического процесса. Поэтому рыхлавание фундаментов, обрушение сооружений, разрушение металлических конструкций в сложных условиях шахтного производства требует применения специальных (отличных от используемых в подземных условиях) технологий разрушения. При этом необходимо принятие дополнительных мер по предотвращению разлета осколков, защите людей, укрытию коммуникаций и др.

Для рыхлавания массивов или перебивания конструкций применяют плоские или специальные заряды. Особое место среди них занимаюткумулятивные, имеющие специальную форму, обеспечивающую их направленное действие. Разработанный ряд оригинальных устройств позволяет изменить направление движения 10-50% объема газов взрыва. В результате становится возможным селективное дробление конструкций переменной прочности и сложной конструкции. Одновременно воздействие на окружающие объекты становится щадящим [1]. Разработанные технические решения защищены авторскими свидетельствами. Областью их применения может являться также сварка взрывом для получения композиции ме-

таллов, не соединяемых обычным способом. Это плакирование заготовок и деталей, толстых листов, труб, поковок для дальнейшей прокатки и волочения.

При штамповке металлов взрывом не нужны мощные дорогостоящие прессы. В этом случае можно создавать очень большие давления, что позволяет формировать изделия практически неограниченных размеров и с высокой точностью. Кроме этого, можно совмещать операции штамповки с другими операциями (отбойка, гибка, пробивка отверстий).

В период реконструкции поверхности шахты представляют интерес нетрадиционные технологии дробления и разрушения массивов. Под ними понимают невзрывное и немеханическое воздействие на объекты. При этом применяется электромагнитная энергия в диапазоне от 0 до 10^{15} Гц при длительности воздействия от 10^{-4} до 10^3 с.

К нетрадиционным методам, прошедшим опытно-промышленную проверку, относятся электротермический, сверхвысокочастотный, разрядно-импульсный и др. Их общим достоинством является управляемость. Влияние тепловых и волновых процессов приводит к бризантному характеру воздействия и практически полному отсутствию смещения разрушенных частей. Интенсивное поглощение энергии при ее рассредоточенности по длине источника и образующийся цилиндрический фронт волн обуславливает локализацию воздействия узкой зоной незначительного распространения в глубь массива. Это определяет избирательность разрушающего воздействия и возможность сочетания зон разрушения и охраняемых.

С учетом изложенного применение перечисленных методов в период реструктуризации шахты представляется весьма перспективным, т.к. значительно упрощаются условия эксплуатации по сравнению со взрывными работами (отпадает необходимость согласований с различными службами). Значительно возрастает безопасность выполнения работ, отсутствует сейсмический эффект и газы взрыва.

Расчеты показали, что использование различных специальных и нетрадиционных технологий, а также их комбинаций при разрушении (дроблении) объектов на шахтной поверхности сокращает трудоемкость и стоимость выполняемых работ на 10-15% в сравнении с обычными способами.

Список литературы: 1. Гудзь А.Г., Шкуматов А.Н. Горное машиностроение - основа прогрессивной технологии буровзрывных работ. Тез. докл. междунар. научн.-техн. конф. Прогрессивная техника и технологии машиностроения. - Донецк: ДонГТУ, 1995. - с.65-66.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ "ТЕХНОЛОГИЯ-БРИГАДА" ПРИ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ШАХТ

Ализаев Г.Т., Шкуматов А.Н., Залмаев Н.Ю.
(ПО Донецкуголь, ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

At present the optimization of social parameters is becoming one of the main reserves of production indexes. The use of progressive mathematical methods and controlling effects reduces expenses for the driving of underground workings that increases competitiveness of Ukrainian coal.

Рассматривая влияние человека на технологию, а также его взаимосвязи с применяемыми технологическими схемами, следует отметить, что на необходимость комплексного подхода к производственным процессам указано в классической литературе основоположниками экономических теорий. Комплексный подход предполагает учет совокупного влияния природных, технических, экономических условий и социальных факторов. При развитом машинном производстве, где квалификация, техническая зрелость и ответственность кадров выступают на передний план, эти (социальные) факторы становятся одним из главных резервов улучшения технико-экономических показателей.

До настоящего времени все существующие технологические схемы проведения горных выработок для конкретных горно-геологических и технических условий предусматривают определенный набор оборудования и указывают необходимое число проходчиков, что является недостаточным. Постоянное усложнение техники предъявляет все более высокие требования к профессиональным и квалификационным качествам человека-оператора. Ведь тарификационный разряд, присвоенный рабочему, нередко довольно приблизительно отражает фактическую квалификацию и качество его труда. На современном этапе развития горнопроходческих работ рассмотрение технологии в отрыве от применяющей ее проходческой бригады является одной из важнейших причин, сдерживающих стабилизацию и улучшение технико-экономических показателей проведения горных выработок, что сказывается на конкурентоспособности украинского угля.

Обработка массивов исходных данных, собранных по специально разработанной анкете при помощи метода группового учета аргументов (МГУА) позволила отобрать из 150 горно-геологических, технических, организационных и социальных факторов 12, наиболее существенно влияющих на производительность труда. Применение МГУА позволило

свести к минимуму вмешательство человека в процесс создания математических моделей и повысило их точность. Метод предлагает многоступенчатую иерархическую структуру образования модели с отсеком малоинформативных факторов на каждом пороге отбора. Из принимающих участие в расчете факторов формируют C_2^m опорных полинома вида

$$A_i = c_{1i} + c_{2i} \times FAN_i + c_{3i} \times FAN_j + c_{4i} \times FAN_l \times FAN_j$$

Вычисления продолжают до тех пор, пока уменьшается пороговое значение критерия регулярности (соответствия расчетных и фактических значений прогнозируемой функции A_i). Числовые коэффициенты, степень вошедших в расчет факторов выбираются автоматически, представляя собой модель оптимальной сложности.

Вычислительные аспекты расчета и прогнозирования технико-экономических показателей горнопроходческих работ реализованы в пакете программ, имеющихся на кафедре "Строительство шахт и подземных сооружений" ДонГТУ [1].

Результаты исследований были апробированы на ряде шахт ПО Донецкуголь. Для конкретных горно-геологических и технических условий подбирались рациональный комплект оборудования и бригада, способная его с максимальной эффективностью эксплуатировать на каждом этапе сооружения горной выработки.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения полученных разработок составит до 10 грн/м.

Список литературы: 1. Шкуматов А.Н. Математическое моделирование показателей горнопроходческих работ. Сб. науч. тр. МакНИИ - ДПИ. Совершенствование технологии строительства горных предприятий. - Донецк: ЦБНТИ, 1992, с.14-17.

ТЕПЛОТДАЧА ДИСПЕРСНОГО ПОТОКА В СОПЛАХ В УСЛОВИЯХ ВДУВА

Антипин М.К., Тарасевич С.Э., Филин В.А., Шукин В.К.
(КТУ - КАИ, г. Казань, Россия)

In this paper we present results of experimental study of dispersible flow heat transfer (gas - solid particles of an aluminium oxide) in conditions of a gas (air) injection in the flat asymmetric nozzle. The experimental results are analysing and generalised.

Объектом исследования служил экспериментальный участок, пред-

ставляющий собой асимметричный суживающийся плоский канал (рис. 1). На наклонной образующей канала устанавливался пакет с пористой пластиной, конструкция которого позволяла определять локальные коэффициенты теплоотдачи в шести сечениях по длине.

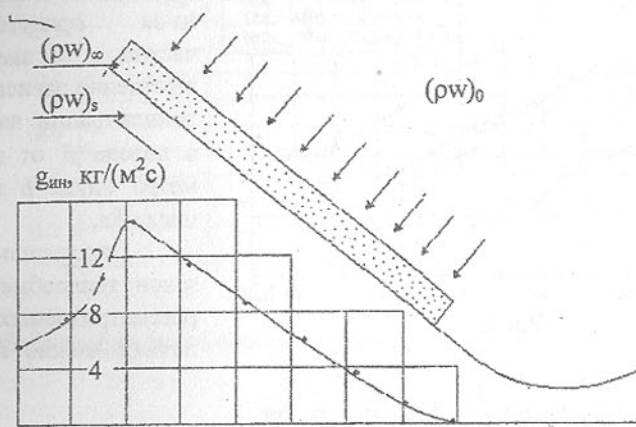


Рис.1.

Условия проведения экспериментов были следующими: соотношение плотностей массовых расходов двухазного $(\rho w)_0$ и основного $(\rho w)_\infty$ газовых потоков $b = 0,003...0,02$; соотношение плотностей массовых расходов твердых частиц окиси алюминия $(\rho w)_s$ и газа основного потока $(\rho w)_\infty$ $\beta = 0,315...1,014$; температура газа $T_z = 424...644$ К; число Re , вычисляемое по эквивалентному диаметру на входе в канал $Re = (1,02...1,93) \cdot 10^5$; число Re , построенное по толщине потери энергии $Re_t^* = 94...12041$.

Представление об уровне инерционных потоков частиц, выпадающих на поверхность стенки, $g_{ин}$ и характере его изменения по длине сопла для одного из экспериментов ($Re = 8,73 \cdot 10^4$; $\beta = 0,67$; $b = 0$) можно составить по графику на рис. 1.

Некоторые результаты опытов приведены на рис. 2.

Здесь St_g^b - число Стентона для дисперсного потока в условиях вдува; St_o^b - число Стентона для однородного (без частиц) газового потока в условиях вдува.

Сопоставление опытных данных на рис. 2 показывает, что при вдуве газа в пограничный слой дисперсного потока наблюдается снижение теплоотдачи по сравнению с теплоотдачей дисперсного потока на непроницаемой поверхности. Тем не менее присутствие частиц в потоке приводит к заметному ослаблению теплозащитных свойств вдува и сильному увеличению теплоотдачи на поверхности пластины. Как показывает анализ

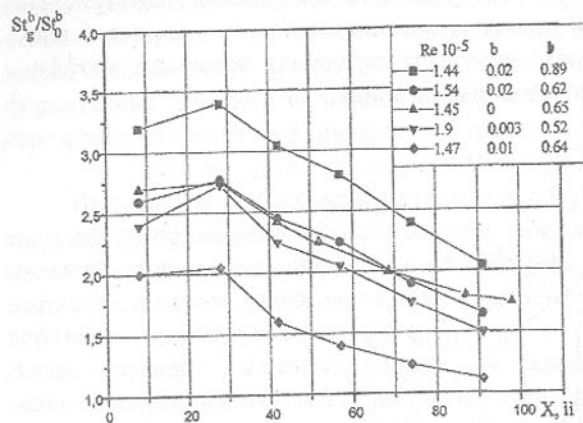


Рис.2.

опытных данных, приведенных на рис. 2, увеличение интенсивности теплоотдачи из-за присутствия частиц в потоке существенно зависит от концентрации частиц в потоке β , от параметра вдува b и от числа Re .

Относительный закон теплообмена в рассматриваемых условиях можно пред-

ставить в виде

$$\left(St_g^b / St_o^b\right)_{Re^{**}} = \Psi_{\Sigma} \Psi_{g_2} \Psi_{gm} \Psi_{bg}. \quad (1)$$

Здесь St_g^b - число Стентона дисперсного потока в условиях вдува; St_o^b - число Стентона в "стандартных" условиях; Ψ_{Σ} - функция, отражающая влияние предвключенного участка, неизотермичности, шероховатости, ускорения потока; Ψ_{g_2} - поправка, учитывающая возмущающее воздействие частиц на газовую среду при их инерционном перемещении к поверхности стенки при отсутствии вдува; Ψ_{gm} - поправка, учитывающая пульсационное воздействие частиц на газовую среду; Ψ_{bg} - поправка, учитывающая наличие частиц в условиях вдува.

В соответствии с относительным законом (1) величина поправки Ψ_{bg} может быть найдена из соотношения

$$\Psi_{bg} = (St_g^b / St_o^b) / (\Psi_{g_2} \Psi_{gm}), \quad (2)$$

где St_g^b / St_o^b - устанавливается на основе экспериментов (см. рис. 2).

Анализ показал, что обобщение опытных данных может быть выполнено с использованием безразмерного комплекса $b_g = b/(1+\beta)$, представляющего собой отношение плотности массового расхода вдуваемого воздуха к суммарной плотности массовых расходов газового потока и конденсированных частиц.

Результаты обобщения опытных данных представлены на рис. 3.

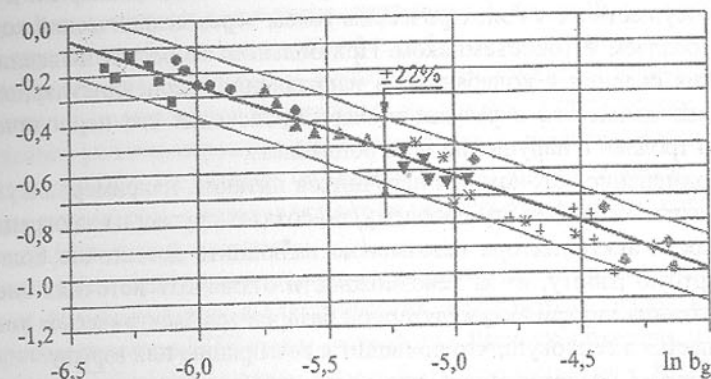


Рис.3.

Обобщающая зависимость имеет вид

$$\frac{\Psi_{bg}}{\Psi_{g_2} \Psi_{gm}} = 1 - 0,177 b_g^{-0,25} \quad (3)$$

и справедлива в диапазоне изменения комплекса b_g от 0,0013 до 0,017.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАК ЭЛЕМЕНТ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

Апухтин А.С., Чашко М.В. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

Utilization of a mechanical contact for locomotive traction and for electrical supply limited transport's productivity. Change during and space magnetic field capable of transference energy electrical locomotive and create traction without mechanical contact.

Работа посвящена повышению производительности транспортных машин, в частности, рудничных электровозов за счет применения магнитного поля вместо механического контакта. Актуальность темы обусловлена тем, что механический контакт между рельсом и колесом, используемый в настоящее время для создания тягового усилия, подошел к пределу своих возможностей. Производительность транспортной машины равна произведению её скорости на массу транспортируемого груза. Для достижения высокой скорости необходимо большое ускорение, то есть, большое тяговое усилие, которое создается сцеплением колеса с рельсом и не превышает 40% силы тяжести электровоза. Транспортирование груза большой массы требует преодоления большого сопротивления движению, то есть, опять же большого тягового усилия, ограниченного сцеплением.

Но существует еще один аспект проблемы. Подвод энергии к электровозу осуществляется электрическим током через механический контакт между троллеем и токосъемником. При больших скоростях движения токосъемник склонен к колебаниям в направлении, перпендикулярном направлению движения, в результате чего происходит его периодический отрыв от троллея и нарушение электропитания.

Применение автономных источников питания, например, аккумуляторов, частично решает эту проблему, но создает другие: из-за ограниченной ёмкости аккумулятора невозможно выполнить достаточно большую транспортную работу, из-за невозможности отключить источник энергии при замыкании внутри аккумуляторной батареи вся электрическая энергия превращается в тепловую, что приводит к возгоранию или взрыву.

Авторам представляется, что указанные проблемы можно решить применением магнитного поля вместо механического контакта: тяговое усилие создавать бегущим магнитным потоком с помощью линейного асинхронного двигателя, а энергию передавать от троллея к электровозу магнитным потоком, изменяющемся во времени. К настоящему времени в ДонГТУ выполнен ряд работ в этих направлениях, в результате которых сложилась концепция транспортного средства, не использующего механический контакт для своего функционирования. Цель данного сообщения - представить эту концепцию.

Транспортное средство (рис. 1) содержит тяговую линию 1, по которой проходит электрический ток промышленной частоты, создающий вокруг тяговой линии 1 магнитный поток, изменяющийся во времени, энергоприемник 2, преобразующий энергию магнитного потока в энергию электрического тока (Φ/I), собственно транспортное средство 3, локомотив или моторвагон, линейный двигатель 4, в котором электрический ток создает бегущее магнитное поле (I/Φ), проводник 5, в котором индуцируются токи I , взаимодействующие с магнитным потоком (Φ/F).

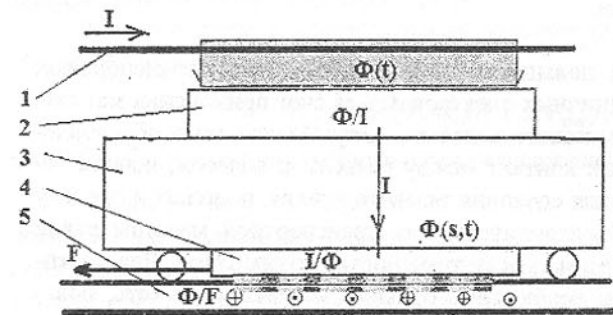


Рис. 1. Бесконтактное транспортное средство с разделенными элементами приема и реализации энергии.

Устройство

действует так. Изменяющийся во времени магнитный поток вокруг тяговой линии 1 индуцирует ток в энергоприемнике 2, который в транспортном средстве 3 преобразуется в многофазный ток, способный создать бегущее магнитное поле в линейном двигателе 4. В результате взаимодействия магнитного поля с индуцированными им токами в проводнике 5 возникает тяговое усилие, перемещающее транспортное средство. В результате передача энергии не зависит от механического контакта между токосъемником и троллеем, а тяговое усилие не зависит от механического контакта между рельсами и колесами.

Современная полупроводниковая техника позволяет реализовать необходимые преобразования в электрических и магнитных цепях, ключевым вопросом является КПД такого устройства. Расчеты показали, что передача энергии магнитным полем может быть осуществлена с КПД 0,6-0,7. КПД преобразования бегущего магнитного поля в тяговое усилие существенно зависит от скорости движения, при высоких (десятки метров в секунду) скоростях может быть достигнут КПД 0,6-0,8. Следовательно, описанное транспортное средство может работать с КПД 0,3-0,5, то есть того же порядка, что и существующие электровозы.

В развитие идей, изложенных выше, разрабатывается транспортное средство, совмещающее в одном конструктивном элементе энергоприемник и линейный двигатель.

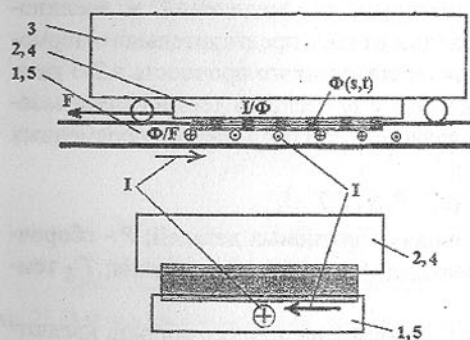


Рис. 2. Бесконтактное транспортное средство с общим элементом приема и реализации энергии.

Устройство действует так. Изменяющийся во времени магнитный поток вокруг тяговой линии 1 индуцирует ток в энергоприемнике 2, который в транспортном средстве преобразуется в многофазный ток, способный создать бегущее магнитное поле. В результате взаимодействия магнитного поля с индуцированными им токами возникает тяговое усилие, перемещающее транспортное средство.

щающее транспортное средство 3. Преобразование магнитного поля тяговой линии в бегущее магнитное поле может быть выполнено либо коммутацией индуктированного тока, либо непосредственно коммутацией магнитного потока.

В результате производительность транспортирования повышается благодаря тому, что передача электрической энергии и преобразование ее в механическую энергию перемещения груза не зависят от механического контакта между токосъемником и троллеем и механического контакта между колесами и рельсом.

БАЗИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ

Арпентьев Б.М., Чепурко И.П. (УИПА, г. Харьков, Украина)

The temperature deformations of basing devices appear when the temperature influences to the devices during of the connections assembly. The errors of basing reduce probability of assembly. They can be taken into account if to determine the temperature and the deformation of the basing device by use of modeling on the computer with the numerical methods.

Для тяжело нагруженных ответственных соединений в машиностроении применяется сборка с использованием предварительного термовоздействия на детали, повышающая их статическую прочность в 2-3 раза. Непосредственно сборка осуществляется с временным термическим зазором. В общем случае его величина является функцией многих переменных [1]:

$$\Delta = F(d, l, P, N, f, T \dots),$$

где d и l - посадочный диаметр и длина сопрягаемых деталей; P - сборочное усилие, N - сила нормальной реакции; f - коэффициент трения; T - температура.

Одним из главных факторов, влияющих на процесс сборки, являются температурные изменения в деталях и сборочных базировочных устройствах. Если при определении погрешности базирования при обычной сборке не учитывается температура, то температурные воздействия нагретых или охлажденных деталей дают существенные отклонения формы базировочных устройств. Величина деформации зависит от температуры детали, ритма ее подачи и времени нахождения на сборочной позиции. Влияет также способ базирования детали - сильно нагретой или менее нагретой частью. Следует стремиться к тому, чтобы нагретая или охлажденная де-

таль минимально передавала тепло в базировочное устройство.

При ритмичной работе оборудования тепловой режим элементов базировочного устройства за счет периодичности установки на них нагретых или охлажденных деталей квазистационарный. Непосредственно перед сборкой время нахождения детали на базировочном устройстве недостаточно для того, чтобы его температура приблизилась к температуре детали. Но вследствие периодического соприкосновения с нагретыми деталями температура растет (с охлажденными - уменьшается), и через определенное количество циклов работы наступает переменное тепловое равновесие. Оно характеризуется тем, что температурные деформации базировочного устройства в начале и в конце цикла постоянны. Максимальной величины они достигают непосредственно перед процессом сопряжения деталей, а после съема нагретой или охлажденной детали с базировочного устройства его температура приближается к температуре окружающей среды до момента наступления следующего цикла.

Температурные деформации изменяют относительное расположение осей собираемых деталей, снижая вероятность сборки. Для компенсации температурных погрешностей необходимо знать время наступления теплового равновесия и амплитуду колебаний температурных деформаций.

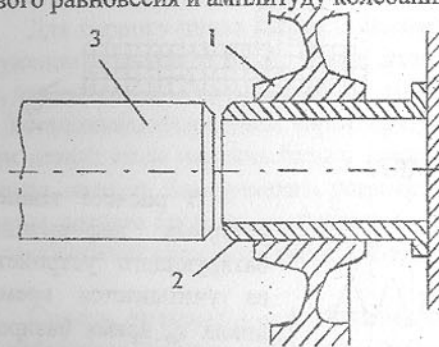


Рис.1. Схема базирования детали.

Типичным примером базирования нагретой охватывающей детали на центрирующей втулке является устройство для горизонтальной сборки колес с осью колесных пар тепловозов. Схема базирования (рис. 1) предусматривает установку центра колеса 1 с посадочным диаметром 115 мм на центрирующей втулке 2. Втулка располагается так, что верхний уровень ее посадочной поверхности совпадает с верхним уровнем посадочной поверхности оси 3. Чтобы обеспечить свободную установку детали (центра колеса) на базировочное устройство такого типа, диаметр центрирующей втулки должен быть меньше посадочного диаметра колеса на 3-5 мм.

Температурную погрешность базирования можно определить по температурному полю системы деталь-база. Процесс распространения тепла в неподвижной среде описывается уравнением теплопроводности [2]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2},$$

где θ - температура данной точки детали в данный момент времени; Z и R - безразмерные координаты; Fo - критерий Фурье.

В качестве численного метода решения дифференциальных уравнений теплопроводности используется метод конечных разностей (МКР). Алгоритм решения задачи на ЭВМ предусматривает: выбор плоского сечения системы контактирующих тел, определение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, граничных условий для каждого тела системы и начального распределения температур. На сечение, например, зубчатое колесо - втулка, накладывается плоская сетка размером, равным габаритным размерам сечения по соответствующим координатам (рис.2а). Полученный контур фигуры аппроксимирует исходную модель с определенной точностью (рис. 2б).

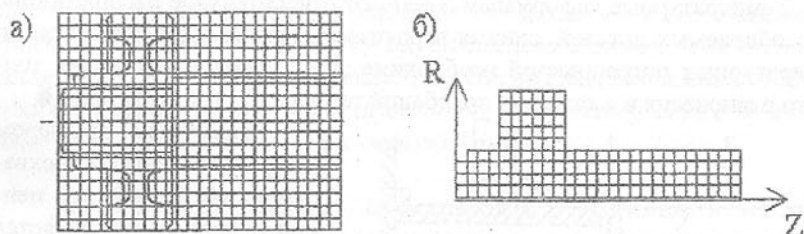


Рис.2. Генерирование модели МКР.

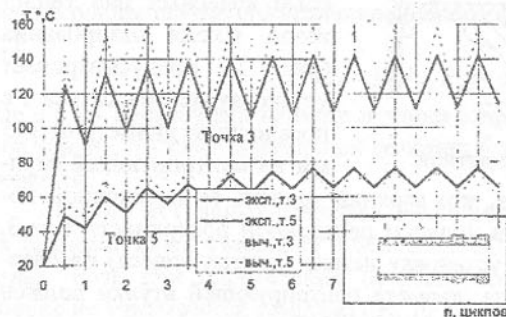


Рис. 3. Изменение температур центрирующей втулки.

В расчете температурных деформаций базировочного устройства учитывается время цикла $\tau_{\text{ц}}$, время базирования нагретой детали в базировочном приспособлении $\tau_{\text{б}}$ и такт выпуска собранных узлов $\tau_{\text{тк}}$. В результате решения получаем графическую зависимость температур или температурных деформаций от

количества циклов и характер изменения амплитуды колебаний температур.

Правомерность математической модели подтверждается экспериментальными исследованиями по базированию нагретых гладких стальных втулок на центрирующей втулке. При проведении эксперимента определялись температура и температурные деформации деталей и посадочной части базировочного устройства в течении нескольких циклов работы; изменение деформаций базировочного устройства в зависимости от времени базирования, такта и их соотношения. Кривые, представленные на рис.3, показывают, как изменяется температура в различных точках центрирующей втулки наружным диаметром 98 мм и длиной 300 мм, с толщиной стенки 3 мм при установке на нее втулки с посадочным диаметром 100 мм и наружным - 120 мм, нагретой до 200°C с тактом 60 с и временем базирования $\tau_{\text{б}}=30$ с.

Сравнение вычислительного эксперимента и эксперимента на образцах показало удовлетворительное совпадение результатов. Так, режим переменного теплового равновесия устанавливается с 4-го цикла сборки по данным вычислений, а в результате эксперимента - через 5. Максимальная и минимальная температуры тел системы нагретая деталь-база, определенные экспериментальным путем и рассчитанные с помощью МКР, отличаются на 15-20°C, что составляет 10-13%.

Для первого цикла скорость остывания детали, находящейся на базировочном устройстве, наибольшая. Это уменьшает ее температуру и, значит, термический сборочный зазор, тем самым снижая вероятность сборки. Установившийся режим характеризуется менее интенсивным остыванием детали из-за наличия базы с повышенной температурой. Соответствующая наладка базировочного устройства в течении рабочей смены по данным расчета времени наступления установившегося теплового равновесия обеспечит надежную работу оборудования.

Список литературы: 1. Новиков М.П. Основы технологии сборки. - М., «Машиностроение», 1969.-632с. 2. Берковский Б.М., Ноготов Е.Ф. Разностные методы исследования задач теплообмена. Минск, Наука и техника, 1976,- 114с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ВЗАИМНОГО РОТАЦИОННОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРУБ

Афанасьева М.А., Лебедь В.В. (ДГМА, г. Краматорск, Украина)

On the basis of theoretical and experimental investigations developed has been a method of interrotational deformation of pipes without utilization of spe-

cialpurpose deformation tools. Investigated have been the technological capabilities of the new pipe deformation method.

Обкатка инструментом трения с локальным нагревом очага деформации является одним из наиболее экономичных способов деформирования деталей из труб [1].

Однако, при массовом производстве частая замена инструмента, связанная с недостаточной его износо- и термостойкостью, налипанием материала заготовки на его рабочую поверхность, является причиной повышенного расхода дефицитных высокохромистых сплавов, из которых отливается инструмент.

Предприятия, внедрившие процесс обкатки, предъявляют все более повышенные требования к инструменту, к его износостойкости, ремонтно-пригодности, термостойкости, фрикционным свойствам, стоимости. При массовом производстве частая замена инструмента значительно снижает производительность обкатки и увеличивает брак.

Попытка снизить расход дорогостоящего инструмента, а также свести к минимуму все перечисленные выше недостатки, присущие обкатке инструментом трения, привела к созданию нового безинструментального способа ротационного деформирования труб [2].

Сущность метода взаимного ротационного деформирования труб состоит в том, что вращающиеся заготовки, концы которых нагреты до кованной температуры, взаимно деформируются по образующим при относительном их сближении в радиальном направлении или относительном перемещении в тангенциальном.

При взаимном деформировании двух труб, предварительно установленных с взаимным перекрытием l_0 и сближающихся в радиальном направлении, вначале происходит деформирование малых конусов, затем, при дальнейшем сближении вращающихся труб углы конусов увеличиваются, достигая значения $\pi/2$ - это этап формирования торцевой плоскости днища. Процесс деформирования завершается, когда продольные оси заготовок совмещаются в одну.

Конфигурация изделий, получаемых таким методом, наиболее существенно зависит от величины взаимного перекрытия l_0 заготовок, величины и температуры зоны нагрева заготовок под деформирование.

Форма получаемых деталей может быть различной: конусы, герметичные и негерметичные днища разнообразной формы, пережимы и другие изделия.

Матрица кинематических вариантов взаимодействия заготовок в процессе их взаимного деформирования включает на данном этапе иссле-

дования 16 вариантов их взаимодействия. Восемь из них были экспериментально апробированы. Два - внедрены в производство.

В результате лабораторных и опытно-промышленных испытаний труб размерами $\varnothing 63 \times 3$; $\varnothing 36 \times 3$; $\varnothing 36 \times 1,5$; $\varnothing 12 \times 1,5$ мм и статистической обработки экспериментальных данных была получена степенная зависимость среднего давления $P_{\text{ср}}$ (МПа) на площадке контакта от шести определяющих факторов:

$$P_{\text{ср}} = 438808,8 (S_0/D_0)^{0,01174} (l_0/D_0)^{0,0206} (\Delta Y/D_0)^{0,7768} K^{0,0919} T^{-0,7331} \mu^{0,0253}$$

где S_0 , D_0 , l_0 - исходные толщина стенки, диаметр и взаимное перекрытие заготовок; ΔY - радиальное поступательное сближение заготовок за один оборот; $K = (3\omega_1 + \omega_2)/2\omega_1$ - коэффициент, учитывающий влияние величины угловых скоростей ω_1 и ω_2 и направлений вращения заготовок, T - температура нагрева заготовки ($^{\circ}\text{C}$); μ - коэффициент трения.

Таблица 1 - Пределы варьирования определяющих факторов.

Уровень	S_0/D_0	l_0/D_0	$\Delta Y/D_0$	K	$T, (^{\circ}\text{C})$	μ
Верхний	0,0839	0,1944	0,0239	2,0	1250	0,2050
Нулевой	0,0625	0,1389	0,0193	1,5	1050	0,1425
Нижний	0,0417	0,0833	0,0147	1,0	850	0,0800

Расчеты по приведенной формуле в указанных пределах варьирования определяющих факторов обеспечивают уровень значимости 0,05.

При исследовании процесса взаимной ротационной обкатки трубчатых заготовок было проведено сопоставление основных параметров нового процесса и процесса обкатки труб традиционным инструментом трения (табл.2). Опыты проводились в идентичных условиях на одинаковых образцах.

Вывод: Разработан и исследован новый экономичный метод ротационного деформирования труб без применения специализированного деформирующего инструмента.

Таблица 2 - Сопоставление нового и старого процесса обкатки труб.

№ п/п	Наименование параметра	Направление вращения труб при взаимной обкатке			
		в разные стороны		в одну сторону	
		со смазкой	без смазки	со смазкой	без смазки
1	Нормальное усиление	< на 15%	< на 18%	> на 15%	< на 5%
2	Мощность N , кВт	< на 17%	< на 9%	< на 7%	< на 5%
3	Коэффициент трения	< на 33%	< на 18%	< на 35%	< на 12%

	ния μ				
4	Момент сопротивления вращения	< на 18%	< на 12%	< на 6%	> на 20%
5	Давление P_{cp}	< на 5%	< на 35 %	> на 3%	< на 13%
6	Площадь контакта	< на 10%	< на 9%	> на 11%	> на 9%

Список литературы: 1. Капорович В.Г. Производство деталей из труб обкаткой. М.: Машиностроение, 1978. 136с. 2. Афанасьева М.А. Безинструментальный ротационный обжим трубчатых заготовок. Сб. научных статей "Совершенствование процессов и машин обработки металлов давлением", Киев, УМК ВО, 1988.-С.75 - 81.

ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

Бабин О.Ф., Коваленко Н.С., Пономарев Л.Д.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

The connection of consumer properties of machine tools with the market price of machine tools is shown. The analysis of the basic characteristics of heavy turning machine tools of conducting world firms is given. The characteristics of accuracy of the heavy turning machine tool are considered and the recommendations for increase of accuracy of rotation of spindles are given.

Выпуск станков на рынок требует совершенствования потребительских свойств станков, таких как: технологические возможности, точность, производительность, безопасность и удобство работы, дизайн и др. Кроме того потребители значительное внимание уделяют цене станка и оценке возможных затрат в процессе эксплуатации.

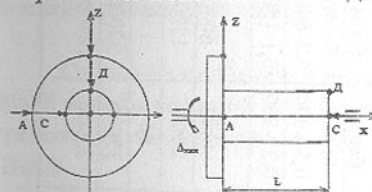
Рыночная цена (цена реализации) определяется в результате маркетинговых исследований, исходя из анализа существующих соотношений между уровнем цен на различные по потребительским свойствам станки. Заводская цена формируется на основе калькуляции полной себестоимости станка при заложенной норме прибыли. Реализация экспортного товара, качество (потребительские свойства) которого на 5...10% ниже мирового уровня, уменьшает рыночную цену на 15...20%. Следовательно, рыночная цена служит характеристикой конкурентоспособности товара.

Конкурентная способность может быть определена в результате объективного сравнения станков; она представляет собой техническую характеристику станка, отражающую его отличие от станка-аналога по степени

удовлетворения потребностей. Оценочные показатели обычно распределены по группам, в зависимости от целевого назначения станка, в основном это показатели назначения.

Были проанализированы основные технические характеристики базового станка гаммы тяжелых токарных станков ведущих мировых фирм (см. таблицу 1). Сравнительный анализ показывает, что по большинству параметров наивысший технический уровень имеют станки фирм КЗТС и Skoda. Точность обработки является одним из важнейших показателей конкурентоспособности. Все фирмы стараются увеличить точность обработки, но это требует финансовых затрат и принципиально новых конструкторских и технологических решений. В общем балансе точностных характеристик тяжелого токарного станка более 30% приходится на шпиндельные узлы, которые оказывают самое существенное влияние также на надежность и производительность станка. Точность вращения шпинделей и расположения их осей определяют точность обрабатываемых поверхностей по большинству важнейших параметров: биению, некрутлости и конусности поверхности вращения, неплоскостности, непараллельности или неперпендикулярности плоскостей и осей поверхности вращения к базовым поверхностям.

Точность шпиндельного узла можно контролировать величинами смещений по осям координат и углами поворота вокруг осей. Обобщенная погрешность положения шпиндельного узла, согласно рис.1:



$$\delta_x = -\Delta_E; \delta_y = +\Delta_A; \delta_z = \text{таких как, } \Delta_B; \\ \alpha = (\Delta_A - \Delta_B)/L; \beta = (\Delta_A - \Delta_C)/L; \gamma = \Delta_{кин}.$$

Геометрическую точность измеряют приборами, установленными на станине станка и оценивают показателями биения (радиального, осевого, торцевого).

Радиальное биение в горизонтальной плоскости $\delta_{ry} = \delta_y + \beta \chi_A$.

Радиальное биение в вертикальной плоскости $\delta_{rz} = \delta_z - \alpha \chi_A$.

Рис.1. Определение погрешностей положения шпиндельного узла.

Методы контроля точности шпиндельных узлов, а также стандарты на нормы точности и жесткости предусматривают комплекс проверок, результаты которых дают возможность оценить только геометрические параметры станка. Однако такие проверки недостаточны для обоснованного заключения о выходной точности станка. Поэтому необходимо разработать систему расчетов, которая непосредственно связывала бы погрешности элементов шпиндельного узла с погрешностью обрабатываемых поверхно-

Таблица 1 - Технические характеристики тяжёлых токарных станков.

Наименование параметров	Украина		Италия		Франция	Чехия	Германия		Япония	
	K3TC IM665 (выпуск с 1988г.)	DIACOMO TACCH HD/3 SERIE140 (выпуск с 1985г.)	INNSE TR130 BB4/1x8000 (выпуск с 1980г.)	BEKHEZ T4.21 (выпуск с 1984г.)	Skoda SYT160T (выпуск с 1983г.)	WOHLEN- BERG K13.160M (выпуск с 1986г.)	HEYLIG- ENSTAE TDZL-160 (выпуск с 1985г.)	KARATSU IRON WORKS L-18 (выпуск с 1980г.)	SHBALRA LD1600A (выпуск с 1978г.)	
1. Наиб. диаметр обрабатываемого изделия										
1.1. над суппортом, мм	1250	1240	1300	1400	1250	1240	1270	1400	1000	
1.2. над станиной, мм	1600	1570	-	1800	1620	1600	1580	1800	1600	
2. Наибольшая длина обрабатываемого изделия, мм	8000	8000	8000	8000	8000	8000	Через 2000	6000- 15000	6000-13000	
3. Пределы частот вращения шпинделя, об/мин	1,15-300 бесст.	0,8-240 бесст.	1-200 бесст.	1,2-180 бесст.	0,45-224 бесст.	1,12-224 бесст.	1,12-355 бесст.	1-130 бесст.	1-160 16	
4. Пределы величин подачи										
4.1. продольных, мм/мин	Бесст. 0,2-6000	Бесст. 0,5-1000	Бесст. 0,2-6000	Бесст. 0,1-2000	Бесст. 0,1-5000	Бесст. 1-4000	Бесст. 0-1000	Бесст. -	Бесст. 0,315-250	
4.2. поперечных, мм/мин	0,2-6000	0,25-500	0,1-1500	0,1-2000	0,1-2000	1-4000	0-1000	-	0,16-125	
5. Скорость бахвальцевания										
5.1. продольных, мм/мин	6000	4000	6000	2000	5000	4000	5000	-	2000	
5.2. поперечных, мм/мин	6000	2000	1500	2000	2000	4000	5000	-	1000	
6. Мощность глав. прив., кВт	150	96	150	100	80	140	63-160	75-110	75	
7. Масса обраб. изделия, кг	40000	35000	32000	40000	40000	45000	40000	40000	32000-48000	
8. Наибольший крутящий момент на шпинделе, Н м	125000	72000	128000	100000	125500	50000	20000- 63000	90000	63000	

стей. При построении расчетной модели опоры шпиндельного узла представляются системой пружин. Тогда шесть составляющих погрешности положения системы координат шпинделя могут быть получены из шести условий статического равновесия и имеют вид:

$$CA=P,$$

где C - симметричная матрица жесткости,

Δ - вектор обобщенной погрешности,

P - вектор обобщенной силы, $P(P_x; P_y; P_z; M_x; M_y; M_z)$.

Таким образом, за счет совершенствования шпиндельного узла можно увеличить в два раза предельную глубину резания по критерию точности и виброустойчивости.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИСТИРОЛА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗКИ ДЛЯ АБРАЗИВНЫХ ГРАНУЛ

Бабичев А.П., Тамаркин М.А., Мельникова Е.П., Кожухова А.В.,
Бойко М.А. (ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Abrasive granules on polymeric ligament for vibrating processing have allocated a group of parameters, influencing to technological properties of abrasive granules. The new abrasive granules are effective on operations of a thin furnish of surfaces, they permit to approximate edges and to polish surfaces of precision details from various materials.

Одним из наиболее эффективных методов, финишной обработки деталей машин сложной конфигурации, к которым предъявляются высокие требования по качеству поверхностей является вибрационная обработка (ВиО).

Важным этапом разработки технологического процесса ВиО, оказывающим решающее влияние на достижение требуемых результатов, с точки зрения качества поверхности и производительности, является выбор рабочей среды. В зависимости от назначения выполняемой операции, материала детали и применяемого способа ведения процесса состав рабочей среды может быть различным.

В состав рабочей среды входят твердый наполнитель - частицы (гранулы) и жидкий наполнитель (СОЖ).

Гранулы выполняют основную роль в процессе ВиО, обеспечивая съем металла и его окислов с обрабатываемых поверхностей и пластическое деформирование поверхностного слоя при упрочняющей обработке.

Гранулы состоят из абразивного материала и связки. В процессе ВиО используются гранулы со связкой на основе эпоксидных смол ЭД-16,

ЭД-20 и компаунда К-115. Известно, что смолы имеют ряд существенных недостатков. Они дорогостоящие, токсичные, экологически небезопасны и оказывают вредное воздействие на работающих при изготовлении гранул.

В этой связи была поставлена задача поиска аналогичных по своим свойствам, более дешевых по стоимости, нетоксичных материалов, которые можно было бы использовать в качестве связки.

В результате проведенных исследований предложено использовать для этих целей отходы полистирола общего назначения (ПСС) или промежуточный продукт изготовления ПСС-биссер.

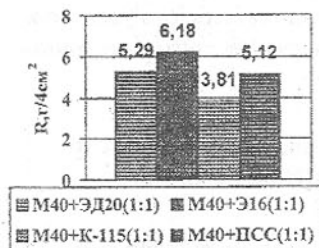


Рис.1. Изменение режущей способности гранул.

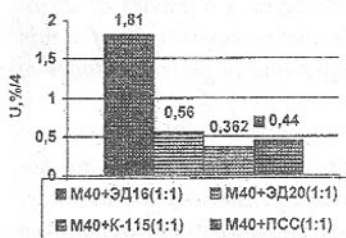


Рис.2. Изменение износостойкости гранул.

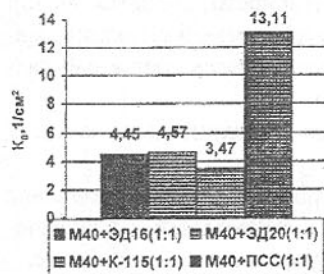


Рис.3. Изменение удельного съема металла.

Была изготовлена опытная партия гранул на основе абразивного порошка карбид кремния черный (КЧ) зернистостью 40 мкм и связующего ПСС (соотношение 1:1) и проведены технологические испытания свойств среды.

Испытания проводились по общепринятой методике [2], которая учитывала ре-

жущую способность и удельный расход абразивных гранул, удельный съем металла, шероховатость обработанной поверхности.

Сравнительные испытания полистирольной связки и применяющихся в настоящее время при процессе ВиО показали, что режущая способность (рис.1) и износостойкость (рис.2) не уступает гранулам на основе эпоксидных смол. При этом установившаяся шероховатость поверхности (рис.4) несколько ниже. Удельный съем металла (рис.3) на гранулах с ПСС почти в три раза превышает аналогичный показатель для гранул на эпоксидных смолах.

Полученный положительный эффект при обработке объясняется тем, что на предложенной связке уменьшается засаливание абразивных гранул. Положительным является также снижение токсичности связки.

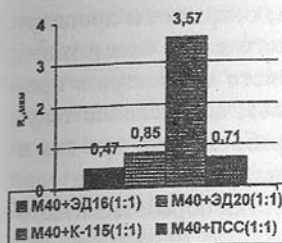


Рис.4. Шероховатость поверхности образцов, обработанных гранулами.

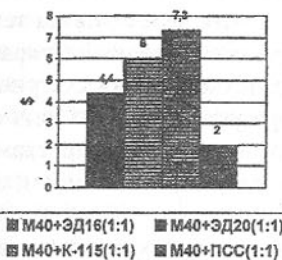


Рис.5. Себестоимость изготовления 1 кг. гранул.

Список литературы : 1. Баби́чев А.П. Основы вибрационной технологии.-Ростов-на-Дону,1994.-88с. 2. Баби́чев А.П., Лиманская М.Н., Блохин С.В. Обработка технологии и испытание технологических свойств рабочих сред на полимерной связке. Сборник: Вопросы вибрационной технологии. - Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1996.-121 с.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОГРАММНОМ УПРАВЛЕНИИ ТОЧНОСТЬЮ ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ

Багиров С.А. (Нах ГУ, г. Нахичевань, Азербайджан)

It were determined the opportunities of development of more detailed operations of internal grinding, by introduction of new structural units, technological primitive.

При программном управлении точностью обработки выдвигаются повышенные требования к точности и детерминированности проектирования технологической операции, независимо от типа производства. При этом согласно работе [1] требуется введение в структуру технологической операции новых составляющих, служащих выявлению качественных и количественных связей механизма образования поверхностей на отдельных участках рабочего хода.

При программном управлении точностью обработки появляется новый элемент технологической подготовки производства, управляющая программа точности обработки, принципиально отличающаяся от традиционной программы станков с ЧПУ- предназначенной для определения траектории движения режущего инструмента. Обобщенный алгоритм автоматизированной подготовки программы управления точности обработки

Экономический эффект от использования гранул с новой связкой достигается за счет некоторого увеличения интенсивности процесса обработки и уменьшения стоимости гранул

включает в себя дополнительно нижеперечисленные операции и процедуры: разбивка технологических переходов на технологические примитивы; определение закономерностей изменения управляемого параметра в пределах соответствующих технологических примитивов; определение текущих значений параметра управления по длине обработки при прямом и обратном ходах, перенос управляющей программы на программноноситель, контроль программы по результатам точности обработки обрабатываемого цилиндра.

Система предназначена для работы в интерактивном режиме. При этом решение творческих и трудноформализуемых задач производится с использованием опыта и интуиции технолога. К таким задачам можно отнести разбиение технологических переходов на технологические примитивы, разработка аналитических зависимостей для составления фрагментов управляющей программы в пределах соответствующих технологических примитивов и д. р.

В системе компьютером решаются трудоемкие задачи по анализу и синтезу полных типовых решений в виде систем уравнений представляющих технологический переход, решению, разработке программы для управления точностью обработки и подготовке необходимой технологической документации.

разработанная система управления точностью обработки охватывает большую номенклатуру деталей с точными отверстиями. Лингвистическое обеспечение предусматривает возможности формализации как операций выполняемых на различных видах внутришлифовальных станков, так и большого спектра технологических переходов и их составных частей технологических примитивов. В качестве базового элемента системы принять технологический примитив, где механизм образования погрешностей описывается одним уравнением.

термин "технологический примитив" в "Технологии машиностроения" введено в первые в работе [1], не смотря на то, что появлением адаптивных систем уже было нарушена четкость определений структурных единиц технологической операции.

В разработанной системе объектом регулирования является систематически закономерно изменяющиеся факторы, которые описываются детерминированными связями, что делает возможным разграничить участки технологического перехода в пределах которых происходит изменение режимов обработки и тем самым ввести новый элемент в иерархическую структуру технологической операции.

На основе систематизации результатов исследований по программному управлению точностью при внутреннем шлифовании составлен ката-

лог технологических примитивов операции внутреннего шлифования. разработан также кодификатор системы (рис.1), где формализованное описание технологических примитивов имеет структуру шестнадцатипозиционного кода. Обобщенный код синтезируется из трех структурных составляющих: характеристика технологической операции, характеристика технологического перехода и характеристика технологического примитива. Другие показатели, необходимые для управления точностью обработки при внутреннем шлифовании приводятся 3 ведомости исходных данных ВИД.

	В	1	1	2	2	1	xxxxxxx
Вид внутришлифовального станка	Код						
Внутришлифовальный круглый	В						
Желобшлифовальный	Ж						
Бесцентровой	В						
Планетарный	П						
Метод шлифования	Код						
На проход	1						
Врезание	2						
Характер цикла	Код						
Обычный	1						
Автоматический	2						
Схема шлифования	Код						
С полным выходом из контакта	1						
С исходной площадью контакта	2						
Характер перехода	Код						
Черновой	1						
Чистовой	2						
Направление перехода	Код						
Прямое	1						
Обратное	2						
Структура технологического перехода	Код						
Код технологических примитивов	XX						

Рис.1 Обобщенный кодификатор системы УТВШ

Сформированный код управляющей программы и показатели указанные в ведомости исходных данных служат ключом для поиска соответствующей аналитической зависимости которая является основной управляющей программы.

Таким образом открываются перспективы для разработки более детализованных операционных технологических процессов, путем углубления декомпозиции технологической операции за счет самостоятельных структурных единиц, технологических примитивов, служащих для качественной и количественной оценки погрешностей и разработки программы управления точностью обработки.

Список литературы: 1. Гусейнов Г.А., и др. Формализованное описание технологической информации при производстве деталей запорного узла прямооточных задвижек. //Азербайджанское нефтяное хозяйство. -1995. 1-7-8. -с. 87-91.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА

Бакулия В.Н., Ренинский В.В., Фомичев А.Б.
(ИПРИМ РАН, МАИ, ГосНИИ ГА, г. Москва, Россия)

The analysis of stress and strain to the plate from action of gaseous pulse.

В работе рассматривается задача анализа надежности системы, одним из элементов которой является анизотропная пластина, закрепленная по периметру. Пластина является частью оболочечной пространственной конструкции, обеспечивающей жесткость на изгиб, и подвергается действию комбинированного нагружения от газодинамического импульса и статической распределенной нагрузки.

Критериями отказного состояния системы является:

- полное разрушение пластины по периметру в месте заделки;
- превышение заданного максимально допустимого прогиба пластины.

Отказом системы не считается:

- потеря устойчивости пластины под действием комбинированного нагружения;

- местное повреждение пластины в зоне контакта с газодинамической струей или других зонах, если при этом не происходит превышение максимально допустимого прогиба пластины.

В качестве примера выполняется анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) тонкой прямоугольной пластины, подкрепленной равномерно распределенным силовым набором, с жесткой заделкой по всему периметру. В общем случае считается, что пластина деформируется в упругопластической области.

При описании состояния системы используются термины и понятия системного анализа. Весь процесс нагружения пластины может быть представлен как процесс взаимодействия среды и объекта. «Объектом» служит закрепленная пластина. Под «средой» понимается газовая струя, истекающая из некоторого конечного объема через отверстие определенной площади.

Целью работы является исследование возможных способов формализации среды и объекта, используемых в описании сложных технических систем, объединяющих разнородные в физическом смысле компоненты. Под «формализацией» понимается описание среды и объекта в виде упрощенных моделей, построенных по модульному принципу в соответствии с этапом решаемой задачи и соединяемых связями, подобными связям графа для принятого в системном анализе «дерева решений» [1]. Структура подобного графа соответствует иерархическому принципу – переходу от более общих подходов решения проблемы к более детальным. В общей постановке задачи рассматривается множество вариантов моделей.

Критерием выбора альтернативного варианта решения рассматриваемой задачи является качественное сравнение алгоритмов различных вариантов с точки зрения возможности использования отработанных математических процедур и проверенных экспериментально физических моделей, в том числе газодинамики дозвуковых скоростей течения идеального газа. Для оценки физических моделей используются методы подобия теории взрыва [2].

Статическая распределенная нагрузка возникает от момента, действующего в плоскости, и является постоянной в течение заданного периода времени.

Нагружение от газодинамического импульса для рассматриваемой задачи принимается перпендикулярным плоскости пластины, равномерно распределенным на некоторой области пластины и изменяющимся по заданному временному закону. В первом приближении закон считается экспоненциальным.

При формализации объекта исследование пластины проводится с помощью конечно-элементной или другой численно-аналитической модели [3].

Взаимодействие среды и объекта характеризуется комбинированным нагружением пластины динамической и статической составляющими импульса газовой струи, а также статической распределенной нагрузкой.

Анализ напряженно-деформированного состояния пластины в общем случае, предусматривает оценку: напряжений по всему периметру заделки, напряжений в зоне действия импульса, пространственной деформации пластины, а также ее ускорения.

Для предварительных инженерных расчетов используется модель квазистационарного нагружения, где весь период действия импульса разбит на интервалы, в течение которых процесс нагружения считается стационарным.

Оценка НДС пластины выполняется с помощью двух различных методик. Первая (предварительная) для варианта квазистационарного представления процесса нагружения основана на применении пакета прикладных программ «Композит», одна из первых версий которого опубликована в монографии [3]. Анализ НДС для динамического (нестационарного) представления процесса нагружения пластины основывается на двумерном и трехмерном подходах с помощью совокупности аналитических и численных методов, предложенных в книге [4].

Применяемый в настоящей работе подход опробован при анализе надежности сложных пространственных оболочечных конструкций, подвергающихся комбинированному нагружению с однократным воздействием газодинамического импульса.

Список литературы: 1. Матвеевский С.Ф. Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. М.: «Машиностроение», 1987. – 240 с. 2. Седов Л.И. Методы подобия и равномерности в механике. М.: «Наука», 1987. – 432 с. 3. Бакулин В.Н., Рассоха А.А. Метод конечных элементов и голографическая интерферометрия в механике композитов. М.: «Машиностроение», 1987. 312 с. 4. Бакулин В.Н., Образцов И.Ф., Потопахин В.А. Динамические задачи нелинейной теории многослойных оболочек. Действие интенсивных термосиловых нагрузок, концентрированных потоков энергии. М.: «Наука», 1998. – 464 с.

РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИИ КАНАЛА ВОЛОЧИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРУГЛЫХ ПРУТКОВ С ЦЕЛЮ СНИЖЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Баранов Г.Л., Кузнецов В.И. (УГТУ, г. Екатеринбург, Россия)

One of prospect directions to perfect the quality of grooved rods and wire is the development of design procedure for drawing instruments by taking into account the force conditions in ductility zone, what has been submitted in this paper.

Причиной возникновения больших остаточных напряжений может являться неравномерность пластической деформации металла, которая обусловлена неравномерностью распределения напряжений, в объеме очага деформации, возникающей вследствие неравномерности сил трения на контактной поверхности инструмента.

Одним из способов снижения остаточных напряжений в круглых трубках и проволоке является разработка конструкций волок с геометрическими параметрами, способствующим формированию свойств изделий.

В результате проведенных исследований [1] установлено, что эпюры сил трения при волочении в типовую волоку с коническим профилем рабочего канала могут иметь двухпиковый и параболический характер, причем в первом случае наибольшие ординаты сил трения τ_{α} расположены на расстоянии приблизительно равном $1/5 \dots 1/4$ длины обжимной зоны от входа металла в эту зону и выхода из нее, а во втором - приблизительно в середине образующей конуса канала (рис. 1).

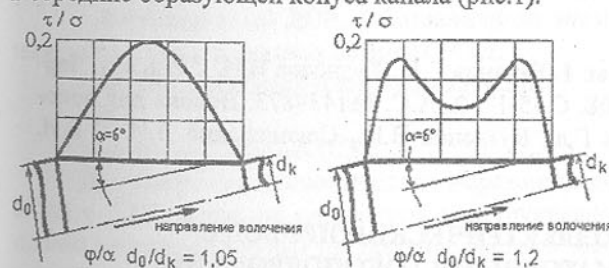


Рис. 1. Распределение касательных напряжений τ_{α} на контактной поверхности.

Проведенный анализ напряженно-деформированного состояния показал, что удлинение участка падения τ_{α} перед выходом из очага деформации снижает неравномерность распределений продольных нормальных напряжений в поперечном сечении изделия и способствует снижению остаточных напряжений в изделии после деформирования.

С целью увеличения длины участка падения τ_{α} и снижения уровня остаточных напряжений была предложена конструкция волокна [2], имеющая в обжимной зоне переходный радиально скругленный участок 2, сопрягающий конический участок обжима 1 и калибрующий участок 3 (рис.2), которым соответствует двухпиковая эпюра τ_{α} на контактной поверхности ($d_0/d_k \geq 1,14$).

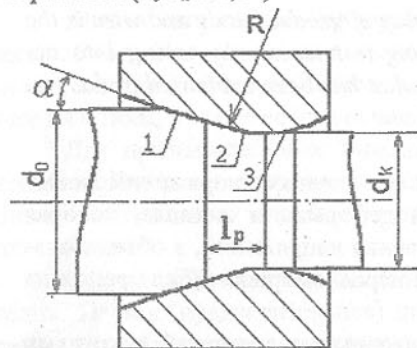


Рис. 2. Волока с переходным участком.

Опытное волочение прутков из бронзы КМЦ 3-1 по маршруту $\Phi 24 \times \Phi 20$ в волокна со стандартным и предложенным профилями с последующим определением уровня остаточных напряжений методом продольного распила показало снижение уровня последних на 30...35%.

Таким образом, использование волок с предложенным профилем канала дает возможность более рационально разрабатывать маршруты волочения изделий из материалов, склонных к разрушению от действия остаточных напряжений, снизить расходы, связанные с промежуточной термообработкой и браком.

Список литературы: 1. Баранов Г.Л., Кузнецов В.И. // Изв.вуз. Черная металлургия. 1994. №8. С.15-17. 2. А.С. №1438873. Волока для волочения изделий / Баранов Г.Л., Кузнецов В.И., Соколовский В.И. // Б.И. 1988. №43.

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД С ТРАНСФОРМАТОРНЫМИ ТОКОПОДВОДАМИ

Баринов И. Н., Стрелков Б. В., Шерстняков Ю. Г.
(МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Россия)

Mathematical model of the magnetic - electrical drive with transformer current link is developed and analysed, analytical expressions for account of the me-

chanical and power characteristics and generalised parameters of it elements, optimum from the point of view of efficiency are received.

В современных прецизионных гиросприборах для привода гироскорота применяются наряду с гистерезисными двигателями (ГД) и управляемые магнитоэлектрические двигатели (МЭД). Они представляют собой электромеханическую систему, состоящую из синхронного двигателя (СД) и силового электронного преобразователя (ЭП), связанных между собой датчиком положения ротора (ДПР). СД строится, как правило, с использованием высокоэнергетических магнитов на роторе и с обмоткой якоря на диэлектрическом статоре. Интерес к МЭД вызван его высоким (до 95%) КПД, стабильностью показаний от запуска к запуску; возможностью устранения синхронных «качаний» ротора методами замкнутого регулирования и уменьшения пульсаций электромагнитных сил между ротором и статором.

Стабильность потребляемой мощности при стабилизированной скорости вращения ротора делает целесообразным использование для передачи энергии на чувствительный элемент (ЧЭ) с бесконтактным подвесом трансформаторные токоподводы (ТПП) с ферромагнитными магнитопроводами. При этом проблема разгона МЭД частотным методом до полосы пропускания ТПП решается за счет использования специальных фазочувствительных выпрямителей (ФВ). В номинальном режиме работы системы они шунтированы балластными сопротивлениями.

В состав рассматриваемой системы входят:

- двухфазный МЭД той или иной конструкции, которая в заданном объеме наилучшим образом отвечает требованиям ГП;
- бесконтактный ДПР, работающий на магнитных потоках рассеяния;
- два ТПП для питания обмотки МЭД;
- два ФВ для обеспечения запуска МЭД;
- ЭП;
- систем управления (СУ).

Для получения аналитических выражений основных характеристик МЭД с ТПП, а так же параметров конструктивных элементов проведен анализ электромагнитных процессов в системе методом комплексных амплитуд. Двигатель рассматривается как «идеальная» машина, у которой индуктивностью обмотки можно пренебречь, т.к. она на два порядка меньше индуктивностей рассеяния обмотки ТПП. ТПП замещается линейной схемой. Для получения максимального момента в МЭД форма токов в его обмотке должна соответствовать форме наведенных ЭДС. Для выпол-

нения этого условия в реальной системе и в рассматриваемой модели ЭП формирует по сигналам ДПР напряжения синусоидальной формы.

На основании проведенного анализа получены выражения для электромагнитных момента и КПД:

$$M = 2 \cdot [U \cdot C_e \cdot Z_m \sin(\varphi_s - \theta) - C_e^2 \cdot \Omega \cdot Z_1 \cos(\varphi_1 - \varphi)] / Z_s^2, (1)$$

$$\eta = \frac{UEZ_m \sin(\varphi_s - \theta) - E^2 Z_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_s)}{U^2 Z_2 \cos(\varphi_s - \varphi_s) - UEZ_m \sin(\varphi_s + \theta)}, (2)$$

где: $\dot{U} = U \exp(j\theta)$ - комплекс входного напряжения ТПП; $\dot{E} = E = C_e \Omega$ - ЭДС вращения, C_e - постоянная ЭДС, Ω - угловая скорость вращения ротора;

$Z_1 = r \cdot (1 + jq) = Z_1 e^{j\varphi_1}$, $Z_2 = r \cdot (1 + \hbar + jq) = Z_2 e^{j\varphi_2}$, $Z_2 = jkqr = Z_m e^{j\varphi_m}$, $Z_s = r \cdot [1 + \hbar - q^2 \cdot (1 - k^2) + jq(\hbar + 2)] = Z_s e^{j\varphi_s}$ - сопротивления первичного, вторичного, магнитной связи и эквивалентное, выраженные через параметры q и $\hbar$; $q = \omega \cdot \tau$ - добротность ТПП (его обобщенный параметр), $\omega = p \cdot \Omega$ - электрическая угловая частота входного напряжения и ЭДС, p - число пар полюсов МЭД, $\tau = L/r$ - постоянная ТПП; $\hbar = (r_\delta + r_e)/r$ - коэффициент пропорциональности (обобщенный параметр), r, r_δ, r_e - резистивные сопротивления ТПП, фазы обмотки двигателя и балластное; k - коэффициент магнитной связи.

Для варианта системы МЭД-ТПП за счет связанного регулирования параметров входного напряжения (его амплитуды и фазы) можно получить различные режимы ее работы, отличающиеся величиной токов, мощностью при неизменных нагрузке и скорости вращения МЭД. Определение экстремума КПД при этом оказалось возможным благодаря тому, что электромагнитная мощность двигателя имеет активно-емкостной характер, активная часть которой идет на работу, а реактивная - на компенсацию мощности индуктивного характера ТПП. Это приводит к уменьшению реактивной составляющей токов в трансформаторе и, соответственно, к уменьшению потерь мощности в меди обмоток и в сопротивлениях r_e . Таким образом, регулируя связанно амплитуду и фазу входного напряжения можно получить в стационарном режиме максимум КПД:

$$\eta_{\max} = \frac{\sigma \cdot k^2 q^2 [q^2 (1 + k^2 \hbar_1) + \hbar_1^2]}{\sigma^2 [q^2 (1 + k^2 \hbar_1) + \hbar_1^2] + \sigma (k^2 q^2 + 2\hbar_1) [q^2 (1 + k^2 \hbar_1) + \hbar_1^2] + \hbar_1 (k^2 q^2 + \hbar_1^2)}, (3)$$

где $\hbar_1 = \hbar + 1$, $\sigma = P \cdot r / C_e^2 \Omega^2 = P \cdot r / E^2$ - еще один обобщенный параметр.

Выходные показатели системы при оптимальном входном напряжении зависят так же от значения параметров входящих в нее элементов. За-

дачу оптимизации системы следует понимать как задачу выбора элементов с оптимальными параметрами при неизменной ее структуре. Для гидродвигателя, номинальный режим которого является длительным установившимся режимом работы, энергетические показатели являются существенными. Поэтому, в качестве критерия качества системы выберем значение КПД, позволяющее провести оптимизацию параметров элементов исходя из минимизации энергии, потребной для выполнения заданной работы.

Анализ уравнения (3) показывает, что с ростом q при остальных неизменных параметрах $\eta_{\max}$ монотонно растет, стремясь к 1, а с ростом $\hbar$ убывает к нулю. В области изменения σ есть пологие экстремумы. Значение $\sigma = \sigma_{\text{отр}}$, обеспечивающее при прочих неизменных переменных максимум $\eta_{\max}$, определим из уравнения $d\eta_{\max}/d\sigma = 0$:

$$\sigma_{\text{отр}} = \sqrt{\hbar_1 (k^2 q^2 + \hbar_1)} / [q^2 (1 + k^2 \hbar_1) + \hbar_1^2], (4)$$

Полученное выражение связывает обобщенные параметры по $\eta_{\max}$:

$$\eta_{\max} = (1 + 2\lambda + 2\sqrt{\lambda \cdot (1 + \lambda)})^{-1}, (5)$$

где $\lambda = (1 + \hbar) / (k \cdot q)^2$.

Полученные выражения позволяют рассчитать оптимальные с точки зрения КПД обобщенные параметры элементов и сформулировать требования к отдельным элементам на этапе подготовки технического задания на их разработку.

Список литературы: 1. Сравнительная оценка прецизионных гидроскопических электроприводов на базе синхронных электродвигателей / В. Н. Тарасов, В. И. Нагайцев, С. Ю. Останин, Е. В. Павлихина // Гирокоспия и навигация. - 1996. - №2 (13). - С. 41 - 47.

ОСОБЕННОСТИ ВОДОРОДО-СТИМУЛИРОВАННОЙ ДИФФУЗИИ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Барьяхтар В.Г. (КГУ, г. Киев, Украина) Буравлев Ю.М.,
Иваницын Н.П., Милославский А.Г., Кушнир М.П.
(ДонГУ, г. Донецк, Украина)

The peculiarities of hydrogen-initiated diffusion during thermal chemical treatment of the metals and alloys are considered.

В настоящее время возрастает интерес к изучению общих закономерностей и свойств системы "металл - водород", поскольку взаимодействие водорода с поверхностью металлов и сплавов в широком диапазоне температур является особенно важной проблемой в физическом материаловедении. Трудно переоценить роль системы "металл - водород", так как она имеет огромное научное и прикладное значение, начиная с использования ее в атомной промышленности (создание термостабильных замедлителей, устойчивых первых стенок термоядерных реакторов и др.), водородной энергетике (хранение, транспортировка и извлечение водорода) и кончая разработкой приемов борьбы с водородной хрупкостью металлов, совершенствованием приемов химико-термической обработки (ХТО) металлов и сплавов.

Несмотря на значительные результаты исследований в указанных направлениях, многие закономерности взаимодействия водорода с металлом до сих пор недостаточно изучены. Современные представления о диффузии водорода в металлах нельзя считать установившимися, теоретическая интерпретация особенностей взаимодействия водорода с металлами все еще остается неполной [1 - 8 и др.]. Поскольку данная проблема недостаточно изучена, невозможно разработать эффективные приемы подавления или уменьшения влияния наводороживания металлов и сплавов, резко снижающего их технологический ресурс, совершенствовать приемы, все более широко применяемые в машиностроении их ХТО и т.д.

Известно, что вследствие поверхностного разупрочнения, изнашивания, коррозии и усталости при эксплуатации из строя выходят около 90 % деталей машин и инструментов, что обуславливается повреждением поверхности материалов. Поэтому в машиностроении широко используются методы поверхностного диффузионного насыщения сплавов (азотирование, цементация, диффузионная металлизация и др.) для изменения их состава и улучшения физико-химических свойств.

Настоящая работа ставит своей целью проанализировать современное состояние вопроса о влиянии водорода на диффузионные процессы при ХТО металлов и сплавов как КПЭ, так и обычными (печными) методами. В качестве источников КПЭ использовали электрические разряды, ионные пучки, лазерные лучи и др.

Обобщение полученного экспериментального материала и анализ соответствующих литературных данных позволяет отметить следующее:

1. Явление стимулирования водородом диффузионных процессов при химико-термической обработке сплавов концентрированными потоками энергии заключается в том, что насыщение им поверхностных слоев приводит к существенному снижению прочности кристаллической решетки,

обусловленному его накоплению в дефектах, по границам зерен, в порках и микротрещинах, характеризующимся созданием высокого и сверхвысокого давления. Взаимодействие водорода с вакансиями и дислокациями, а также дополнительное снижение при этом прочности металла, обусловленное повышенной температурой, приводит к дестабилизации решетки. Это является причиной существенного снижения энергии активации, вследствие чего возрастают скорости диффузии других элементов, а также скорости химических реакций (образование нитридов, карбидов, гидридов и т.п.).

2. Размеры реакционных зон, их структура и физико-химические свойства (прочность, пластичность и др.) определяется концентрацией водорода над поверхностью и в объемах металла, характером и концентрацией диффундирующего элемента, составом и структурой сплавов, а также суперпозиции процессов диффузии, эрозии, ионизации и избирательного испарения отдельных элементов в реакционной зоне. Эффективность обработки зависит от конкретных условий: типа и параметров источников КПЭ, длительности процесса, скоростей нагрева и охлаждения металла, а также материала подставного электрода в случае использования дуговых и искровых разрядов.

3. Природа явления водородо-стимулированной диффузии при ХТО металлов и сплавов как концентрированными потоками энергии (лазерное излучение, искровые и дуговые разряды, ионные пучки и др.), так и с применением печных методов является сложной. При использовании КПЭ, кроме дестабилизации водородом кристаллической решетки вследствие высоких давлений и его взаимодействия с ее дефектами, следует учитывать эрозионные явления, а также процессы возбуждения и ионизации в газовой среде, на которые оказывает влияние присутствие водорода. Определенную роль в активировании реакций на обрабатываемой поверхности и в более глубоких слоях могут играть ионизирующие излучения, а также ударные волны.

4. Взаимодействие водорода с легирующими элементами и матрицей сплавов зависит от их физико-химических свойств, растворимости водорода, его склонности к образованию химических соединений, а также температурных условий при обработке в равновесных и неравновесных условиях, определяющих развитие процессов релаксации. Это приводит к существенным изменениям физико-химических свойств поверхностных слоев, которые необходимо учитывать при проведении расчетов, характеризующих константы соответствующих диффузионных процессов.

5. Предложена модель процессов сопровождающих водородо-стимулированную диффузию, согласно которой реакционная зона пред-

ставляет собой многослойный объем металла (типа "сэндвича"). При использовании конкретных типов КППЭ и условий обработки размеры каждого из слоев могут существенно изменяться в зависимости от протекающих физико-химических процессов. Данная концепция, по нашему мнению, описывает основные факторы протекающих явлений, не учитывая, естественно, всего многообразия комплекса процессов.

6. В более широком плане появляется возможность регулировать за счет этого явления физико-химические процессы как на поверхности обрабатываемых материалов, так и в более глубоких слоях, получая заранее заданные свойства в различных объемах обрабатываемых изделий.

Изложенное выше указывает на необходимость дальнейшего развития теоретического и экспериментального изучения роли водорода в рассмотренных процессах, а также в смежных направлениях, характеризующихся применением водорода в соответствующих технологиях.

Список литературы: 1. Гольцов В.А. Водородопроницаемость сталей. - М.: Наука, 1969. — 232 с. 2. Карпенко Г.В., Похмурский В.И., Далисов В.Г. и др. Влияние диффузионных покрытий на прочность стальных изделий. — Киев: Наук. думка, 1971. — 167 с. 3. Гельд П.В., Рябов Р.А. Водород в металлах и сплавах. — М.: Металлургия, 1974. — 270 с. 4. Фаст Дж. Взаимодействие металлов в газах. — М.: Металлургия, 1975. — 350 с. 5. Сидоренко В.М., Федоров В.В., Барабаш Л.В., Похмурский В.И. Ускорение процессов самодиффузии в металлах под влиянием растворенного водорода. ФХММ, 1977, 2 — 27-30 с. 6. Лариков Л.Н. Красильников В.С. Аномальное проникновение аргона в алюминий при совместной бомбардировке его поверхности ионами аргона и водорода. — Препринт №79 Ин-та металлофизики АН УССР. Киев, 1979. — 19 с. 7. Лахтин Ю.Н., Коган Я.Д., Шпис Г.И. Теория и технология азотирования. М.: Металлургия, 1991. — 320 с. 8. Баряхтар В.Г., Буравлев Ю.М., Милославский А.Г. О влиянии водорода на имплантацию азота и аргона в углеродистые стали и титан. — Материалы XI конф. "Взаимодействие ионов с поверхностью." М.: 1993, т. 3. — 164-166 с.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫМИ СРЕДСТВАМИ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ ПЕРЕДАЧ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

Басинюк Я.В. (ИНДМАШНАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь)

Data about applying of software for microprocessor units of many parameters

inspection on production and assembly of gearing are given.

Оценка качества изготовления и сборки приводов относится к одному из наиболее сложных и трудоемких процессов, во многом определяющим их эксплуатационные характеристики. Определенную сложность представляет оценка действительных динамических качеств передач зацеплением, оказывающих значительное влияние на виброакустику механизма в целом.

Для оценки качества изготовления и сборки передач зацеплением в ряде случаев достаточно эффективен комплексный анализ, основанный на использовании результатов одновременного фиксирования в реальном масштабе времени двух и более функциональных параметров, осуществляемого с использованием микропроцессорных систем с ПЭВМ, адаптером и периферийными датчиками.

Построение аппаратно-программных средств анализа, основанного на использовании зафиксированных в реальном масштабе времени данных, косвенно характеризующих динамические процессы в передаче, предполагает решение вопроса об уровне корреляции между фазой, формой и амплитудно-частотными характеристиками действительных и фиксируемых процессов и стабильности его поддержания в процессе контроля измерительными трактами, в общем случае включающими передающие сигнал элементы диагностируемого объекта. Необходимо учитывать так же, что использование микропроцессорных средств контроля предполагает дискретизацию съема параметров процесса, частота которой может оказывать самое существенное влияние на полученные результаты. При этом, в процессе длительного контроля динамических процессов система оперирует значительными по объему массивами данных, полный визуальный контроль которых затруднителен и в целом вряд ли полезен.

Для решения данных проблем целесообразно создание микропроцессорных средств, включающих систему контроля с программным обеспечением, имеющим гибкие самоорганизующиеся элементы, оперативно определяющие номенклатуру и объем использования периферийных датчиков. В его алгоритм вводятся элементы полуэмпирического моделирования диагностируемых динамических процессов, что позволяет значительно повысить достоверность оценки полученных результатов.

К основным задачам, во многом определяющим состав и построение такого программного обеспечения, можно отнести:

- формирование технически обоснованной номенклатуры контролируемых параметров и мест размещения периферийных датчиков, а также подбор микропроцессорной системы с соответствующими уровнем решаемых

мых задач фундаментальными возможностями;

- разработка близкой к реальной математической модели физических процессов, протекающих в диагностируемом объекте,

- создание рационального алгоритма функционирования программного обеспечения, позволяющего исходя из конкретных задач исследований установить наиболее целесообразные режимы тестирования диагностируемого объекта.

Как показывают исследования, при передаче исходного сигнала могут происходить задержки сигнала во времени, изменения его амплитудно-частотных характеристик и в целом модификации, связанные с влиянием на передаточную функцию системы собственных частот колебаний передающих элементов, соотношения этих частот с частотами колебаний возмущающего фактора, жесткостных и демпфирующих характеристик механизма, что должно быть учтено при создании программного обеспечения. В ряде случаев, достаточно эффективным оказывается предварительная фильтрация снимаемого сигнала посредством электрических фильтров. При этом, корректное полумпирическое комплексное моделирование контролируемого процесса и поведения элементов, передающих импульсы от возмущающего фактора к датчику, как правило, позволяет уже на стадии создания микропроцессорной системы контроля определить требуемые параметры этих фильтров и ориентировочно оценить эффективность их использования. Кроме того, построение модели взаимосвязи между каналами позволяет сформулировать алгоритм решения проблемы временного согласования зафиксированной многопараметрической информации при многоканальном съеме данных.

На рис.1 показан пример изменения формы, амплитуды и фазы исходного синусоидального сигнала при его прохождении через простейшую одномассовую упруго-демпфирующую систему.

Приведенный пример достаточно близко описывает прохождение генерированного в зубчатом зацеплении сигнала через подшипниковый узел к опоре с пьезоэлектрическим датчиком.

Для получения достоверной информации, в зависимости от соотношения собственных частот колебаний механической части системы, участвующей в передаче диагностируемого сигнала, частотных характеристик фиксируемого процесса и скоростей съема диагностической информации вводится предварительная (посредством электрических фильтров) или математическая фильтрация снимаемого сигнала. Вместе с тем, в сложной многомассовой системе и в этом случае достоверные результаты могут быть получены лишь после предварительного определения наиболее информативных точек контроля диагностируемого объекта.

Программный комплекс для оценки качества изготовления и сборки приводных систем включает две группы программ.

Первая группа программ, обеспечивающая съем, накопление и предварительную обработку диагностических данных, включает:

- подпрограмму выбора алгоритма и режимов съема диагностической информации, тарировки и тестирования измерительных трактов, параметров и схем фильтрования исходного сигнала (при необходимости),
- подпрограмму предварительной обработки и представление полученных данных в требуемом виде с автоматическим созданием протокола

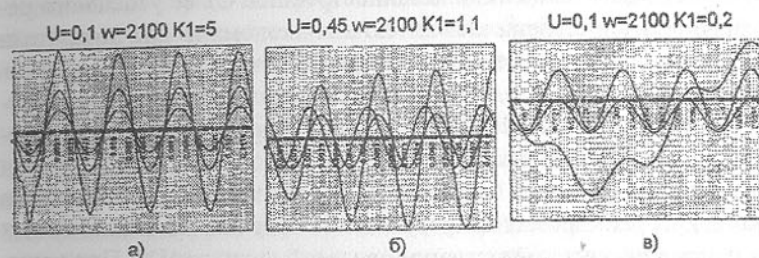


Рис. 1. Схема преобразования формы, амплитуды и фазы исходного синусоидального сигнала (1) в сигнал на опоре при его прохождении через одномассовую упруго-демпфирующую систему и фиксации пьезоэлектрическим датчиком без фильтрации (2) и с фильтрацией (3) при частоте собственных колебаний передающей системы, большей (а), близкой к ней (б) и меньшей (в) частоты исходного сигнала.

диагностирования и формирования полумпирических динамической модели системы.

Вторая группа программ обеспечивает идентификацию полученных результатов с функциональным состоянием диагностируемого объекта, параметрами, характеризующими качество его изготовления и сборки, при необходимости осуществляет прогнозирующие расчеты ресурса работоспособности.

Применение приведенного подхода в ИНДМАШ НАН Беларуси для определения качества изготовления и сборки, а также оценки динамики приводов на основе зубчатых передач на диагностическом комплексе с микропроцессорной многоканальной системой сбора диагностической информации в реальном масштабе времени одновременно по 2-8-ми каналам показало достаточно высокую эффективность его реализации и подтвердило возможности создания на их основе цеховых средств контроля.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ГРАНИЦ

Баталин В.Ю., Семенов А.Д. (Пензенский ГУ, г. Пенза, Россия)

The report is devoted to the solution of task of optimization of conditions of mechanical processing.

Задача оптимизации режимов механической обработки является одной из основных задач технологии машиностроения. От ее успешного решения в значительной степени зависят технико-экономические показатели технологических процессов механической обработки. Однако до настоящего времени решение этой задачи находится далеко от полного завершения, что обусловлено ее высокой размерностью и нелинейностью уравнений связи и критериев оптимизации.

Известно, что решение подобных задач осуществляется методами нелинейного программирования, требующими больших вычислительных затрат на поиск глобального экстремума целевой функции [1]. При решении рассматриваемой задачи предлагается использовать модифицированный метод границ, который рассматривается ниже.

Пусть исходная задача оптимизации задана как задача нелинейного программирования:

$$\begin{aligned} P(h, v, \omega) &= \min; \\ Q(h, v, \omega) &= Q_0; \\ M(h, v, \omega) &= M_0; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} S(h, v, \omega) &= S_0 \\ |h| \leq h_m; |v| \leq v_m; |\omega| \leq \omega_m \end{aligned} \quad (2)$$

где P - мощность резания, Q - производительность, M - масса материала снимаемая за один рабочий цикл, S - стойкость инструмента, Q_0, M_0, S_0 - задаваемые значения параметров, h, v, ω - глубина резания, подача и скорость резания соответственно, h_m, v_m, ω_m - предельные значения вышеуказанных переменных.

Конкретный вид уравнений (1) определяется либо теоретически, либо экспериментально, например с использованием методов регрессионного анализа [3]. В качестве целевой функции может использоваться любое из уравнений связи (1), в рассматриваемом случае целевой функцией является мощность резания.

Разработанный устойчивый алгоритм поиска глобального минимума целевой функции заключается в следующем: для заданных значений Q_0, M_0, S_0 методом сканирования подбирается такое $P_{\min}$, чтобы решение системы нелинейных уравнений (1) модифицированным методом Ньютона удовлетворяло неравенствам (2). Сочетание хорошо разработанных методов сканирования и модифицированного метода Ньютона, при ограниченном варьировании начального приближения (2), обеспечивает гарантированную сходимость процесса поиска экстремума целевой функции [3].

Разработана и программа решения задачи оптимизации режимов механической обработки средствами вычислительной техники и проведения ее апробация для случая механической обработки волокнистых материалов в текстильных машинах [3].

Список литературы: 1. Кузин Л.А. Основы кибернетики. М.: Энергия, 1973., 503 с. 2. Районам Н., Чадив В. Построение моделей процессов производства. М.: Энергия, 1975, 375 с. 3. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит. 1963, 659 с. 4. Баталин В.Ю. Оптимизация режимов механической обработки волокнистых материалов в кипных питателях с верхним отбором волокна// Проблемы управления точностью автоматизированных производственных систем. Пенза, 1996, с. 62-66.

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ ПЕРЕМЫЧКИ В ПРОЦЕССЕ МНОГОРУЧЬЕВОЙ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЯ

Бейгельзимер Я.Е., Спусканюк А.В.

(ДонФТИ НАН Украины, г. Донецк, Украина)

Маншилин А.Г., Шульгин Г.М. (НПО "ДОНИКС", г. Донецк, Украина)

The destruction of cross connection during the multistream separation rolling is investigated. The determination of fracture place is based on calculation of plasticity resource of metal. To consider a stressed state stiffness factor of the cross connection the analogy of rolling in dividing calibres together with forging in narrow stamps is used.

Операция отделения сочлененных в многониточном раскате профилей друг от друга является одной из наиболее важных и сложных при реализации многоручьевой прокатки-разделения.

В докладе рассмотрен один из принципов продольного разделения раската, называемый контролируемым разрывом, который используется

при производстве арматурной стали. Согласно этому принципу в многоручьевых калибрах формируют раскат, состоящий из двух заготовок с любой формой поперечного сечения, например, квадратной, соединенных между собой вдоль одной из осей (диагоналей) относительно толстой перемычкой. Разделение двухниточного раската выполняют в двухручьевом калибре с ручьями соответствующей формы путем создания в зоне перемычки растягивающих напряжений. Они создаются силами, действующими со стороны боковых поверхностей гребней двухручьевого разделяющего калибра, а также моментами, связанными с неоднородной деформацией полосы.

Одновременно с растяжением перемычки в очаге деформации осуществляется ее утонение путем обжатия гребнями валков, что позволяет контролировать процесс продольного разделения раската изменением зазора между ними.

Согласно современным представлениям разрушение перемычки следует рассматривать как результат накопления в ней повреждений при прокатке полосы в разделяющем калибре. Для анализа этого процесса использована аналогия между прокаткой и ковкой узкими бойками.

Наиболее жесткое напряженное состояние возникает на оси симметрии полосы, а наибольшая величина интенсивности скорости деформации - вблизи краев штампа. По этой причине имеются две вероятные области зарождения макротрещин: на горизонтальной оси симметрии полосы и по краям штампа. Из-за того, что грани гребня разделяющего калибра наклонены к полосе (а не перпендикулярны к ней, как в штампах), снижается вероятность появления первой трещины в области контакта полосы с валком. Растягивающие напряжения, обусловленные клиновым сечением гребня разделяющего калибра, "ужесточают" напряженное состояние и повышают вероятность появления первой трещины на оси симметрии полосы. По этой причине следует ожидать, что первая макротрещина появится на оси симметрии полосы. После этого, под расклинивающим действием гребней валков, она прорастет к вершинам гребней до разрушения перемычки. Так как трещина зарождается на оси симметрии, то при ее разрастании к вершинам гребней разделяющего калибра должны наблюдаться вогнутые внутрь полосы поверхности разделения. В пользу приведенных выше качественных рассуждений говорят результаты экспериментальных исследований процесса продольного разделения полосы в прокатных валках.

Количественный прогноз места появления первой макротрещины основан на вычислении ресурса пластичности металла в районе перемычки. Расчет напряженно-деформированного состояния последней выполнен

с учетом указанной выше аналогии между прокаткой в разделяющем калибре и ковкой узкими бойками. Благодаря этой аналогии появляется возможность принять во внимание значительную неоднородность деформации по ширине полосы, вплоть до наличия жестких недеформируемых красных участков. Последние приводят к возникновению изгибающих моментов в теле полосы и растягивающих напряжений в перемычке.

Для расчета последних полоса представлена в виде двух скрепленных друг с другом полос, предварительно изогнутых в противоположные стороны. Радиус дуги изгиба определяется путем вычисления неоднородного деформированного состояния каждой из полос, которое, в свою очередь, и определяется на основе решения задачи о внедрении в полосу узких штампов.

Учитывается релаксация во времени указанных выше моментов и растягивающих напряжений. Это приводит к тому, что при относительно малой скорости прокатки место разрыва перемычки удаляется в направлении движения полосы либо, при прочих равных условиях, разрыв вообще не происходит. Последнее обусловлено как повышением пластичности металла при малых скоростях нагружения (успевают заживать микроповреждения) так и снижением жесткости напряженного состояния из-за релаксации растягивающих напряжений.

Развитый подход позволяет в принципе рассчитать радиус кривизны заготовок после разделения.

К ТЕОРИИ МНОГОРУЧЬЕВОЙ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЯ

Бейгельзимер Я.Е. (ДонФТИ НАНУ, г.Донецк, Украина), Маншилин А.Г., Шульгин Г.М. (НПО «ДОНИКС», г. Донецк, Украина)

A general equation (structure) of kinematically allowable velocity fields for the problem of multistream rolling-division is proposed. R-function method is used for this construction. The obtained structure can be used for solving the described problem by upper bound approximation method or method of variation.

Одним из перспективных направлений в области интенсификации прокатного производства является многоручьевая прокатка-разделение (МПР). Сущность МПР заключается в формировании из одной заготовки (слитка) одновременно нескольких профилей, сочлененных между собой по ширине, и последующем их разделении.

Технологии МПР присущи следующие преимущества перед ручьевой традиционной технологией прокатки: значительное увеличение производительности прокатных агрегатов, экономия электроэнергии и топлива, снижение себестоимости продукции, возможность увеличения сечения исходной заготовки и повышение за счет этого производительности передельного стана; рациональное сочетание прокатных станов с МНЛЗ. При всех своих достоинствах МПР сложна в реализации, требует тщательного проектирования и всестороннего исследования качества получаемого металла. Характерная особенность процесса - существенная неоднородность деформации по ширине полосы, вплоть до наличия нескольких одновременно существующих, взаимодействующих между собой очагов деформации. С обстоятельством связаны значительные трудности в разработке технологий МПР, которые пока что не преодолены из-за малой изученности процесса.

Перед теорией МПР стоят две основные задачи - описать процесс разрушения металла в перемячке и предсказать характер искривления полосы. Решение этих задач базируется на достаточно подробном исследовании напряженно-деформированного состояния полосы, которое может быть выполнено одним из прямых вариационных методов. В случае постановки задачи в скоростях эти методы предполагают наличие выражений для кинематически-возможных полей скоростей - пробных функций, удовлетворяющих условию не сжимаемости и кинематическим краевым условиям. Главная проблема, возникающая при этом, - автоматическое удовлетворение условию непроницаемости поверхности валков. В настоящей работе изложен подход к ее решению. Он основан на структурном методе, развитом в работах В.Л. Рвачева.

В работе задача построения кинематически-возможного поля скоростей сводится к следующей:

- определить общее непрерывно-дифференцируемое решение уравнения

$$\nabla \cdot V = 0 \text{ в } \Omega \subset R^3,$$

- удовлетворяющее условию $n \cdot V = 0$ на границе Ω , где n - нормаль к границе Ω . Последнее условие представляет собой условие непроницаемости границы области.

Область Ω имеет вид канала, определяемого соотношением

$$\Omega = \Omega_1 \cap \Omega_2 \cap \Omega_3,$$

где Ω_1 - область, занимаемая исходной полосой, Ω_2 - область вне валков, Ω_3 - область, лежащая позади валков в направлении прокатки, сечение которой совпадает с сечением калибров; $\cap$ - знак пересечения.

С использованием аппарата R -функций в работе построено нормализованное уравнение кусочно-гладкой границы области Ω и показано, что поставленной выше задаче удовлетворяет выражение

$$V = \omega^2 F + \omega \nabla \omega (G \nabla \omega),$$

где ω - функция, которая на границе области Ω удовлетворяет уравнению $\omega = 0$ (нормализованному уравнению границы области Ω), а внутри области Ω , $\omega > 0$; F и G - произвольные бесконечно гладкие в Ω поля. Функция ω имеет вид

$$\omega = \omega_1 \omega_2 \omega_3,$$

где ω_i ($i=1, 2, 3$) - функции, которые равны 0 на границах соответствующих Ω_i и больше 0 внутри Ω_i .

Общая структура кинематически-возможного поля v в задаче МПР представляется в виде

$$v = V + V_0,$$

где V_0 - частное кинематически-возможное поле задачи МПР, соответствующее гипотезе плоских сечений.

ОСОБЕННОСТИ КИНЕМАТИКИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ВИБРОИМПУЛЬСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Беломестных А.С. (Восточно-Сибирский институт МВД РФ, г. Иркутск, Россия)

The outcomes experimentally - analytical research of a kinematics of a working organ during vibro-impulse handling are discussed. The detected effect relaxational of oscillations of a working organ is considered.

Виброимпульсная обработка (ВИМО) представляет собой объемную вибрационную обработку деталей посредством сообщения импульсных воздействий в среду загрузки. По сравнению с традиционным новое виброимпульсное оборудование не имеет дебалансного вибратора, что позволяет значительно снизить мощности и габариты установки, уменьшить уровень шумов и вибраций, обеспечить повышенные динамические параметры.

Режимы обработки деталей при ВИМО определяются в первую очередь характером деформации рабочего органа - эластичного дна контейнера. Для исследования кинематики дна контейнера разработан измерительно-вычислительный комплекс на базе персональной ЭВМ, схема которого приведена на рисунке.

Комплекс включает в себя контейнер станка с эластичным дном 1, к которому в исследуемой точке жестко крепится индентор 3, служащий для передачи вертикальных деформаций дна потенциометрическому датчику 4. При обкатывании роликом 2 эластичного дна 1 на выходе датчика 4 формируется сигнал, пропорциональный перемещению исследуемого участка дна. Далее информационный сигнал через согласующее устройство УС поступает на аналого-цифровой преобразователь АЦП и затем на персональный компьютер ПК для последующей цифровой обработки и запоминания.

Вся поверхность эластичного дна контейнера была разбита на участки размером 15х15 мм. Для каждого такого участка проведено исследование характера деформации. Результаты обработаны на компьютере.

В результате экспериментальных исследований впервые для виброимпульсной обработки выявлен эффект релаксационных колебаний рабочего органа установки

(дна контейнера). Установлено, что деформация дна представляет собой полуволну высотой равной величине погружения ролика в дно с последующими релаксационными колебаниями с меньшей амплитудой. Причем значения амплитуд релаксационных колебаний возрастают с увеличением

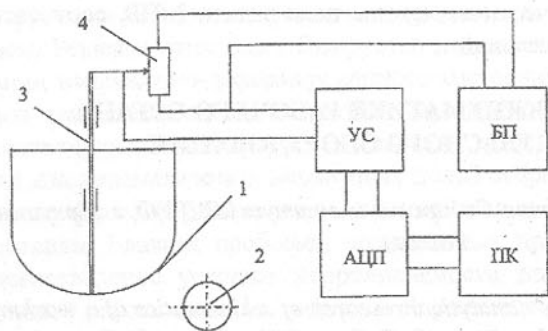


Рис. Схема измерительного комплекса для исследования кинематики эластичного дна контейнера.

деформации дна контейнера и уменьшаются с увеличением высоты загрузки. Для реальных значений высоты загрузки $H_z=80-160$ мм высота релаксационных полуволн не превышает 30-40% от амплитуды основной полуволны.

Обнаруженное явление позволило объяснить ряд явлений при ВИМО, например, явление виброожижения загрузки, а также наличие дополнительной гармоник в осциллограммах перемещения частиц загрузки.

Аналитическими исследованиями установлено, что отрицательная (релаксационная) полуволна деформации создает разрежение в придонной области, вызывая тем самым рост напряжений в среде загрузки и способствуя интенсификации силовых взаимодействий между частицами.

Эффект релаксационных колебаний дна контейнера обуславливает возможность интенсификации процесса ВИМО за счет увеличения скорости циркуляции, а значит и числа проходов обрабатываемых деталей через зону интенсивных воздействий, что способствует подъему производительности ВИМО. Дополнительная составляющая скорости циркуляции (вызванная релаксационными колебаниями дна) V_4^{don} обратно пропорциональна времени, требующемуся для прохождения всей массы загрузки через зону интенсивных воздействий:

$$V_4^{don} = \frac{V_1}{V_{zk}} = \frac{4A_p f_n K_{рол}}{w_p^2 V_{zk}}$$

где V_{zk} - объем загрузки в контейнере; V_1 - объем загрузки, численно равный деформированному объему дна (во время прохождения отрицательной волны деформации), прошедший через зону интенсивного воздействия в единицу времени; A_p - амплитуда релаксационной волны; f_n - частота колебаний привода; $K_{рол}$ - число роликов на приводном валу; w_p - частота релаксационных колебаний.

Таким образом, обнаруженное явление релаксационных колебаний рабочего органа виброимпульсной установки позволило выявить дополнительные факторы интенсификации процесса ВИМО. Кроме того результаты аналитического исследования особенностей кинематики рабочего органа имеют большое значение для выбора рациональных конструктивных параметров оборудования ВИМО (например, для определения количества роликов, геометрических параметров и материала эластичного дна контейнера).

АКТИВИРОВАННОЕ ГАЗОПЛАМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

Белоцерковский М.А., Черепко А.Е. (ИНДМАШ, г. Минск, Беларусь)

A new flame spraying equipment and technological processes are presented. At is shown that a new unit for high speed thermal jet spraying can be used for abrasive treatment.

Использование традиционных схем реализации способов газотермического напыления позволяет формировать покрытия, удовлетворяющие запросам многих ремонтных производств. Однако качественные параметры этих слоев не всегда адекватны повышенным требованиям к эксплу-

тационным характеристикам деталей машин, работающим в условиях интенсификации производственных процессов. Это существенно затрудняет более широкое применение данных технологий.

В этих условиях возможными путями повышения качества и снижения затрат при нанесении покрытий методами газоплазменного напыления и расширения зоны их рационального использования являются: создание термораспылительных систем, обеспечивающих формирование высокоскоростных, высокоэнергетических двухфазных потоков; повышение эффективности струйно-абразивной подготовки поверхности за счет увеличения динамических и теплофизических параметров частиц абразивного материала.

Развитие методов высокоскоростного напыления осуществляется в двух направлениях: разработка систем плазменного сверхзвукового напыления и создание установок сверхзвукового газоплазменного напыления.

Необходимо отметить, что сверхзвуковое плазменное напыление обеспечивает скорость струй до 3000 м/с при температуре до 7000°К, при этом скорость полета частиц достигает 500 м/с. Формируемые покрытия имеют высокие физико-механические свойства, однако при этом удельная стоимость напыления превышает даже аналогичный показатель детонационного метода.

Сущность процесса активированного высокоскоростного газоплазменного напыления заключается в том, что в образованную за счет сгорания при определенных условиях различных углеводородных топлив высокоскоростную струю подают присадочный материал, который может либо формировать покрытия с высокой плотностью и достаточной плотностью сцепления, либо быстро и качественно очищает поверхность от различного рода загрязнений. В первой половине 80-х годов было положено начало интенсивному развитию данной области газотермического напыления, и уже к настоящему времени накоплен большой опыт совершенствования этого метода, разработано и предложено значительное количество различных видов оборудования для сверхзвукового газоплазменного напыления. Аналогичная система создана и в Институте надежности машин НАН Белоруси.

Принципиальная схема оборудования включает радиальный способ подачи расходного материала в закритическую область сопловой части горелки. Это значительно упрощает внутреннюю конструкцию оборудования, обеспечивает устойчивый процесс сжигания горючей смеси. Это значительно упрощает внутреннюю конструкцию оборудования, обеспечивает устойчивый процесс сжигания горючей смеси в полости камеры сгорания и значительно снижает эрозионный износ криволинейных поверхностей сопла Ловала. В качестве рабочей используется пропано-воздушная

смесь с отдельной подачей компонентов.

Явным преимуществом предлагаемой схемы является простота и универсальность разработанного оборудования. В нем не используется чистый кислород, окислителем служит сжатый воздух, который предварительно проходит через внутренние полости, охлаждая детали конструкции. Отсутствие громоздкой, сложной системы водяного охлаждения позволяет значительно уменьшить размеры и вес горелки, сделав ее доступной для работы как в стационарном, так и ручном режиме. Кроме того, установка легко модифицируется в аппарат для струйно-абразивной очистки поверхностей перед напылением, удаления краски и ржавчины с производительностью до 20 м²/ч.

Метод и предлагаемое оборудование сверхзвукового газоплазменного напыления способны формировать высокоскоростную струю (свыше 1500 м/с), сообщаящую частицам расходного материала скорость свыше 500 м/с, и тем самым позволяют наносить покрытия толщиной до 5..6 мм практически со 100%-й плотностью и прочностью сцепления порядка 70..100 Мпа. При этом низкая температура сгорания рабочей смеси резко уменьшает окисляющую способность струи, исключает термическое повреждение напыляемых частиц и вновь сформированных слоев.

Однако высокоскоростные пропано-воздушные системы, применяемые в СНГ и дальнем зарубежье, расходуют не менее 3,6 м³/ч пропана и 3 м³/мин сжатого воздуха при давлении 0,4 и 0,6 Мпа соответственно. Это делает возможным эксплуатацию таких систем только в условиях крупных промышленных производств, располагающих мощными газораспределительными и компрессорными станциями.

В связи с вышесказанным в ИНДМАШ НАН Беларуси была разработана идея расширения возможностей традиционного газоплазменного напыления и повышения физико-механических свойств получаемых покрытий за счет оснащения оборудования малогабаритными камерами сгорания, способными формировать высокоскоростную струю.

Реализация процесса осуществляется на новой установке газоплазменного напыления, содержащей реактивный активатор, обеспечивающий дополнительный нагрев и ускорение частиц, летящих в основном факеле термораспылителя.

Основным элементом активатора является малогабаритная камера, способная формировать высокоскоростной поток продуктов сгорания пропано-воздушной смеси, который фокусируется в зоне достижения частицами напыляемого материала максимальной температуры от основного факела. Первичный факел образуется в результате горения рабочей смеси газоплазменного распылителя «Терко», на сопловой части которого монтируется реактивный активатор.

Одним из преимуществ предлагаемой конструкции является использование для охлаждения рабочих поверхностей реактивного устройства сжатого воздуха, часть которого затем отводится в приемный коллектор камеры сгорания. Это позволяет улучшить условия воспламенения горючей смеси и повысить температуру пропано-воздушного пламени. Использование многосопловой керамической вставки внутри камеры в совокупности с воздушным регенеративным охлаждением обуславливает небольшие габаритные размеры активатора. При помощи специально предусмотренного регулировочного крана, ограничивающего подачу воздуха на смесеобразование, можно создавать либо окислительную, либо восстановительную атмосферу вторичного пламени.

Предполагалось, что такая модернизация оборудования для газопламенного порошкового напыления позволит существенно повысить скорость частиц наносимого материала и получить высокоплотные покрытия, имеющие прочность сцепления с основой вдвое выше, чем при традиционной схеме. Экспериментальные исследования осуществлялись с использованием композиционной порошковой шихты, содержащей ферросплавы, частицы абразивного шлама, интерметаллиды и хромоникелевый сплав. Напыленные покрытия имели пористость менее 5% и прочность сцепления более 45 МПа.

Уменьшив плотность теплового потока первичного факела, газопламенный термораспылитель с реактивным активатором использовали для термоструйно-абразивной обработки металлических поверхностей. При этом скорость подготовки поверхности под напыление увеличилась вдвое.

Нужно отметить, что выбор метода восстановления деталей машин зависит от многих факторов, но при возможности получения близких по свойствам покрытий различными способами критерием выбора становится экономический фактор. А наиболее дешевыми как по стоимости оборудования, так и по затратам на реализацию процесса является газопламенное напыление. Кроме того, эта технология характеризуется применением простых и мобильных установок, а также возможностью осуществления процесса в не стационарных условиях.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Бельчик Л. Д. (ИНДМАШ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)

The developed electronic-and-hydraulic system is intended to control the mounted implements of mobile machines in the automatic and manual modes and it comprises an actuating member, hydraulic power amplifier, controllable

parameter transducers, signalprocessing electronic unit and the unit entering the operator's commands.

Разработка систем автоматического управления рабочими органами вызвана необходимостью повышения технического уровня создаваемых мобильных машин и экономии горючего при их работе. Использование систем позволяет снизить перерасход топлива на основных почвообрабатывающих операциях на 5...10 % [1].

Новое поколение указанных систем создается с использованием современных средств электрогидравлики и электроники, обладает целым рядом преимуществ и открывает широкие возможности для дальнейшей автоматизации технологических процессов.

В Институте надежности машин НАН Беларуси проводятся работы по созданию электрогидравлической системы с микропроцессорным блоком обработки сигналов, которая позволяет управлять рабочими органами в ручном и нескольких автоматических режимах (позиционное, силовое и смешанное регулирование, а также гидроувеличение сцепного веса).

Технические решения, примененные в конструкции электрогидравлического распределителя системы, направлены на повышение быстродействия, герметичности, надежности работы, снижение времени запаздывания, металлоемкости и позволяют его адаптировать с отдельно-агрегатными и моноблочными гидравлическими системами различных типов машин. Для выбора рациональных конструктивных параметров распределителя по заданному динамическому критерию и уменьшения трудоемкости разработки использован метод, включающий анализ конструкций, экспериментально-статистическое и математическое моделирование. Предложенный метод позволяет повысить качество управления рабочими органами и снизить динамические воздействия на машину и оператора от инерционных нагрузок, возникающих при работе системы.

В качестве электромеханических преобразователей применены электромагниты пропорционального и релейного типов и предусмотрена возможность их замены на пьезокерамические актюаторы.

Для уменьшения количества электронных узлов системы и соединительных кабелей блок обработки сигналов совмещен с пультом управления. При их изготовлении учтены требования современного дизайна, использована перспективная элементная база ведущих в области электроники фирм и поверхностный монтаж плат. Использование отработанного в полевых условиях алгоритма управления, который содержит программные решения по повышению устойчивости и качества регулирования, позволяет получить высокие технические характеристики системы.

Индуктивные бесконтактные датчики регулируемых параметров (положения, усилия, давления и расхода) содержат встроенные вторичные преобразователи, отличаются стабильностью выходных характеристик, обеспечивают достаточную надежность и долговечность измерительных каскадов.

Для наиболее полного использования возможностей системы предусмотрено отображение информации о процессах управления на дисплее бортового компьютера машины. Это позволяет осуществлять выбор оптимального режима регулирования по количественным динамическим критериям с учетом данных, поступающих от других локальных систем машины.

Кроме этого, весьма перспективной представляется проводимая в Институте разработка системы управления рабочими органами с многосекционным электрогидравлическим распределителем, который совмещает управление основным и дополнительными гидроцилиндрами, что упрощает компоновку и обслуживание системы. Обеспечение высокого качества управления скоростью гидродвигателя требует тщательного изготовления основных деталей распределителя. Предлагаемая система имеет обратную связь по расходу, поэтому на выходную скорость поршня гидроцилиндра существенного влияния не оказывают изменения внешней нагрузки, давления питания и слива. При этом снижаются требования к точности изготовления клапанов, плунжерных пар, к величинам начального осевого расстояния между рабочими кромками и к их форме.

С целью проверки работоспособности электрогидравлической системы управления в лабораторных условиях, а также для определения статических и динамических характеристик разработаны методика исследований и комплекс испытательного оборудования, состоящий из экспериментальных установок и стенда с измерительной системой.

Электрогидравлической системой управления рабочими органами для проведения испытаний будут оборудованы опытные партии тракторов "Беларусь".

Список литературы: 1. Гельфенбейн С.П., Волчанов В.Л. Электроника и автоматика в мобильных сельхозмашинах. - М.: Агропромиздат, 1986.-264с.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ НАНЕСЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ

Бизюков А.А. (ХТУ, г. Харьков, Украина)

The technology of low-temperature deposition of diamond-like films is described. The investigations of physics properties and parameters of diamond-like films for surface modification are made. The industry using fields of this technology are viewed.

Для пленок алмазоподобного углерода, полученных вакуумно-плазменными методами характерны свойства, ценные с прикладной точки зрения:

- 1) аморфная или микрокристаллическая структура сочетается с высокой плотностью, т.е. покрытия не имеют микропор и трещин при толщинах от десятка ангстрем до нескольких десятков микрон;
- 2) высокая адгезия к различным материалам сочетается с высокой эластичностью и прочностью к упругим деформациям;
- 3) инертность почти к любому виду химического воздействия за исключением окисления при высоких температурах;
- 4) низкий коэффициент трения при высокой твердости, не уступающей естественному алмазу, изменяемая смачиваемость;
- 5) хорошие оптические свойства, возможность изменять показатель преломления в диапазоне 1,5÷2,3;
- 6) повышенная электрическая прочность и большая теплопроводность;
- 7) возможность получения бактерицидных или биологически нейтральных покрытий.

В предлагаемой работе приводятся результаты исследований по использованию пучково-плазменного разряда (ППР) ($I_p=0,1÷1,0$ А, $U_p=0,1÷1,0$ кВ) с внешней инжекцией электронного пучка для осаждения алмазоподобных пленок. Выбор ППР для радиационно-стимулированного нанесения пленок обусловлен высокой степенью диссоциации и ионизации рабочего вещества в разряде, достигающей 100% в условиях пучково-плазменного пробоя разрядного промежутка, относительно большой концентрации плазмы ($10^{11}÷10^{13}$ см⁻³), малым количеством примесей, пониженным рабочим давлением ($10^{-5}÷10^{-3}$ мм рт. ст.), возможностью формирования на обрабатываемую поверхность потоков заряженных частиц значительной плотности ($1÷100$ мА/см²) с заданными свойствами.

Эксперименты проводились с использованием нескольких физических моделей ППР: разряд с накалимым катодом, холловская ионно-

распылительная система, многоканальный модифицированный отражательный разряд с полым катодом. Формирование электронного пучка в отражательном разряде происходило в области катода. В качестве рабочего углеродсодержащего вещества использовались пары летучих углеводородов и их смеси с водородом, азотом, кислородом и хладоном. Широкий спектр использованных устройств и богатый выбор рабочих смесей позволил провести исследование процессов нанесения алмазоподобных пленок в условиях облучения обрабатываемой поверхности скомпенсированными плазменными потоками, а также в условиях преимущественно ионной либо электронной бомбардировки.

Полученные в ходе экспериментов покрытия спектральному, массовому и структурному анализу. Оптические свойства пленок изучались по спектральному поглощению в видимой области спектра. Массовый состав определялся методами масс-спектрометрии вторичных ионов. Структурные исследования проводились путем электронографии и электронной микроскопии. Ширина запрещенной зоны определялась по точке перегиба на зависимости оптической плотности от энергии кванта света и подтверждалась результатами электронографии.

Эксперименты показали практическую идентичность наносимых пленок при использовании разряда с накаливаемым катодом и холловской ионно-распылительной системы. Отличие лишь в более высокой скорости напыления в разряде с накаливаемым катодом. Недостатком последнего является недолговечность накаливаемого катода в углеродсодержащей атмосфере. Многоканальный отражательный разряд с полым катодом использовался для получения однородных покрытий на поверхности $\sim 100 \text{ см}^2$. Температура напыленных образцов не превышала 80°C .

Установлено, что на качество пленки существенно влияет вид преимущественного потока заряженных частиц. В случае, когда процесс осаждения сопровождается преимущественно ионной бомбардировкой (ионный ток на коллектор больше электронного) стабильно полученные алмазоподобные пленки с шириной запрещенной зоны $2,6 \div 2,7 \text{ эВ}$ со скоростью напыления несколько десятков нанометров в минуту. При превышении же электронного тока над ионным ширина запрещенной зоны достигала $3,5 \text{ эВ}$.

Используя в качестве рабочего вещества смеси углеводородов с водородом, азотом, кислородом и хладоном в различных пропорциях, стабильно получены алмазоподобные пленки с шириной запрещенной зоны $3,3 \text{ эВ}$. Полученные покрытия отличались большой микротвердостью (до 3000 кг/см^2 по шкале Виккерса), износостойкостью и однородностью с хорошими адгезионными свойствами как на металлических, так и на диэлек-

трических поверхностях. Электронографические исследования показали, что пленки имеют поликристаллическую структуру с размером зерен в несколько сотен ангстрем и параметром решетки, совпадающим с параметром решетки естественного алмаза.

Разрабатываемая технология и оборудование получения алмазоподобных покрытий успешно применяется для повышения эксплуатационных свойств плунжерных пар, игл, форсунок, некоторых видов режущего инструмента, медицинского инструментария и вживляемых протезов.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО НАНЕСЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА РУЛОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Бизюков А.А., Бобков В.В., Рябчиков Д.Л., Целуйко А.Ф., Юнаков Н.Н.
(Харьковский госуниверситет, г. Харьков, Украина)

The technological system for obtaining the multilayer coatings on the surface of thin roll materials such as polymers, fabrics, paper, foils is described. The system makes it possible to obtain the covers on the materials with the roll width of 600 mm.

В настоящей работе предлагается технологический комплекс для низкотемпературного вакуумно-плазменного нанесения многослойных покрытий на рулонные материалы, включая полимерные пленки, в том числе полиэтилен, фольгу, тканые и нетканые материалы, например, бумагу.

Технологический комплекс представляет собой вакуумную установку полунепрерывного типа, состоящую из четырех модулей, созданных на базе унифицированных камер прямоугольного сечения. Каждый из них имеет дифференциальную систему откачки для получения технологического вакуума лучше $1 \cdot 10^{-5} \text{ мм рт. ст.}$ В первом модуле происходит размотка ленты из рулона, ее дегазация, плазменная очистка поверхности ленты и ее активация для обеспечения высоких адгезионных свойств. Второй и третий модули предназначены для нанесения функциональных слоев на активированную поверхность листового материала. В четвертом модуле происходит намотка ленты в рулон.

Технологические отсеки модулей разделены продольными шлюзовыми устройствами для обеспечения необходимого состава и парциальных давлений рабочих газов в технологических процессах дегазации, очистки, активации поверхности и нанесения покрытий при перемотке ленты. Пер-

вый модуль дополнительно разделен на два технологических отсека с помощью металлической перегородки, герметически прилегающей к стенкам камеры, и также имеющей вакуумный проходной шлюз.

Первый отсек первого модуля, в котором происходит размотка рулона, откачивается только форвакуумным насосом, отбирающим основной поток газов, захороненных ранее во время намотки рулона при атмосферном давлении, включая частицы, слабо адсорбированные на поверхности ленты.

Очистка и активация поверхности исходного рулонного материала происходят во втором отсеке первого модуля при протягивании пленки через пучок ионов рабочего газа с энергией $1+2$ кэВ и плотностью тока $1-5$ мА/см². В качестве рабочих газов используются аргон, кислород, азот, углеводороды и их смеси. Ионный пучок прямоугольного сечения 600×50 мм формируется ионным источником типа ускорителя с анодным слоем и фокусируется на обрабатываемую поверхность пленки. Ионный пучок снабжен системой токовой автокомпенсации ионного пучка газоразрядного типа, что позволяет обрабатывать диэлектрические материалы. В результате процессов ионно-плазменного распыления и плазменно-химических реакций обрабатываемая поверхность очищается от загрязнений и активируется, что важно для дальнейшего процесса нанесения покрытий.

В случае необходимости, обусловленной химическими особенностями материала ленты или техническими требованиями к покрытию, возможна дополнительная очистка поверхности ленты газовым разрядом уже на первом технологическом этапе в отсеке, в котором происходит размотка рулона.

Дополнительно на этапе обработки во втором отсеке первой камеры, а также во второй камере возможно нанесение методом ионно-плазменного осаждения из газовой фазы адгезионных или функциональных слоев, например, типа SiO_2 , Si_3N_4 , $\alpha\text{-C:H}$. Использование предварительной ионно-лучевой обработки поверхности существенно увеличивает адгезионную прочность покрытий, особенно на органических рулонных материалах, и позволяет получать качественные покрытия при низких температурах нанесения.

Нанесение многослойных покрытий производится при прохождении пленки по двум криоохлаждаемым барабанам диаметром 350 мм и регулируемой температурой поверхности $-5 \div +5$ °С. Вокруг барабана второй камеры размещены два, а в третьей камере пять посадочных мест для вакуумно-плазменных систем нанесения функциональных покрытий. В качестве систем нанесения используются унифицированные протяженные магне-

тронные распылительные системы (ВЧ и постоянного тока), линейные дуговые испарители с магнитным удержанием катодного пятна на поверхности мишени, продольные ионные источники типа ускорителя с анодным слоем.

Модернизированные магнетронные распылительные системы имеют сбалансированную магнитную систему, что позволяет переключением электропитания наносить покрытия как в режиме генерации пара материала и подавления плазменного потока на мишень, так и в режиме ионно-стимулированного нанесения покрытий.

Линейные дуговые испарители с размером катода $100 \times 600 \times 30$ мм и потребляемой мощностью 15 кВт могут также работать в двух режимах: в режиме генерации пара и в режиме фокусировки плазменного потока на обрабатываемую поверхность.

Проведена оптимизация конструкций вакуумно-плазменных систем с целью минимального нагрева обрабатываемой поверхности. Особое внимание обращено на подавление электронного потока из зоны разряда на обрабатываемую поверхность. Системы нанесения позволяют получать покрытия металлов, сплавов, их окислов, нитридов и карбидов с высокой скоростью. Например, использование двух дуговых испарителей обеспечивает алюминиевое покрытие толщиной 500 Е на полиэтиленовой ленте шириной 600 мм при скорости подачи 500 мм/сек.

Устройство транспортировки ленты представляет собой набор направляющих и разравнивающих роликов различного профиля, а также силовых узлов, валы которых выведены на атмосферу через вакуумные развязки. Вращение ведущего барабана в третьей камере обеспечивается асинхронным двигателем с регулируемой частотой вращения ротора, связанного с валом барабана через понижающий редуктор. Скорость движения пленки задается частотой вращения криоохлаждаемого барабана и может плавно изменяться от 50 мм/сек до 600 мм/сек. Электрические сигналы от датчиков толщины наносимых покрытий, обрабатываются и подаются на управляющий блок питания асинхронного двигателя. Принцип работы датчиков толщины наносимых покрытий основан на различных физических закономерностях и выбирается в зависимости от свойств покрытия и материала ленты. Так при металлизации полимерных лент устанавливаются датчики, фиксирующие величины отраженных и прошедших через напыленную ленту потоков электромагнитного излучения в наиболее эффективной (с точки зрения используемых материалов) области длин волн.

Барабан второй камеры вращается за счет плотного контакта с рулонным материалом. Вращение валов подающего и намоточного узлов, а

также величина натяжения пленки обеспечивается соответственно двумя двигателями постоянного тока, работающими в режиме сохранения момента на валу. В подающем модуле имеется подвижной ролик, компенсирующий неравномерное натяжение пленки.

На технологическом комплексе налажен производственный процесс, который позволяет получать в промышленных объемах многослойные покрытия на рулонных материалах различного состава толщиной от 30 мкм и более, шириной рулона до 600 мм и диаметром его до 410 мм. Моно- и поликомпозиционные покрытия имеют хорошую адгезионную прочность, обладают высокими функциональными и декоративными свойствами.

На основании полученного опыта, приобретенного в процессе создания настоящего технологического комплекса, и результатов макетных испытаний разработан новый технологический комплекс непрерывного режима работы для вакуумно-плазменного нанесения функциональных покрытий (металлы, сплавы, окислы, нитриды, карбиды, алмазоподобные соединения, ...) на металлические ленты толщиной до 1 мм.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ A^3B^5 ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Благин А.В., Константинов П.А., Алфимова Д.Л.,

Благина Л.В., Абрамов Э.В. (ВНГТУ, г. Волгодонск, Россия)

The results of imitation modelling of space-time evolution of solid phase embryos ensemble from the moment of its emerge up to stable microstructure formation by Geometrical Cluster Growth Models are described in this work.

Получение материалов электроники, характеризующихся теми или иными структурно-чувствительными свойствами, тесно связано с необходимостью формирования у них определенной кристаллической структуры, происходящего в неравновесных термодинамических условиях. Анализ этой проблемы в рамках существующих физико-химических представлений является сложным и до настоящего времени не имеющим однозначного решения. Поэтому наиболее конструктивным подходом к решению этой проблемы является математическое и компьютерное моделирование. В настоящем докладе представлены результаты моделирования пространственно-временной эволюции зародышей твердой фазы от момента их возникновения до формирования устойчивой кристаллической структуры с помощью метода дискретного компьютерного моделирования, известно-

го в отечественной и зарубежной литературе под термином «клеточные автоматы» и модифицированного нами для гетерогенных систем.

При рассмотрении фазовых превращений, согласно теории, наличие малых отклонений от равновесия не влияет на поведение термодинамической системы. Его можно считать детерминированным и описывать с помощью определенного набора параметров. По мере удаления от положения равновесия становится вероятным такое критическое состояние, когда вместо одного устойчивого пути развития процесса появляется несколько устойчивых направлений эволюции системы. При этом выбор пути осуще-

ствляется самой системой в так называемой точке бифуркации (ветвления) за счет случайных флуктуаций - возмущений, отклоняющих ее от «среднестатистического» состояния. Становится вероятным переход системы к новому режиму поведения, в котором любая флуктуация может проявить себя макроскопически, т. е. захватить достаточно большой объем системы и существовать до полного перехода системы в термодинамически иное состояние. Идея метода «клеточных автоматов» заключается в дискретном описании реальной физико-химической системы (макросистемы) большим числом составляющих ее элементов - «клеток». Каждый из этих элементов изменяет свое состояние при наступлении нового дискретного момента времени («шага», «поколения») в зависимости от того, какой была эта клетка и ее ближайшее окружение прежде [1]. Взаимодействие этих эволюционирующих элементов, моделируемое по закономерностям эмпирических

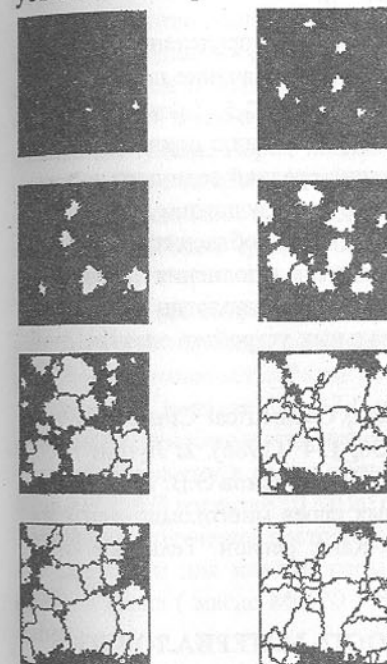


Рис.1. Эволюция зародышеобразования твердой фазы GaInSb (а) и GaInSb<Bi> (б) (вид поверхности с интервалом 50 шагов программы).

данных о реальном поведении кристаллизующейся фазы, позволяет проследить динамику сложного поведения системы как единого целого.

На рис. 1 представлены стадии роста первого слоя для гетероструктур GaInSb/InSb(а) и GaInSb<Bi>/InSb(б) через равные промежутки времени. Из них видно, что введение дополнительного компонента увели-

чивает скорость зарастания слоя. Это можно объяснить тем, что при наличии атомов нового сорта сокращается время нахождения системы в метастабильном состоянии (уменьшается индукционный период), т.е. быстрее заполняются ненасыщенные связи. Для сравнения кинетики роста тройных и четырехкомпонентных гетероструктур были проведены эксперименты по статистическому исследованию индукционного периода. Функция распределения индукционного периода определялась согласно [2]. Ее аналитическое выражение

$$F_{\tau}(t) = 1 - \exp(-\beta t^{\gamma})$$

в математической статистике соответствует закону распределения Вейбулла - Гнеденко. Для твердых растворов GaInSb/InSb значение показателя γ составило 10/3, а для системы $\text{GaInSb/Bi}/\text{InSb}$ $\gamma = 3,5$. Таким образом, рост числа компонентов в растворе ведет к увеличению показателя распределения γ и, соответственно, к уменьшению средней величины индукционного периода, что полностью соответствует результатам имитационного моделирования. Этот интересный факт можно объяснить уменьшением «времени ожидания» центрами кристаллитов заполнения валентных связей. Результаты работы можно использовать в технологии получения элементной базы сложных многофункциональных устройств электронной техники.

Список литературы: 1. H.J. Herrmann, Geometrical Cluster Growth Models and Kinetic Gelation, Phus. Repts. 136, 154 (1986). 2. Луний Л.С., Овчинников В.А., Благин А.В., Алфимова Д.Л., Абрамов Э.В. Исследование начальных стадий роста эпитаксиальных слоев многокомпонентных твердых растворов A^3B^5 . Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. - 1997. - № 3. - С. 92 - 99.

ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОРОШКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ СТРУЖКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Благодарный В. М., Гущин В. И., Голиков Б. С., Шелег П. А.
(НИИПМ с ОП, г. Минск, Беларусь)

In this paper is described tests of wear resistance materials, produced from chip of non-ferrous metals. It is shown the method of test and equipment. It is adduced the comparative analysis of sprayed materials.

Для предварительного исследования антифрикционных свойств материалов, полученных методом плазменного напыления, были проведены лабораторные испытания на унифицированной машине трения СМЦ-2. Работа цилиндрично-порошковой пары имитировалась работой пары по схеме колодка-ролик, обеспечивающей трение скольжения. Ролик, играющий роль контртела и моделирующий зеркало цилиндра, изготавливается из стали 40Х. Чистота обработки рабочей поверхности проводится по 7 классу. При частоте вращения ролика 300 об/мин обеспечивалась скорость скольжения 0,5 м/с.

В качестве подложки для напыленного слоя использовалась испытательная колодка, изготовленная из листовой стали (Ст3), которая представляет собой пластинку. Рабочая поверхность пластинки сделана в цилиндрической выемке. Причем радиус ее кривизны соответствует радиусу ролика-контртела. Перед напылением рабочая поверхность для лучшего схватывания с покрытием подвергалась пескоструйной обработке. После чего осуществлялось плазменное напыление с последующим спеканием в восстановительной среде. Толщина напыленного слоя составила 0,8-1,0 мм.

Исходные сопрягаемые поверхности ролика и колодки с напыленным слоем из порошка, полученного из стружки цветных металлов, имеют разную шероховатость. Ролик $R_z = 4,2$ мкм, что соответствует 7 классу шероховатости, колодка $R_z = 13,6$ мкм, что соответствует 5 классу. У напыленного слоя наблюдается неравномерность покрытия, поэтому перед испытаниями колодку и ролик подвергали приработке при следующих режимах: удельной нагрузке 10 МПа, скорости скольжения 0,5 м/с в течении 2-3 часов до получения постоянной величины момента трения. Момент трения измеряли для каждой пары трения при различных нагрузках (2-21 МПа). Смазка (масло МС-20) подавалась в зону трения фитильным способом.

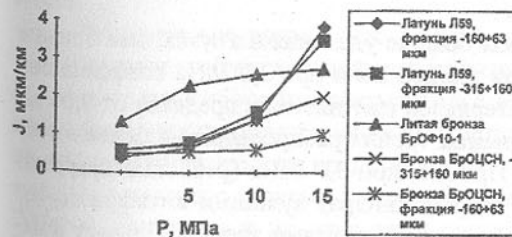


Рис. 1. Зависимость интенсивности износа материалов от нагрузки.

Непродолжительные трибологические испытания образцов колодок с тонкими напыленными слоями антифрикционного покрытия требуют применения достаточно точного метода измерения линейного износа, составляющего в некоторых случаях несколько микрон. Этим тре-

бования хорошо удовлетворяет метод искусственных баз, который предназначен для определения местного линейного износа.

Для получения базы применяли четырехгранную алмазную пирамиду с квадратным основанием и углом при вершине в 136° . Вдавливание проводили на приборе для определения твердости ВИККЕРС. Измерение диагонали отпечатка проводили на твердомере ПМТ-3. В качестве контрольной принималась поперечная диагональ, по уменьшению которой можно судить о величине износа.

Исследование влияния нагрузки проводилось с целью выявления работоспособности напыленных композиций в большом диапазоне нагрузок. Режим проведения испытаний: удельная нагрузка $P = 1,5-15$ МПа, скорость скольжения $V = 0,5$ м/с в паре с закаленной сталью 40Х, смазка маслом МС-20.

Результаты сравнительных испытаний на износостойкость напыленных композиций представлены на рис. 1, из которого видно, что во всем диапазоне нагрузок напыленные композиции, приготовленные на базе порошка из стружки БрОФ10-1, имеют лучшие показатели и превосходят из-

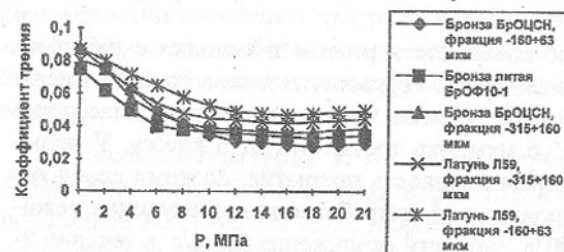


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения материалов от нагрузки.

ры трения имеется диапазон нагрузок, при котором коэффициент трения принимает наименьшее значение.

Из графиков видно, что чем больше удельная нагрузка, тем больше разница в уровне коэффициентов трения. Если при 3,0 МПа коэффициент трения для всех испытуемых материалов изменяется в пределах от 0,06 до 0,08, то при 21,0 МПа коэффициенты трения распределены в более высоких пределах от 0,027 до 0,07. Причем, при 3,0 МПа (реальные нагрузки цилиндро-порошневой группы гидроцилиндра) лучшими антифрикционными свойствами с наименьшими коэффициентами трения обладает компактная бронза.

ПРИМЕНЕНИЕ ИОННО-ЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТРИБОТЕХНИКЕ

Блесман А.И., Гладенко А.А., Машков Ю.К., Овчар З.Н.
(ОмГТУ, г. Омск, Россия)

At present, the method of ion alloying of surface layers is widely used for the desired change of various properties of materials. Localization of triboprocesses in this subsurface region defines the efficiency of use of ion-beam treatment of materials for diminishing of friction and wear in triboconjunctions.

Основой ускорения научно-технического прогресса является разработка и внедрение прогрессивных технологий, их использование в выпуске высокоэффективной техники нового поколения.

В связи с этим первостепенное значение приобретает решение задачи повышения износостойкости и долговечности узлов трения, поскольку этими характеристиками определяется, в основном, срок службы машин и механизмов.

В современной триботехнике разработано большое число методов и средств повышения износостойкости узлов трения, в том числе и металлополимерных. Однако их реализация часто затруднена вследствие ограничения условий применения или избирательного действия. Поиск технологического, эффективного и высокопроизводительного метода модифицирования поверхностей трения привел к применению для этих целей ионной имплантации. Использование ионной имплантации в сфере трибологии позволяет не только улучшать свойства поверхностей, но и изучать природу явлений на них. Поэтому исследовательские работы по направленному изменению свойств материалов, в том числе триботехнических, весьма актуален по своему научному содержанию и практической значимости.

Практическое применение ионной имплантации для решения задач триботехники требует дальнейшего развития этого способа с целью разработки методик выбора имплантируемого вещества, режимов процесса модифицирования применительно к конкретным материалам и конструкциям на основе теоретических представлений о процессах взаимодействия ускоренных частиц с твердым телом. В рамках теорий Линдхарда-Шарфа-Шютта, Зигмунда и др. возможен расчет параметров процесса ионно-лучевой модификации, которые оказывают существенное влияние на триботехнические характеристики материалов.

Важное значение в развитии метода ионной имплантации имеет создание высокоэффективных, технологичных, надежных импланторов, обеспечивающих имплантацию ионов любого сорта в поверхность в поверхность широкого класса материалов. Для технологических целей целесообразно использование, наряду с газоразрядными, твердотельных дуговых частотно-импульсных ионных источников, отличающихся рядом эксплуатационных характеристик.

В качестве примера решения задачи повышения износостойкости узла трения рассматривается технология модифицирования алюминиевого сплава, работающего в паре с полимерным композиционным материалом па основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Теоретическое рассмотрение проблемы и соответствующие расчеты позволили обосновать рекомендации по выбору сорта ионов, их энергии и дозы. Учтено влияние этих факторов на известные закономерности процесса прения и изнашивания и физико-механические свойства трущихся поверхностей. Учитывая правило положительного градиента механических свойств трущегося тела (правило Ребиндера), желательно, чтобы приработочную стадию проходил тончайший менее упрочненный поверхностный слой, а при установившемся трении работал более упрочненный, с большим содержанием импланта, несущий сформировавшуюся на стадии приработки пленку фрикционного переноса, состоящую из продуктов износа полимерной детали и микрочастиц контроля. Для реализации такого условия целесообразно получить с помощью имплантации симметричное распределение ионов по пробегам, что достигается соответствующим выбором комбинации «ион-мишень» и энергии импланта. Эту задачу можно решить поочередной имплантацией ионов с различными энергиями. Из ряда материалов, используемых в качестве импланта для данной мишени, необходимо выбрать с помощью расчетов те из них, для которых пробеги в мишени максимальны. Если при этом выбранный имплант будет обладать высокой поверхностной энергией, то это обеспечит быстрое формирование пленки фрикционного переноса в процессе приработки, а также хорошее ее сцепление с модифицированной поверхностью металлического контртела. Глубина проникновения ионов с энергиями, лежащими в обычном технологическом диапазоне, достигает десятых долей микрона, что оказывается вполне достаточным для улучшения триботехнических свойств. Использование ионов с такими энергиями с одной стороны обеспечивает упрочнение достаточно глубокого слоя, а с другой - не ухудшает микрорельеф поверхности.

Поскольку имплантация ионов в шероховатую поверхность для микровыступов и микровпадин неодинаково эффективна, целесообразно вести

ионное легирование до насыщения поверхности имплантом, порог которого определяется распылением. Для большинства металлов и сплавов имплантация доз ионов свыше $3 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ не приводит к существенному улучшению триботехнических свойств.

Для повышения равномерности распределения импланта на внутренних цилиндрических поверхностях и сокращения времени набора дозы целесообразно применение конического преобразователя, выполненного из материала-импланта, что подтверждено результатами лазерного микроанализа. Таким способом можно добиться снижения среднеквадратичного отклонения концентрации до трех раз, а также повысить однородность поверхностного слоя по микротвердости.

Оценка работоспособности металлических контртел, подвергнутых модифицированию, проводилась на испытательных стендах и в составе серийных изделий по схемам трения «палец-диск» и «гильза-поршень». Применение метода ионной имплантации позволило снизить износ металлополимерных уплотнений в 2-2,5 раза. Полученные результаты позволили предложить последовательность операций, составивших основу технологического процесса поверхностного модифицирования цилиндров металлополимерных узлов трения.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВЫХ СРЕД

Бобков В.В. (Харьковский госуниверситет, г. Харьков, Украина)

The research efforts of automatically controlled mass-spectrometry complexes are presented. These complexes are intended for attestation, optimization, and real-time control of technological processes, which may cause changes of gas medium composition.

В настоящее время существует очень широкий спектр современных технологий, например, от создания элементной базы в микроэлектронике до обслуживания животноводческих комплексов, в которых диагностика нескольких компонентов газовой среды в реальном времени с обратной связью на исполнительные устройства крайне необходима для создания высококачественной продукции при высокой производительности.

Наиболее подходящими для этих целей являются масс-спектрометрические приборы, мировое производство которых в аналитическом приборостроении занимает в течение длительного времени не ниже третьего места. Если десять лет назад потребность в масс-спектрометрических при-

борах в Советском Союзе удовлетворялась только на ~25%, то в настоящее время в рамках СНГ их производство еще более снизилось. Следует учитывать, что существенную долю в этом производстве занимают приборы для научных исследований.

Эффективность масс-спектрометрического прибора прикладного назначения зависит существенно от того, насколько при его создании учитываются особенности конструкции промышленного оборудования и технологического процесса, который на нем предполагается сопровождать.

В связи с выше указанным, учитывая уровень цен на соответствующие устройства на мировом рынке диагностических приборов, на физико-техническом факультете Харьковского университета в течение длительного периода ведутся работы по разработке, созданию и пуско-наладке автоматизированных масс-спектрометрических комплексов (АМСК) с учетом реальных характеристик технологического оборудования.

Каждая из работ завершается аттестацией и оптимизацией технологического процесса и автоматизацией его контроля. В ряд технических заданий входят работы по автоматизации управления конкретным технологическим процессом.

Концепция построения автоматизированного масс-спектрометрического комплекса состоит в использовании физических методов разделения и измерения содержания химических элементов и их соединений для анализа состава различных газовых сред в широком интервале концентраций и в применении современных средств электроники для измерения и преобразования информационных сигналов в цепях отображения на средства индикации (цифровые табло, дисплей,...), передачи в автоматизированные системы управления (АСУ) и формирования управляющих сигналов.

В основу построения АМСК положены следующие принципы: ионизация контрольной пробы газовой среды одним из возможных физических способов; масс-спектрометрия, основанная на разделении ионов в электрических или магнитных полях в зависимости от их заряда, массы и кинетической энергии; измерение величин токов разделенных пучков и преобразование их в виде, удобном для пользователя.

Назначение и область применения: анализ состава газовых сред; экспресс измерение и контроль концентрации компонентов газовой среды в реальном времени; экспресс анализ изотопного состава элементов; экспресс диагностика экологического состояния воздушной среды; аттестация, оптимизация, автоматизация контроля и управления технологическими процессами, проведение которых связано с изменением состава рабочей газовой среды; вакуумная технология; химическое производство; газо-

производящая и газосмесительная технология; оптимизация энергосистем, работающих на различных видах топлива; контроль промышленных отходов и их утилизации; экспресс диагностика и управление составом газовой среды в технологических помещениях, включая хранение сельскохозяйственной и промышленной продукции; ...

АМСК обеспечивает измерение концентраций компонентов с чувствительностью лучше 1 ppm (1 ppm составляет 1 из 10^6 частей). Контроль концентраций может осуществляться дистанционно и автоматически в запрограммированной последовательности компонентов газовой среды, находящейся под давлением от 10^{-5} до 10^7 Па. На выходе АМСК последовательно формируются электрические сигналы заданной формы, соответствующие измеренным значениям контролируемых параметров, и в удобных для пользователя единицах измерения поступают на средства индикации и в АСУ. Время между началом измерений по каждому компоненту и подачей информационного или управляющего сигнала (0.1 - 2 сек.) зависит от количества контролируемых компонентов, их концентраций и заданной точности измерений. Режимы работы: ручной и автоматический. Ресурс АМСК - 10 лет, межрегламентный период не менее 6 мес. Потребляемая мощность не более 500 Вт. Разработка и изготовление АМСК производится с учетом: особенностей реального технологического процесса; конструкции используемого оборудования Заказчика; необходимости АСУ; имеющегося вида энергоснабжения; требований Заказчика к автономности, условиям эксплуатации, степени автоматизации и компьютеризации; ...

В технологическом процессе АМСК позволяет осуществлять: входной контроль и анализ состава и концентраций компонентов технологических газов; автоматизированные экспресс измерения и непрерывный контроль химического состава и концентраций компонентов газовой среды в рабочей камере в реальном масштабе времени в течение технологического процесса; аттестацию и выбор оптимальных режимов процесса; автоматизацию контроля и управления технологическими процессами, проведение которых связано с изменением состава рабочей газовой среды, путем формирования управляющих сигналов для исполнительных механизмов технологического устройства при отклонении величин концентраций контролируемых компонентов газовой среды от заданных значений; индикацию и архивирование необходимой информации.

Наибольшего практического внимания заслуживают разработки АМСК, проводимые нами в течение последних шести лет, после начала использования в них ПЭВМ типа IBM.

Программное обеспечение предоставляет следующие возможности пользователю:

- контроль рабочих параметров функциональных узлов АМСК,
- калибровка АМСК по массам тремя методами с различной степенью автоматизации и автоматический контроль ее в процессе работы,
- выход на максимум интенсивности любой массовой линии в рабочем диапазоне масс,
- снятие и индикация на дисплее различных участков масс-спектров в режимах канал-интенсивность и масса-интенсивность,
- отслеживание во времени интенсивностей заданного числа масс с их индикацией на экране дисплея,
- считывание заданных участков масс-спектра в виде максимумов или интегральных интенсивностей массовых пиков,
- представление результатов диагностики в виде таблиц, гистограмм и графически в линейном масштабе или в виде заданной функциональной зависимости,
- сравнение и отображение результатов сравнения нескольких измерений,
- сопоставление контролируемых параметров и проводимых измерений по заданному алгоритму с выработкой информационных или управляющих сигналов,
- расчет изотопного состава гипотетического иона и сопоставление реального спектра с расчетными данными,
- сохранение и сопровождение масс-спектрометрической и технологической информации на магнитных носителях и возможность получения твердой копии,
- осуществление диалога с пользователем для определения последовательности его действий.

Все предыдущие разработки реализованы на базе однополюсных масс-спектрометров. Средства откачки, контроля вакуума, отбора пробы и т.д. обуславливаются характеристиками контролируемого технологического процесса. В ряде случаев особенности эксплуатации промышленного оборудования требуют с одной стороны высокую надежность АМСК, а с другой необходимо контролировать заранее известное и весьма ограниченное число компонентов технологической газовой среды с высокой точностью. Такие условия заказчика учтены в последней разработке, в которой разделение ионизированной пробы проводится с помощью статического масс-анализатора с малогабаритным постоянным самарий-кобальтовым магнитом. В данном АМСК для обеспечения метрологиче-

ских характеристик разработана также новая электронная схема с выходом на ПЭВМ, которая включает источники питания, блок регулирования и контроля параметров, систему регистрации сепарированных ионных пучков. Откачка масс-спектрометрического аналитического узла на высокий вакуум осуществляется турбомолекулярным насосом. Чувствительность по водороду не менее 0,1 ppm. Программное обеспечение предполагает автономную работу прибора в режиме контроля и сопровождения технологического процесса.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ПРИМЕНЯЕМЫХ СОТС

Богуславский В.А., Петрушишина Н.Н. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

При изготовлении деталей сложной техники, большое значение придается качеству изготавливаемых деталей. Высокая стоимость изделий, необходимость длительного хранения, безотказность в работе и другие требования вынуждают с осторожностью относиться ко всем новым элементам технологической системы, включая новые смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС). Так например, известно, что широко применявшаяся при нарезании резьб метчиками в труднообрабатываемых олеиновая кислота, вызывает дефекты сварочных швов. При обработке деталей из нержавеющей стали 2Х13 возможно появление коррозии. Хлорированный парафин, являясь отличным СОТС вызывает коррозию многих металлов.

Применяемые на большинстве технологических операций, СОТС работают в условиях вызывающих повышение их активности. Потому все новые СОТС должны в обязательном порядке проходить испытания на коррозию, на влияние на последующие технологические операции (сварка, пайка) и на прочностные свойства обрабатываемых материалов.

Для проявления испытаний на коррозию, были взяты 5%-ные эмульсии марок Э-2, НГЛ-205, СДМ,у и образцы следующих сталей и сплавов: ЭП-56, ЭИ654, Х18Н10Т, 2Х13. Сталь 20 чугуны алюминиевые сплавы АМГ-6, Д-16, титановый сплав ОТ;

Из испытанных жидкостей наилучшие результаты показала СДМ,у, которая не вызвала появления коррозии на исследуемых материалах в течении 48 часов (кроме чугуна - через 24 часа). Широко применяемая в настоящее время эмульсия Э-2 вызвала коррозию на чугуне уже через 45 минут, а на стали 2 - - через 35 часов.

Согласно принятой методик испытаний, двухсуточный срок испытания образцов, обработанных той или иной жидкостью, эквивалентен двух-трехнедельному хранению этих образцов в условиях цеха. Поэтому, детали, обработанные с применением эмульсии Э-2 не рекомендуется хранить в условиях цеха не удалив тщательно следы эмульсии.

Паяные соединения, деталей, обработанных с применением указанных жидкостей подвергались микроскопическому исследованию. Исследования показали, что только тщательно обезжиривание перед пайкой обеспечивает качественное соединение.

Такие же результаты были получены при контроле сварных соединений, качество сварного шва проверялось на рентгеноустановке. При этом наилучшие результаты показала эмульсия СДМ, у. Но во всех случаях в качестве подготовки поверхности под варку, необходимо эти поверхности тщательно обезжирить любым растворителем.

Учитывая полученные ранее результаты испытаний на обрабатываемость, можно рекомендовать применение эмульсий СДМ, у и НГЛ-205 при обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов как более эффективные и не вызывающие отрицательных явлений при обработке и на последующие технологические операции.

УГОЛ УСТАНОВКИ ТВЕРДОЙ ПЛАСТИНКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Бойко Н.Г., Бойко Е.Н., Федоров О.В. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

It is adduced the dependence for angle definition of carbide blade setting of cutting tool in the slot of insert tool holder.

Повышение прочности режущего инструмента, работающего в тяжелых условиях по разрушению материала, например, режущего инструмента горных машин, обуславливает необходимость закреплять твердую пластинку, являющуюся режущим элементом, в специальном пазу. Угол установки твердой пластинки зависит от ряда факторов и, в первую очередь, - от соотношения сил, формирующихся на гранях твердой пластинки при разрушении материала.

Силы, формирующиеся на гранях резца при разрушении материала, обуславливаются, по крайней мере, тремя группами факторов, а именно: прочностными свойствами разрушаемого материала, режимом работы (или толщиной стружки), величиной затупления пластинки по задней грани и ее геометрией.

Исследованиями установлено, что угол установки твердой пластинки обуславливается: режимом работы (толщиной стружки) - с повышением интенсивности режима работы (увеличением толщины стружки) угол установки твердой пластинки уменьшается; прочностными свойствами разрушаемого материала - с увеличением прочности разрушаемого материала угол установки твердой пластинки уменьшается; затуплением твердой пластинки по задней грани - с увеличением площади затупления по задней грани угол установки твердой пластинки увеличивается.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФРОНТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Бойко Е.Н., Голубов Н.В., Ковтун А.Г. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

It is set forth the dependence of aggregate capacity from the transportation speed. Mathematical model is developed, which is a system of differential equation. Ways of capacity increasing are proposed.

Наиболее перспективными машинами для выемки тонких пологих пластов без присутствия людей в лаве являются фронтальные агрегаты стругового типа, в которых машины по разрушению пласта и транспортированию по лаве разрушенного угля конструктивно совмещены в выемочно-доставочную машину агрегата (ВДМ).

ВДМ фронтального агрегата можно представить в виде двух подсистем - подсистемы с распределенными массами (цепь и каретки) и подсистемы с сосредоточенными массами (привод).

Из-за большой длины агрегата и вызванной этим вытяжкой цепи за приводными звездочками происходит провисание приводной цепи, что дает основание рассматривать динамическую систему ВДМ как две динамически разомкнутые подсистемы - верхнюю и нижнюю, каждая из которых, в свою очередь, состоит из подсистемы с сосредоточенными массами и системы с распределенными массами. Различие верхней и нижней подсистем в том, что первая разрушает уголь, а вторая не только разрушает, но и транспортирует разрушенный уголь.

Производительность фронтального агрегата, обуславливается, с одной стороны, энерговооруженностью ВДМ и ее режимом работы, с другой ограничивается ее транспортной способностью. Поэтому повышение производительности может быть достигнуто за счет увеличения энерговооруженности агрегата, уменьшения коэффициента циркуляции угля, повышении скорости транспортирования угля.

Математическая модель каждой из ветвей агрегата представляет собой систему из четырех дифференциальных уравнений, решение которой и позволит определить рациональные параметры конструкции ВДМ и рациональные режимы ее работы.

ФУРЬЕ-АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ СОСТАВА ПРИРОДНОГО ГАЗА

Болотнов С. А., Ивлев О. А., Хомяков А. И.

(фирма "Газприборавтоматика" РАО "Газпром", РНИИ космического приборостроения, г. Москва, Россия)

Executed study of chemical composition of pass-way natural gas with using the FT-IR methods. Shown possibility to use FT-IR analyser as metrological facility for checking a composition of natural gas, more economical in contrast with gas chromatographs.

Методы расчета физических свойств природного газа, изложенные в межгосударственном стандарте ГОСТ 30319.2-96 [1], используются на предприятиях газовой промышленности не только в России, но в большинстве странах СНГ. Основанные на использовании уравнения состояния, они базируются на данных о полном компонентном составе газовой смеси. В первую очередь это следует отнести к вычислению теплотворной способности природного газа, которую используют в качестве основного критерия при реализации газа потребителям. Согласно ГОСТ 30319.1-96 [2] при расчете теплоты сгорания газа необходимо учитывать молярные доли всех компонентов газовой смеси, а при определении ее погрешности - погрешности определения каждой из компонентов смеси. В этой связи, исходя из современных требований газовой промышленности, одной из основных задач является определение состава природного газа с точностью на уровне 0,1...0,5%.

В настоящее время для определения состава природного газа в газовой промышленности в основном используются принципы газовой хроматографии. Эти методы строятся на разделении газовой смеси по фракциям с последующим анализом каждой из них.

По сравнению с газовыми хроматографами Фурье-анализаторы равного класса точности обладают рядом преимуществ:

- ниже стоимость производства (классическое оптико-механическое производство приборостроительных предприятий);

- ниже стоимость эксплуатации (не требуется сменных колонок, дорогостоящих расходных буферных газов, квалифицированного персонала - эксплуатационников);

- в отличие от газового хроматографа Фурье-анализатор является метрологическим средством, способным осуществлять автокалибровку по базовым спектрам молекул и по концентрации);

- большой набор одновременно анализируемых газовых компонентов - углеводородов, влажности, углекислого газа, сероводорода, а также возможность определения тех газов, которых нет в списке контроля;

- простота эксплуатации, высокая скорость измерений и обработки сигналов, и высокая стабильность и воспроизводимость измерений, наглядность полученных результатов.

Авторами работы были проведены экспериментальные исследования состава магистрального природного газа методами Фурье-спектроскопии. Проба газа была взята на одной из газораспределительных станций г. Москвы и исследована на спектрометре типа АФС-01, выпущенного ЦКБ уникального приборостроения РАН.

Таблица 1 - Результаты анализа пробы товарного природного газа.

Газ	Концентрация, %
CH ₄	88±0.6
H ₂ O	0.45±0.25
CO ₂	0.003±0.001
C ₂ H ₆ и более высокие углеводороды	<0.1
N ₂ (воздух)	11.3±0.45

Для эксперимента давление в исследуемой кювете было понижено до одной атмосферы. Интерферограммы (опорная - с вакуумированной кюветой и информационная - с кюветой, заполненной газовой смесью) регистрировалась в режиме непрерывного сканирования с шагом 0,95 мкм. Полученные 50 сканов интерферограмм осреднялись, после чего методом быстрого Фурье-преобразования получался искомый спектр в диапазоне 600 ... 3600 см⁻¹ с разрешением 1,06 см⁻¹. Результаты эксперимента в виде графиков спектров приведен на рис. 1.

Для количественного анализа спектра смеси сформирована система линейных уравнений, матричными коэффициентами которой являются рассчитанные спектры сечений поглощения рассматриваемых газов при эквивалентных физических условиях и спектральном разрешении. Эта

система линейных уравнений решалась методом линейной регрессии с минимизацией ошибки вычисления концентрации каждого компонента. Результаты анализа приведены в табл.1.

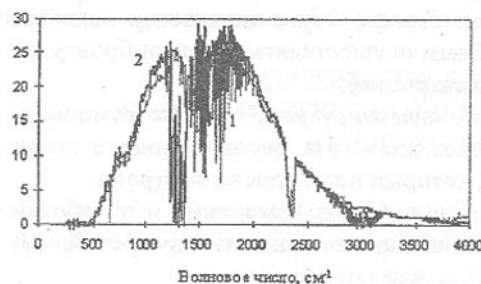


Рис. 1. Восстановленные спектры сигналов: 1-опорный; 2-информационный.

800...1000 см^{-1} ; в этой области сигнал сравним с шумом и поэтому оценка концентрации произведена по общему поглощению связи С-Н. Низкое содержание углеводородных примесей свидетельствует о высокой теплоотворной способности товарного газа.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

1. Автоматизированный Фурье - спектрометр способен выполнять оперативный производственный контроль химического состава природного газа в качестве рабочего метрологического средства на газораспределительной станции, на ТЭЦ и у других потребителей газа.

2. По сравнению с газовыми хроматографами Фурье - спектрометры равного класса точности обладают рядом преимуществ технологического, эксплуатационного и экономического характера.

Список литературы: 1. ГОСТ 30319.2-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. М.: Изд-во стандартов, 1997. - 54 с. 2. ГОСТ 30319.1-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. М.: Изд-во стандартов, 1997. - 16 с.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ПРИВОДА ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Болотнов С. А., Марков И. Е., Соловьев С. Л.

(фирма "Газприборавтоматика РАО "Газпром", АОЗТ "АЗР",
г. Москва, Россия)

Driving momentum motor of the electromechanical module of linear displacement for automatic executive and measurement system is described in this pa-

per. The motor links it's main functions with precision meter of angle position of the shaft based on Hall elements.

В представленной работе описывается одно из наиболее важных устройств автоматизированных исполнительных систем - приводной моментный двигатель. Бесконтактный электродвигатель подобного типа чаще всего используется в механизме приводов линейного перемещения [1,2], так как по сравнению с коллекторным двигателем обладает значительно большим сроком службы, особенно при работе в реверсивном режиме.

Электродвигатель содержит два основных функциональных элемента:

1. Синхронный двигатель с радиально расположенными постоянными магнитами на роторе, являющийся исполнительным элементом;
2. Датчик положения ротора, являющийся элементом, определяющим момент и последовательность фаз коммутации обмотки статора.

Электродвигатель закреплен в корпусе, который выполнен из магнитомягкого материала и служит экраном то магнитных потоков рассеяния постоянных магнитов ротора. С целью защиты от коррозии и улучшения теплоотвода корпус оксидирован в черный цвет.

Статор электродвигателя и статор датчика положения ротора выставлены между собой определенным образом и жестко закреплены в корпусе. Статор электродвигателя представляет собой пакет, набранный из листов магнитомягкого коррозионностойкого сплава с высокими магнитными свойствами. В пазах статора уложена трехфазная обмотка, имеющая три выводных конца С1, С2 и С3 (см. рис.1).

Ротор представляет собой цилиндр, содержащий магнитопровод и постоянные магниты и установленный на валу. С целью получения малых значений электрохимической постоянной времени (высокого быстродействия) и крутизны вращающего момента по току в конструкции ротора установлены постоянные магниты из магнитотвердого материала с высокой магнитной энергией.

Статор датчика положения ротора представляет собой диск из изоляционного материала, на котором по окружности установлены три магниточувствительных элемента ДХ1, ДХ2 и ДХ3 со сдвигом фаз друг относительно друга на угол 120 градусов. В качестве чувствительных элементов используются магнитоуправляемые микросхемы с элементами Холла. Микросхемы обращены зоной чувствительности к торцевой поверхности ротора электродвигателя и реагируют на магнитный поток рассеяния постоянных магнитов. Датчик положения имеет пять выводов: три сигналь-

ных 1,2 и 3 и два вывода питания "+" и "-". Принципиальная электрическая схема электродвигателя приведена на рис. 1.

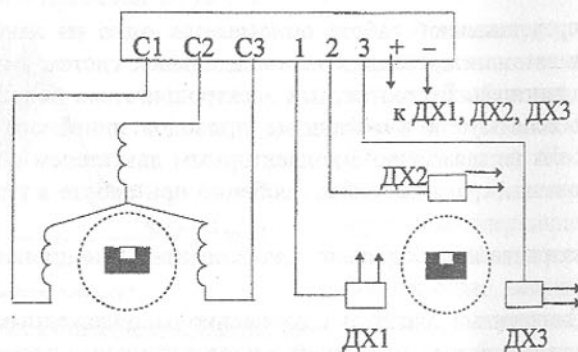


Рис.1. Электрическая схема бесконтактного двигателя.

Датчик положения ротора осуществляет позиционную обратную связь, обеспечивая информацию об угловом положении ротора электродвигателя относительно статора. По сигналам датчика положения ротора осуществляется коммутация фаз обмоток статора электродвигателя.

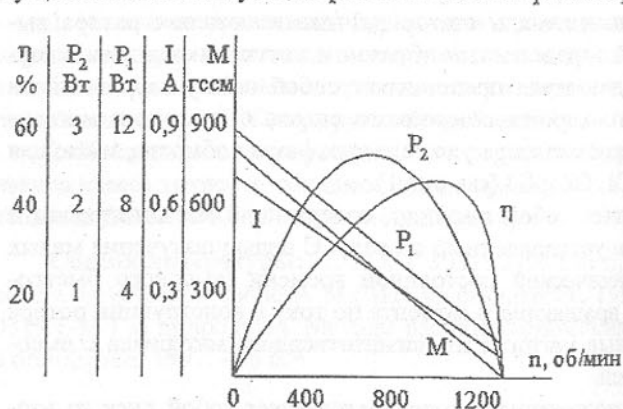


Рис. 2. Рабочие характеристики электродвигателя при двухтактной коммутации, $U_{\text{пит}} = 18,5 \text{ В}$, M - вращающий момент, I - ток в обмотке, P_1 - потребляемая мощность, P_2 - мощность на валу, η - к.п.д.

кается, если вращающий момент, развиваемый им на валу при пуске, превышает момент нагрузки.

Пусковой момент линейно зависит от величины питающего обмотку статора тока (напряжения). Основные технические характеристики электродвигателя приведены на рис. 2.

Список литературы: 1. Болотнов С. А., Енин В. Н., Николаев С. С. Электромеханический модуль следящего привода // Прогрессивные технологии машиностроения и современность: Тез. докл. международной научн. - техн. конф. - Севастополь, 1997. - С. 28. 2. Болотнов С. А., Марков И. Е. Электромеханический привод линейного перемещения // Там же. - С. 28.

ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ТВЕРДЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ТРУБКАХ ТЕПЛОБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Бондаренко В.Н., Козлов В.П., Игнатьев В.А., Борзенков И.А.
(БелГТАСМ, НПП «Сплавы», г. Белгород, Россия)

The new method and tool for hydromechanical cleaning of rigid deposits in tubes of warm-exchange apparatuses are states.

Эффективность и надежность энергетических установок во многом определяются техническим состоянием теплообменных аппаратов. Так, поверхностные конденсаторы установок АЭС, ЕЭС и т.п. с водяным охлаждением имеют пучки трубок, по внутренним поверхностям которых циркулирует охлажденная вода, а по наружной поверхности конденсируется отработанный пар.

Загрязнения и отложения в трубках конденсаторов приводят к увеличению их гидравлического сопротивления, снижению коэффициента теплопередачи, ухудшению вакуума, возрастанию температурного напора и, как следствие, потерям мощности. Загрязнения конденсаторов принято подразделять на неорганические, органические, смешанные и наносные.

Органические отложения содержат в своем составе окислы алюминия, кремния, железа и отличаются высокой прочностью. Неорганические соединения, вызываемые выпадением из пересыщенного раствора карбонатов кальция, магния, гипса и т.п. составляют основную долю в отложениях. Поэтому выбор методов очистки определяется в основном по величине карбонатной жесткости воды.

Методы предупреждения загрязнений (механические, химические, физические), как правило, не универсальны и не исключают очистки трубоков.

Разработкой методов и средств очистки трубок от отложений заняты многие предприятия, научно-исследовательские учреждения и фирмы. Из разработанных непрерывных и периодических методов очистки подавляющее распространение получают механические.

Помимо непрерывной очистки все большее распространение получают способы периодической очистки с использованием механического инструмента. Сюда можно отнести пружинные наборные шаберы Sopco Systems Inc, ерши ARCOR Int. Ltd. И другие инструменты, широко используемые не только для очистки отложений в конденсаторных трубках, но и других системах.

Установка и инструмент, сочетающие в себе достоинства известных и устраняющий ряд существенных недостатков способов отложений предложена НПП «Сплавы».

Механическая очистка твердых отложений в трубках, как правило, малых диаметров (до 20мм) осуществляется коронкой конусной. Основой является конус, на котором особым образом нарезаны зубья. Конус напоминает за борный конус резьбового метчика. Однако, существенно отличается направленностью, величиной затылка, профилем зубьев и принципом удаления отложений. В метчиках стружка снимается режущими острыми кромками, образованными профилем резьбы и поверхностью канавки. При работе по отложениям они быстро затупляются и не выполняют свои функции. Кроме того, вершины зубьев, находящихся у основания конуса могут повредить поверхность трубки.

Зубья на конусе, в отличие от резьбы метчиков, выполнены полнопрофильными по всей длине образующей и затылованной частью направлены в сторону вращения, образуя режущий клин. Клин, взаимодействуя с отложениями, постепенно ввинчивается в них, скалывая их в канавки и вновь ввинчиваясь.

Диаметр наружных зубьев выполнен несколько меньше внутреннего диаметра трубы d_T , что наряду с обратным затылком значительно уменьшает опасность повреждения внутренней поверхности трубки. Конический участок помимо скалывания отложений выполняет тяговые функции, продвигая инструмент вперед.

Для увеличения эффективности работы зубья на коронке удаляются в специальном порядке. Так, для трехперой коронки удаляется каждый второй зуб в направлении витка резьбы. Благодаря такой схеме расположения зубьев на образующиеся гребешки в отложениях действует знакопеременные нагрузки, что интенсифицирует процесс скалывания. Кроме того, при такой схеме значительно облегчает удаление шлама водой.

Часть коронки, расположенная у вершины конуса, может иметь различную конфигурацию в зависимости от степени загрязненности трубки и твердости отложений. При полностью закрытой отложениями трубке в этой части закрепляется твердосплавная пластина с режущими кромками. При отложениях низкой прочности, не полностью закрывающим сечение трубки, эта часть может быть выполнена в виде пирамиды с желобками на боковых поверхностях, являющимися продолжениями канавок конической части. В корпусе коронки выполнено отверстие для подачи жидкости в зону очистки через канавки на конической части. Со стороны основания в корпусе предусмотрена резьба для соединения конусной коронки с гибким валом, передающим на нее вращательное движение.

Отложения в трубках большого диаметра (свыше 20мм) рекомендуется очищать насадкой роликовой. Корпус роликовой насадки имеет отверстие для крепления роликовых головок, крепления приводного устройства и каналы подвода жидкости.

Роликовая головка имеет опорную и рабочую часть и в зависимости от габаритов может быть сборной и цельной. Опорная часть на втулках располагается в отверстии корпуса и фиксируется втулками и винтом. Рабочая часть роликовой головки имеет дисковые ролики. Конфигурация рабочей части, и размеры дисков зависят от мощности и прочности отложений.

Оси роликовых головок находятся в плоскостях, параллельных оси корпуса насадки на расстоянии r и наклонены к ней под углом β . Максимальный диаметр роликов d_p выполнен так, что выполняется условие

$$d_p + 2r < d_T,$$

где d_T — внутренний диаметр трубопровода. Минимальный диаметр роликов d_M определяется углом β и толщиной отложений Δ так, чтобы выполнялось условие

$$d_M \leq 2 \left[\sqrt{(0,5d_T - \Delta)^2 - L^2 \operatorname{tg}^2 \beta} - 2r \right].$$

Вершины роликов с максимальным диаметром d_p притупляются для предотвращения повреждения внутренней поверхности трубки.

При вращении насадки ролики, обкатываясь по поверхности отложений, ввинчиваются в них, одновременно разрушая. Так как при очистке отложений инструментами в общем чистого завинчивания не происходит, то необходимо дополнительное усилие подачи, которое по величине значительно меньше, чем при очистке другими инструментами.

С использованием установки и описанного инструмента на Курской АЭС, Рязанской, Кураховской, Старобежской ГРЭС очищено свыше 10000км трубок. Трубки длиной 9м и диаметром 20...30мм с твердыми от-

ложениями толщиной 0,5...1,5мм очищались за 0,5...1мин. При отложениях толщиной до 8мм время увеличивалось до 5...15мин. На Губкинском молочном комбинате очищались трубы длиной 2,7м, имеющие 2 гйба на 135°. При диаметре трубок 51мм и толщине отложений до 20мм (некоторые были полностью закрыты) время чистки составило 1...5мин. Как показал опыт эксплуатации, скорость очистки в подавляющем большинстве случаев при толщине отложений не более 1,5мм достигала 20м/мин.

НПП «Сплавы» постоянно совершенствуют параметры инструмента, разрабатывая новые модификации, добиваясь оптимальных параметров по качеству очистки и производительности.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОРОНКИ КОНУСНОЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ТРУБ НА КИНЕМАТИКУ ЕЕ ДВИЖЕНИЯ

Бондаренко В.Н., Полунин А.И., Игнатьев В.А., Козлов В.П., Борзенков И.А. (БелГТАСМ, НПП «Сплавы», г. Белгород, Россия)

The main correlation of geometric parameters of a crown conic are given. The attempt of the substantiation of a kinematics of movement on cleaning of deposits is made.

Одной из серьезных проблем в процессе эксплуатации трубопроводов систем теплоэнергетики является очистка внутренней поверхности от различных отложений. Большие сложности возникают при очистке трубок конденсаторов от времени, карбонатных отложений. Совершенствование средств и эффективной технологии очистки позволит своевременно производить необходимый регламент работ по обслуживанию конденсаторов, сократить простой энергоустановок при проведении очистных работ и, как следствие, сократить значительную потерю мощности.

Хорошие результаты в очистке показал способ гидромеханической очистки труб от твердых отложений, использующий в качестве инструмента коронку конусную. Опыт эксплуатации и пробных очисток показал, что при толщине отложений порядка 1...3мм скорость очистки достигает 20м/мин.

Основой коронки корпусной является коническая часть с винтовой нарезкой, которая в совокупности с продольными канавками образует зубья. Особенностью инструмента является специальная величина обратного затылка зуба, благодаря которым каждый зуб как режущий клин ввинчи-

вается в отложения, одновременно скалывая их. Водой, подаваемой в зону очистки, сколотый шлам удаляется.

Различная толщина и твердость отложений требует применения строго определенной геометрии коронки конусной и режимов ее работы. Предлагается теоретическое исследование по обоснованию параметров коронки и определению ее тяговых свойств. Процесс очистки представляет собою результат упругих деформаций и хрупкого разрушения с истиранием. Для определения тяговых свойств и кинематики движения коронки в первом приближении использована модель с упругими деформациями разрушения.

Исследования геометрических параметров для наиболее распространенных схем формирования треугольного профиля позволили получить основные соотношения между шагом t , высотой зуба h и другими параметрами профиля (рис.1).

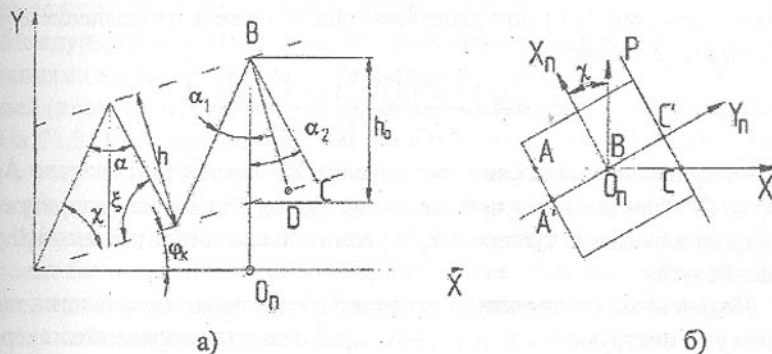


Рис.1. Схемы к определению геометрических параметров (а) и кинематики движения элементарного сектора зуба (б) коронки конусной.

Так, для схемы, когда $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,5\alpha$ (рис.1,а), должно соблюдаться соотношение

$$h_0 = 0,5t(1 - \operatorname{tg} 20,5\alpha \operatorname{tg} 2\varphi_k) \operatorname{ctg} 0,5\alpha.$$

Однако требуются исследования общего случая, когда $\alpha_1 \neq \alpha_2$ для отыскания параметров с оптимальной эффективностью работы. Для этого случая

$$h_0 = t \frac{\sin \xi \sin \chi_1}{\sin \alpha \cos^2 \varphi_k},$$

а геометрические связи сторон треугольника профиля резьбы в плоскости оси вращения легко усматриваются из рис.1,а. Однако в плоскости, перпендикулярной направлению нарезки, включающей прямую BO_n профиль зуба будет отличаться от изображенного на рис.1,а. Величины сторон треугольника можно определить из соотношений

$$A'B = \sqrt{(x_B - x_{OA})^2 + (y_B - y_{OA})^2 + (z_B - z_{OA})^2},$$

$$C'B = \sqrt{(x_B + x_{OC})^2 + (y_B - y_{OC})^2 + (z_B - z_{OC})^2},$$

где значения координат x, y, z определяются с учетом характеристик спиралей Архимеда, на которой они находятся. Эти геометрические соотношения положены в основу расчета движения коронки. В расчетах считаем материал отложений изотропен, и его прочность существенно ниже прочности зуба. Кроме того, считаем, что деформация материала зуба ниже деформаций отложений. При движении зуба в направлении оси OX на материал, соприкасающийся с боковыми стенками зубьев, действует распределенная нагрузка, при упругом перемещении стенок отложений по разным сторонам зуба на величины δ_{x1} и δ_{x2} в материале накапливается энергия упругой деформации. Используя вариационный принцип Лагранжа, получаем значения полной энергии систем для установившегося состояния элемента зуба (рис. 1,б) под действием сил, а затем и направление движения элемента зуба как

$$\text{tg} \chi_g = \frac{\text{tg} \chi \times \alpha^2 [A \sin^2 \nu_1 + C \sin^2 \nu_2]}{\rho^2 \sin^2 (\xi_H - \varphi_H)},$$

где ρ - текущее значение радиуса элемента, α - постоянная спирали Архимеда, A, C - длина граней зубьев; $\nu_1, \nu_2, \xi_H, \varphi_H$ - углы, характеризующие геометрию коронки и зуба; χ и χ_g - угол подъема витка и реальный угол движения зуба.

Полученные соотношения позволят обоснованно производить выбор параметров инструмента и в первом приближении определить скорость перемещения коронки.

СТАНДАРТЫ ISO - ГАРАНТИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ

Бондаренко В.П., Сидоренко Г.С. (ГНПО "Метрология", г. Харьков)

International Standards play the vital role as the technical foundation for the global market. International Organization for Standardization (ISO) includes the representatives from 120 countries and develops the system of the International Standards for supply of the voluntary international technical agreements.

Мировой рынок в настоящее время организован так, что выход на него с продукцией, не отвечающей требованиям международно признанных стандартов, практически закрыт.

Основной задачей Международной организации по стандартизации (ISO) является содействие развитию стандартизации в мире с целью облегчения международного обмена товарами и услугами, развития сотрудничества в интеллектуальной, научно-технической и экономической областях.

ISO является всемирной федерацией национальных органов по стандартизации, насчитывающей 120 членов, по одному из каждой страны.

Результатом технической работы ISO является разработка, принятие и публикация международных стандартов.

Сфера деятельности ISO охватывает стандартизацию во всех областях, за исключением электротехники и электроники, которые относятся к компетенции Международной электротехнической комиссии (IEC).

Международная стандартизация охватывает практически всю мировую экономику, начиная от стандартизации конкретных видов товаров и методов ее испытаний и заканчивая терминологией.

Международные стандарты ISO разрабатываются в соответствии с требованиями мирового рынка, учитывая интересы производителей, пользователей (включая потребителей), правительственных и научных кругов.

На 01.01.98г. зарегистрировано более 10 тыс. стандартов ISO. Ежегодно, с учетом пересмотра, в ISO принимается 500-600 стандартов. Разработанные и принятые ISO международные стандарты серии 9000 на системы управления качеством и серии 14000 на системы экологического управления были признаны во всех промышленно развитых странах. Данные стандарты приняты в Европейском экономическом сообществе в качестве европейских стандартов.

Многими странами практикуется прямое использование международных стандартов без переработки их в государственные. Так, более 30% национальных стандартов Великобритании, 55% нормативных документов Франции и около 75% норм и правил Германии - это фактически международные стандарты.

Таким образом создаются условия для беспрепятственного проникновения на мировой рынок продукции этих стран.

Украина является членом Международной организации по стандартизации (ISO) с 1993 года. Участие в разработке международных стандартов решает две основные задачи: согласование технической политики Украины с технической политикой, которые проводят ее торговые партнеры и использование международных стандартов для повышения качества и конкурентоспособности отечественной продукции, защиты прав потребителей.

Наиболее эффективный путь интеграции Украины в мировое экономическое сообщество - это прямое применение международных и европейских стандартов и переход к общепринятому принципу добровольной стандартизации с закреплением обязательных требований в законодательных актах.

Внедрение в Украине стандартов ISO серии 9000 позволило украинским предприятиям оценить современные требования международных рынков, разработать и сертифицировать системы управления качеством.

Госстандартом принято решение о прямом применении в Украине в качестве добровольных международных стандартов в отрасли управления окружающей природной средой стандартов ISO серии 14000.

Структура стандартизации в Украине сформирована в соответствии с существующей мировой практикой, т.е. путем создания сети технических комитетов (ТКУ) по стандартизации в ведущих отраслях науки, техники и экономики.

В настоящее время функционирует 123 ТКУ, при непосредственном участии которых разработано около 2000 государственных стандартов Украины, большинство из которых гармонизированы с соответствующими международными.

Использование международных стандартов ISO способствует интеграции Украины в мировое экономическое сообщество, является одним из решающих факторов обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции, надежной базой научно-технических связей между странами, создание условий для более полного использования возможностей международного разделения труда.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ АМОРФИЗАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ С ОПЛАВЛЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ

Борисова Г.В., Якунин Е.А., Лысенко А.Б.

(ДПТУ, г. Днепродзержинск, Украина)

The kinetic analysis of the solidification process of the laser treatment zone has been carried out with the assumption of homogeneous crystallisation model and the model of crystal growth from the surface of matrix phases. It was shown that transition of alloys into amorphous state under laser treatment conditions requires more high cooling rates than in other methods of ultrarapid quenching.

Лазерная обработка сплавов с оплавлением поверхности является разновидностью сверхбыстрой закалки из жидкого состояния, что позволяет рассчитывать на формирование в зоне повторного затвердевания метастабильных структурных состояний, в том числе и стеклоподобных фаз без дальнего порядка в расположении атомов. Однако при реализации лазерной технологии образующийся тонкий поверхностный слой жидкого металла находится в идеальном контакте с расположенными на границе оплавления кристаллами матричных фаз, которые обладают затравочным действием и, следовательно, снижают вероятность получения метастабильных кристаллических и аморфных структур.

В настоящей работе методом математического моделирования исследована активная роль структурных составляющих обрабатываемого материала в процессах затвердевания зоны лазерного воздействия. Модельные расчеты выполняли применительно к стеклюющемуся бинарному сплаву Au - Si с использованием кинетического уравнения кристаллизации в неизотермических условиях [1]:

$$x(T) = \int_T^{T_0} (1 - x(T')) S(T') u(T') dT' / Q(T'), \quad (1)$$

где $x(T)$ - доля закристаллизовавшегося объема при некоторой температуре $T < T_0$; T_0 - температура плавления; T' - текущее значение температуры $T_0 \leq T' \leq T$; $u(T')$ - скорость роста кристаллов; $Q(T')$ - скорость охлаждения; $S(T')$ - площадь фронта кристаллизации, рассчитываемая по формуле:

$$S(T') = \int_{T'}^{T_0} (1 - x(T'')) I(T'') \cdot 4\pi \left(R_c + \int_{T'}^{T''} u(T) dT / Q(T) \right)^2 dT'' / Q(T''). \quad (2)$$

Здесь $I(T'')$ - количество зародышей, образующихся при температуре $T_0 \leq T'' \leq T'$ за единицу времени в единице объема жидкого металла; R_c - радиус критического зародыша.

В качестве альтернативных анализировали следующие три модели:

1. Модель гомогенного зарождения и дальнейшего роста центров кристаллизации в объеме оплавленного лазером слоя.
2. Модель роста кристаллов от поверхностей матричных фаз, соприкасающихся с расплавом.
3. Комбинированную модель, в соответствии с которой в нижней части оплавленной зоны затвердевание осуществляется за счет прорастания в расплав матричных кристаллов Au и Si, в то время как в верхних горизонтах реализуются процессы гомогенного зародышеобразования и последующего роста тех же двух фаз.

Во всех трех моделях учитывали эффект скопления второго компонента у фронта кристаллизации. При этом полагали, что компоненты об-

Наиболее эффективный путь интеграции Украины в мировое экономическое сообщество - это прямое применение международных и европейских стандартов и переход к общепринятому принципу добровольной стандартизации с закреплением обязательных требований в законодательных актах.

Внедрение в Украине стандартов ISO серии 9000 позволило украинским предприятиям оценить современные требования международных рынков, разработать и сертифицировать системы управления качеством.

Госстандартом принято решение о прямом применении в Украине в качестве добровольных международных стандартов в отрасли управления окружающей природной средой стандартов ISO серии 14000.

Структура стандартизации в Украине сформирована в соответствии с существующей мировой практикой, т.е. путем создания сети технических комитетов (ТКУ) по стандартизации в ведущих отраслях науки, техники и экономики.

В настоящее время функционирует 123 ТКУ, при непосредственном участии которых разработано около 2000 государственных стандартов Украины, большинство из которых гармонизированы с соответствующими международными.

Использование международных стандартов ISO способствует интеграции Украины в мировое экономическое сообщество, является одним из решающих факторов обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции, надежной базой научно-технических связей между странами, создание условий для более полного использования возможностей международного разделения труда.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ АМОРФИЗАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ С ОПЛАВЛЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ

Борисова Г.В., Якунин Е.А., Лысенко А.Б.

(ДПТУ, г. Днепродзержинск, Украина)

The kinetic analysis of the solidification process of the laser treatment zone has been carried out with the assumption of homogeneous crystallisation model and the model of crystal growth from the surface of matrix phases. It was shown that transition of alloys into amorphous state under laser treatment conditions requires more high cooling rates than in other methods of ultrarapid quenching.

Лазерная обработка сплавов с оплавлением поверхности является разновидностью сверхбыстрой закалки из жидкого состояния, что позволяет рассчитывать на формирование в зоне повторного затвердевания метастабильных структурных состояний, в том числе и стеклоподобных фаз без дальнего порядка в расположении атомов. Однако при реализации лазерной технологии образующийся тонкий поверхностный слой жидкого металла находится в идеальном контакте с расположенными на границе оплавления кристаллами матричных фаз, которые обладают затравочным действием и, следовательно, снижают вероятность получения метастабильных кристаллических и аморфных структур.

В настоящей работе методом математического моделирования исследована активная роль структурных составляющих обрабатываемого материала в процессах затвердевания зоны лазерного воздействия. Модельные расчеты выполняли применительно к стеклюющемуся бинарному сплаву Au - Si с использованием кинетического уравнения кристаллизации в неизотермических условиях [1]:

$$x(T) = \int_T^{T_0} (1 - x(T')) S(T') u(T') dT' / Q(T'), \quad (1)$$

где $x(T)$ - доля закристаллизовавшегося объема при некоторой температуре $T < T_0$; T_0 - температура плавления; T' - текущее значение температуры $T_0 \leq T' \leq T$; $u(T')$ - скорость роста кристаллов; $Q(T')$ - скорость охлаждения; $S(T')$ - площадь фронта кристаллизации, рассчитываемая по формуле:

$$S(T') = \int_{T'}^{T_0} (1 - x(T'')) I(T'') \cdot 4\pi \left(R_c + \int_{T'}^{T''} u(T) dT / Q(T) \right)^2 dT'' / Q(T''). \quad (2)$$

Здесь $I(T'')$ - количество зародышей, образующихся при температуре $T_0 \leq T'' \leq T'$ за единицу времени в единице объема жидкого металла; R_c - радиус критического зародыша.

В качестве альтернативных анализировали следующие три модели:

1. Модель гомогенного зарождения и дальнейшего роста центров кристаллизации в объеме оплавленного лазером слоя.
2. Модель роста кристаллов от поверхностей матричных фаз, соприкасающихся с расплавом.
3. Комбинированную модель, в соответствии с которой в нижней части оплавленной зоны затвердевание осуществляется за счет прорастания в расплав матричных кристаллов Au и Si, в то время как в верхних горизонтах реализуются процессы гомогенного зародышеобразования и последующего роста тех же двух фаз.

Во всех трех моделях учитывали эффект скопления второго компонента у фронта кристаллизации. При этом полагали, что компоненты об-

ладают неограниченной взаимной растворимостью в жидком состоянии и полной нерастворимостью в твердом состоянии. Обоedнение кристаллизующимся компонентом узкой зоны, примыкающей к фронту кристаллизации, происходит за счет его перехода в твердую фазу, а его приток - за счет движения фронта и диффузии из расплава. Для готовых поверхностей роста учитывали также обмен атомами между соседними кристаллами различных фаз (эффект боковой диффузии). С учетом всех указанных факторов на каждом шаге интегрирования корректировали концентрацию кристаллизующегося компонента на фронте.

Показано, что скопление примесей, преимущественно, проявляется в замедлении роста кристаллов от готовых поверхностей. В результате переохлаждение расплава увеличивается и, соответственно, растет конкурентоспособность механизма гомогенной кристаллизации.

Исследовано влияние механизма кристаллизации на величину критической скорости охлаждения Q_k , достаточной для фиксации в зоне лазерного оплавления аморфного состояния. В качестве критерия аморфности принимали ничтожно малую долю ($\sim 10^{-6}$) закристаллизованного объема, которая не может быть выявлена современными экспериментальными методами. Установлено, что в результате совместного действия процессов роста кристаллов от поверхностей матричных фаз и гомогенного образования центров кристаллизации в объеме расплава для перевода оплавленного лазером слоя в аморфное состояние требуются скорости охлаждения, более чем на порядок величины превышающие значения Q_k характерные для традиционных технологий сверхбыстрой закалки расплавов.

Список литературы: 1. Лысенко А.Б., Якунин А.А., Ткач В.И., Борисова Г.В. Кинетический анализ условий образования металлических стекол. В сб. "Аморфные металлические сплавы". - М.: Металлургия, 1983, с.18-24.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ УПРУГИХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ДЕМПФИРОВАНИЯ

Бохонский А.И., Волнухин Д.В. (СевГУ, г.Севастополь, Украина)

Solving the problem of optimum control of transient motion of resilient objects with finite and infinite number of degrees of freedom taking into account linear-viscous resistance. Results of the research are important while modeling operations done by manipulators of low stiffness.

Постановка задач управления оптимальным переносным движением упругих систем состоит в следующем: найти такой закон переносного движения упругой системы, который за конечный отрезок времени перемещает её из начального состояния покоя в конечное состояние абсолютного покоя (с допущением колебаний только внутри интервала движения) при учёте сопротивления.

Для дифференциального уравнения относительного движения упругой системы с одной степенью свободы без учёта сопротивления [1-4]

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k^2x = -U(t), \quad (1)$$

где $k^2 = c/m$ - квадрат частоты собственных колебаний, m -сосредоточенная масса, впервые получено точное аналитическое решение вида

$$U(t) = a \cdot \sin^{(2n-1)}(k \cdot n_1 \cdot t), \quad (2)$$

где a - амплитудное значение ускорения основания, зависящее от расстояния, пройденного упругой системой в переносном движении, и общего времени оптимального движения; $n=2,3,4,5,\dots$; при $n=2$ следует $n_1=2,4,5,6,\dots$ данный подход распространён на системы с конечным и бесконечным числом степеней свободы [4], в том числе - для антропоморфных и телескопических конструкций рук манипуляторов.

Рис.1. Закон изменения $x(t)$ в относительном движении.

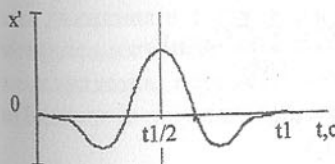


Рис.2. Закон изменения $x'(t)$ в относительном движении.

В объём исследований с учётом сопротивления (по гипотезе Кельвина-Фойчта) входит: анализ относительных колебаний упругого объекта с одной, несколькими степенями свободы и бесконечным числом степеней свободы при задании закона ускорения основания (2); варьирование параметров переносного движения (амплитуды, частоты, фазы) с целью достижения полного устранения или существенного снижения уровня колебаний системы в конечном состоянии; решение задачи оптимизации параметров, определяющих закон переносного оптимального движения, для которых обеспечивается минимум заданного интегрального квадратичного критерия качества; реализация численного алгоритма поиска параметров управления на основании полного

удовлетворения условиям на правом конце в относительном и переносном

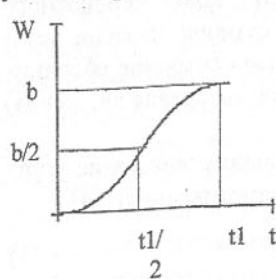


Рис.3. График переносного движения.

и антропоморфных манипуляторов с учётом внутреннего и внешнего сопротивления (например, сопротивления, возникающего при работе манипулятора под водой).

При решении задач используется метод главных координат. Аналитические преобразования и численные эксперименты осуществляются с использованием систем REDUCE и MathCAD. Для системы с конечным

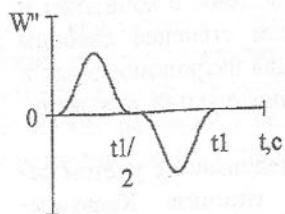


Рис.5. Ускорение переносного движения.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n C_{ik} v_{kp} v_{id} = 0, \quad (p \neq d),$$

$$\sum_{i=1}^n m_i v_{ip} v_{id} = 0, \quad (p \neq d),$$

где $j=1,2,...,s$; s - число степеней свободы, λ - частоты, R_j - кратность (для $j=1$, $R=1$); C_{ik} - коэффициенты жёсткости; v_{kj} - коэффициенты мод колебаний. В (3) второе и третье выражения - условия ортогональности соответственно по жёсткости и по массам.

Показано, что для систем с большим числом степеней свободы обеспечение условия кратности частот приводит к подавлению колебаний не только первой формы (моды), но и высших форм колебаний в конечной точке позиционирования.

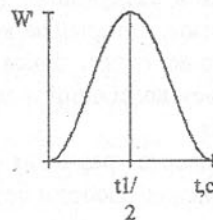


Рис.4. Скорость переносного движения.

движениях (равенство нулю относительного перемещения, абсолютной скорости и ускорения); распространение алгоритма на системы с конечным и бесконечным числом степеней свободы с иллюстрациями на примерах телескопических

Список литературы: 1. Бохонский А.И. Компенсация деформаций и управление деформируемым состоянием твёрдых тел и систем. // VII Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике. / Аннотация докладов. М.1991.- с.60-61. 2. Бохонский А.И. Исполнительные органы минимальной массы манипуляторов с управляемым демпфированием при учёте температурных воздействий. // Материалы международной конференции по крупногабаритным космическим конструкциям. / ИПО "Энергия", ЦПИ РАН и др. Новгород.1993.- с.77. 3. Бохонский А.И. Новые задачи оптимального управления в механике. // Научные труды ФЕН. Вып.1. КМУ СПИ. Севастополь. 1993.- с.42-47. 4. Бохонский А.И. Управляемое упругое демпфирование твёрдых тел. // Сб. Науч. тр. / Севастопольский гос. техн. Ун-т.-1997.- вып.1.- с.47-54.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ РУКИ МАНИПУЛЯТОРА МАЛОЙ ЖЁСТКОСТИ

Бохо́нский А.И., Мозо́левский М.И. (СевГУ, г. Севастополь, Украина)

The oscillations of a not rigid hand are considered at various modes of motion in connection with transportation of freights. The research of parametric oscillations is illustrated on an example of a telescopic hand of the manipulator executing movement of freights in a horizontal plane (as a result of turn and moving out of a hand).

Рассматриваются колебания маложёсткой руки при различных режимах движения в связи с транспортированием грузов. Исследование параметрических колебаний иллюстрируется на примере телескопической руки манипулятора, осуществляющей перемещение грузов в горизонтальной плоскости (в результате поворота и выдвижения руки).

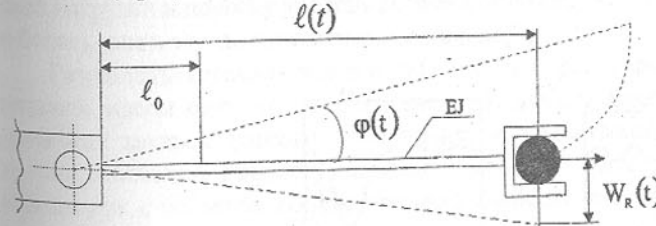


Рис.1.

Следует отметить, что в связи с колебаниями центра масс схвата с грузом в конечной точке позиционирования

снижается производительность и качество работ, выполняемых манипулятором. Дифференциальное уравнение колебаний руки (рис.1), как

системы с одной степенью свободы, при выдвижении и повороте (динамика относительного движения) в проекции на направление, перпендикулярное продольной оси руки записывается следующим образом:

$$\frac{d^2 W_r}{dt^2} + k^2(t) W_r = \frac{d^2 \varphi}{dt^2} \ell + 2 \frac{d\varphi}{dt} \frac{d\ell}{dt}, \quad (1)$$

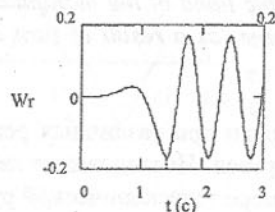
где $k^2(t) = \frac{C(t)}{m}$, $C(t)$ – переменный коэффициент жесткости руки, $C(t) = 3EJ/\ell^3(t)$; EJ – жесткость руки на изгиб; m – масса груза.

В случае задания законов выдвижения руки и поворота близких к оптимальным

$$\begin{aligned} \ell(t) &= \ell_0 + \ell_1 (1 - \cos(\omega_1 t))/2, \\ \varphi(t) &= \varphi_1 (1 - \cos(\omega_1 t))/2, \end{aligned} \quad (2)$$

дифференциальное уравнение (1), описывающее колебания руки, содержит переменный коэффициент и сложную правую часть. Такое уравнение описывает свободные, вынужденные и параметрические колебания.

Представляет теоретический и практический интерес рассмотрение ряда частных случаев: свободные колебания, обусловленные начальными



Колебания руки при движении по закону (2)

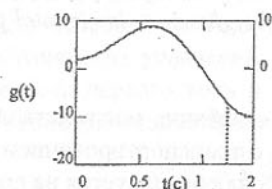
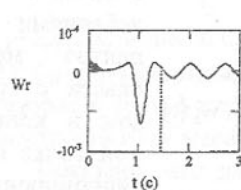


График правой части уравнения (1) при движении по закону (2)



Колебания руки при движении по закону (3)

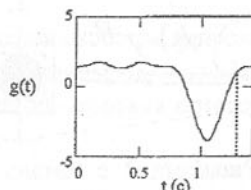


График правой части уравнения (1) при движении по закону (3)
Рис. 2.

условиями; свободные и параметрические колебания, обусловленные только выдвижением руки; вынужденные колебания, обусловленные только поворотом; общий случай колебаний, возникающих при одновременном выдвижении и повороте руки.

Интегрирование дифференциального уравнения осуществлялось методом Рунге-Кутты с использованием системы MathCad 6+. При этом время интегрирования существенно превышало время движения руки в конечную точку позиционирования (с целью выявления характера колебаний после достижения полезным грузом конечной точки). Графики построены для следующих исходных данных: $\ell_0 = 0.5$ м; $\ell_1 = 1$ м; $\varphi_1 = \pi/2$; $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па; $m = 10$ кг; $J = b^4/12$; $b = 0.05$ м. На рис. 2. приведены характерные графики колебаний для частных случаев.

Время выдвижения в конечную точку $t_1 = 1.388$ с.

Анализ результатов численного эксперимента подтверждает, что законы переносного движения нежесткой руки (выдвижение и поворот) должны согласовываться с ее динамическими свойствами, в частности с периодом собственных колебаний. Возможен такой закон оптимального движения, который обеспечивает снижение уровня колебаний (без существенного уменьшения времени на выполнение манипулятором рабочих операций). В частности, анализируются колебаний руки с законами переносного ускорения в виде:

$$\ddot{\ell}(t) = \frac{2\pi\ell_1}{t_1^2} \cdot \sin^3(\omega_1 t), \quad \ddot{\varphi}(t) = \frac{2\pi\varphi_1}{t_1^2} \cdot \sin^3(\omega_1 t) \quad (3)$$

От выбранного закона переносного движения зависит уровень колебаний руки как во время движения, так и в конечной точке позиционирования. Сопоставление графиков динамического воздействия на руку при законах движения (2) и (3) показывает (рис. 2), что в случае закона (2) в точке позиционирования происходит скачкообразное снятие динамической нагрузки и поэтому уровень колебаний может быть выше (на порядок и более), чем в случае использования закона (3).

Результаты исследования показывают, что проектирование рук минимальной массы связано с необходимостью выбора таких оптимальных движений звеньев, которые не приводят к существенному возрастанию уровня колебаний. Рассмотренный подход может быть распространен на модели рук с большим числом степеней свободы (с сосредоточенными и распределенными параметрами).

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СТРЕЛЫ В ОБЛАСТИ СОЧЛЕНЕНИЯ СЕКЦИЙ

Бочаров С.И. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The method to research a stress-deform state of the boom.

При проектировании телескопических стрел важной проблемой является определение напряженно-деформированного состояния стрелы в области сочленения секций. Анализ местной нагруженности телескопических стрел прямоугольного поперечного сечения с опорными элементами в виде роликов проведен в работах [1], [2]. Однако исследованная конструкция опорного элемента в виде ролика используется в стрелах малой грузоподъемности. Для стрел грузоподъемности 25 т и более в качестве опорных элементов используют скользящие. Такая конструкция за счет увеличения длины и ширины контакта "опорный элемент – секция" значительно снижает контактные напряжения на поверхности скользящего и снижает местные изгибные напряжения в секции стрелы.

Исследование стрелы в целом сводится к исследованию составляющих ее секций. На рисунке 1 изображена одна из секций телескопической стрелы.

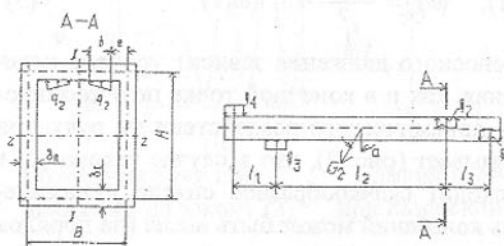


Рис. 1. Схема секции телескопической стрелы.

Секция нагружена собственным весом G_2 и усилиями от скользящих q_1 , q_2 , q_3 и q_4 . В области приложения нагрузки q_2 наблюдаются значительные дополнительные местные напряжения от изгиба верхней полки и стенок. Это обусловлено эксцентриситетом приложения

нагрузки q_2 (размер e в сечении А-А на рисунке 1). Учитывая вышесказанное, наиболее напряженными областями секции будут:

1) область приложения усилия q_2 , вызывающего значительный местный изгиб секции; эти напряжения определяют по теории пластин и оболочек; местные напряжения могут превосходить напряжения от общего изгиба секции в 1.5-3 раза [2];

2) область приложения усилия q_3 ; здесь местные напряжения малы, однако велики напряжения от общего изгиба секции; эти напряжения определяют по теории балок; проверка прочности секции от этих напряжений не вызывает затруднений.

Определим напряженное состояние секции в области приложения усилия q_2 . Эквивалентные напряжения равны [3]:

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 + \tau_{xy}^2)}$$

Воспользовавшись принципом независимости действия и сложения сил определим тензор полных напряжений как сумму тензоров от усилия q_1 и усилия q_2 . Определим $\sigma_{\text{экв}}$ для полки. Учитывая, что для полки $\sigma_{oy} = \sigma_{oz} = \tau_{oyz} = \sigma_{my} = \tau_{mxy} = \tau_{myz} = 0$ получим:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{(\sigma_{ox} + \sigma_{mx})^2 - \sigma_{mx}(\sigma_{ox} + \sigma_{mx})^2 + \sigma_{mx}^2 + 3((\tau_{oxz} + \tau_{mzx})^2 + \tau_{oxy}^2)},$$

где σ_{ox} , σ_{oy} , σ_{oz} , τ_{oxy} , τ_{oyz} , τ_{ozx} – компоненты тензора напряжений от общего изгиба секции в целом как балки, т.е. от усилия q_1 ;

σ_{mx} , σ_{my} , σ_{mz} , τ_{mxy} , τ_{myz} , τ_{mzx} – компоненты тензора напряжений от местного изгиба пластин секции, т.е. от усилия q_2 .

Так как у реальных конструкций $l_3 \gg H$, то имея в виду принцип Сен-Венана составляющие тензора напряжений от усилия q_1 можно определить по теории балок.

Местные напряжения можно определить по расчетной схеме, представленной на рисунке 2.а.

Упругая система состоит из двух элементов: коробчатой пластинчатой системы, отражающей поведение участка секции, и двух массивов (объемных деталей), отражающих поведение скользящих, а также односторонних связей между верхней пластиной и массивами. Внешней нагрузкой для системы является усилие на скользящий от секции №1 – сила P_2 , а давление q_2 будет получено в результате расчета упругой системы как внутреннее усилие в связях между элементами системы. Включение в упругую систему скользящих дало возможность учесть распределение давлений в контакте "верхняя полка – скользящий". Это существенно повысило точность расчета, так как эксцентриситет приложения нагрузки к верхней полке имеет значительное влияние на величину местных напряжений [1]. Длина участка секции L принята небольшой чтобы исключить напряжения общего изгиба от усилия q_2 . По рекомендациям [2] $L = 2.5B + l_c$ (l_c – длина скользящего). Практический расчет методом конечных элементов (МКЭ) подтверждает правильность выбора длины участка секции L .

Теоретическое исследование местных напряжений проводилось с помощью стандартной программы, реализующей МКЭ.

Ввиду продольной и поперечной геометрической симметрии и симметрии нагружения упругой системы (см. расчетную схему на рисунке 2.а) КЭ-модель составлена как ее четвертая часть, при этом для узлов в плос-

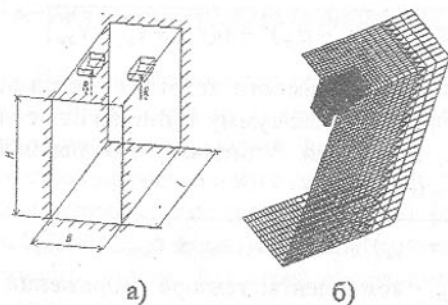


Рис. 2. Схема к определению местных напряжений.

костях симметрии заданы условия симметрии. КЭ-сетка изображена на рисунке 2.б. Коробчатая пластинчатая система аппроксимирована прямоугольными и треугольными плоскими элементами. Массив аппроксимирован объемными элементами. Между совпадающими узлами верхней пластины и мас-

сива по всей площади их контакта заданы односторонние связи.

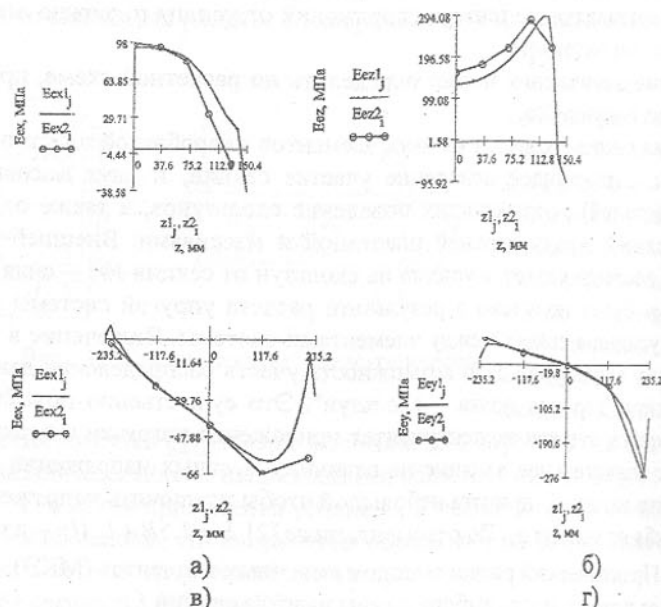


Рис. 3. Сопоставление напряжений : а, б – в верхней полке в продольном и поперечном направлениях; в, г – в стенке.

Ввиду отсутствия теоретических исследований, сложности решения с помощью МКЭ и важности проверки прочности секций в области опорных узлов на НКМЗ было проведено тензометрирование имитатора секции. Схема имитатора секции при тензометрировании близка к приведенной расчетной схеме, изображенной на рисунке 2.а.

На рисунке 3 приведены результаты теоретических (сплошная линия) и экспериментальных (пунктирная) исследований для сечения А-А.

На графиках видно хорошее качественное и количественное приближение результатов расчета МКЭ к экспериментальным данным : максимальное отклонение составляет не более 10 %. На этом основании можно сделать заключение, что выбранная упругая система для моделирования напряженно-деформированного состояния секции в области скользящих вполне приемлема

Список литературы: 1. Ряхин В.А., Гривезирский Ю.В., Гольдин Ю.М. Анализ местной нагруженности крановых телескопических стрел методом конечных элементов. – Строительные и дорожные машины, 1984, №4. 2. Ряхин В.А., Мошкарёв Г.Н. Долговечность и устойчивость сварных конструкций строительных и дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1984.-232 с., ил. 3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. –М.: Наука, 1979.-559 с.

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ЖИДКОСТНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ КРУПНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Брянкин О. Ю., Тазмеев Б. Х. (КамПИИ, г. Набережные Челны, Россия)

The opportunities of using the electric discharge between the metal and electrolyte without application of the electrolytic tank are investigated for the local processing of the large half-finished product surfaces.

При использовании жидкостного электрического разряда с одним жидким электродом обрабатываемая заготовка, как правило, помещается либо над ванной либо внутри ванны с электролитом.

В данной работе рассматривается способ использования жидкостного электрического разряда без применения электролитической ванны. Жидкостный электрод представляет собой специальное устройство, для краткости называемое пористым электродом. Электрический разряд зажи-

гается между пористым электродом и обрабатываемым участком поверхности заготовки. Движение пористого электрода около поверхности заготовки практически является свободным. Обрабатываемая заготовка служит анодом. Напряжение между заготовкой и пористым электродом регулируется от 500 до 3000 В. Электрический разряд горит в парах электролита, который просачивается через пористый электрод. Разряд имеет многоканальную структуру и обширную площадь привязки к обрабатываемой поверхности, состоящую из множества точечных пятен, на которые упираются каналы разряда. При малых токах площадь привязки зависит от тока. Она увеличивается с ростом тока до размеров площади рабочего торца пористого электрода. При дальнейшем увеличении тока площадь привязки не изменяется, количество каналов разряда растёт. Таким образом, увеличивается средняя плотность тока и удельный поток тепла к поверхности.

В работе исследовано воздействие разряда на поверхность различных металлов с применением пористых электродов с площадью рабочего торца от 5 до 30 см² при изменении тока в диапазоне от 0,1 до 1,5 А. В зависимости от плотности тока, природы электролита и расстояния между обрабатываемой поверхностью и рабочим торцом пористого электрода реализуются различные режимы воздействия разряда на заготовку. Показано, что жидкостный разряд с пористым электродом успешно может быть использован для местного нагрева, для снятия заусенцев, для местного травления и ряда других технологических операций.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Бубликов И.А., Середкин В.В., Шевченко А.Г.
(ВИ НГТУ, г. Волгоград, Россия)

In the report is present mathematical calculation model on PC process of contamination in technological systems. Dispersion composition corresponded to water of Tsimliansk storage reservoir. Results of calculation are compare with results of experimental studies and show their good slope.

Экспериментальные и расчетные исследования, проведенные авторами имели своей целью качественный и количественный анализ процесса доставки коллоидных частиц из потока жидкости к стенке трубы, выявление закономерностей образования отложений и разработки методов эффективной борьбы с ними. Основной проблемой при решении задачи является сложность описания с физической точки зрения турбулентных те-

чений, процесса седиментации частиц из потока жидкости и характера взаимодействия частиц друг с другом и со стенкой трубы.

Можно выделить два пути решения: эмпирический и теоретический. Первый позволяет представить процесс в виде зависимости количества образующихся отложений от времени их формирования и различных технологических, конструкционных и химических факторов, таких как материал и размер труб, режим течения жидкости, а также от количества и состава включений.

Как правило, большинство методик имеют эмпирический характер и позволяют определять количество образующихся отложений с большой погрешностью и не несут в себе универсальности [1].

Предлагаемая математическая модель позволяет рассчитать количество коллоидных частиц, оседающих на стенки трубы, при их движении в потоке жидкости под действием различных сил (см. рис.1). Частицы, имеющие заданную концентрацию, распределены в жидкости произвольным образом. При движении жидкости на каждую из частиц действуют силы: гравитации mg , Архимеда $F_{арх}$, воздей-

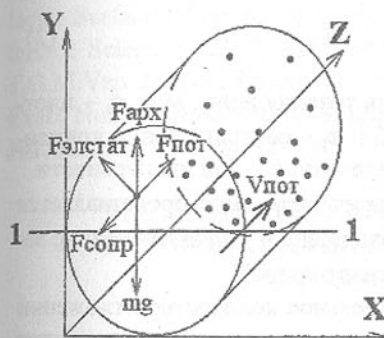


Рис. 1. Схема распределения частиц по сечению трубы и сил, действующих на частицу.

ствия потока $F_{пот}$, сопротивления течению $F_{сопр}$, электростатического взаимодействия $F_{элстат}$ между частицей и стенкой трубы. Электростатическая сила имеет различное направление в пространстве в зависимости от положения частицы. В модели учтена также турбулентность потока и возможность столкновения частиц друг с другом. Таким образом, уравнение движения частицы вдоль оси трубы (ось X, см.рис.1.) имеет вид:

$$m \cdot \ddot{a} = \sum \vec{F}, \quad (1)$$

Иначе уравнение (1) можно записать в интегральном виде:

$$\int \frac{V \cdot dV}{A \cdot V^2 + B \cdot V + C} = D \cdot \int dx, \quad (2)$$

где m – масса частицы, кг; a – ускорение движения частицы, м/с²; V – скорость движения частицы, м/с; $\sum F$ – векторная сумма сил, действующих на частицу, Н: по оси X: $\sum \vec{F} = \vec{F}_{пот} + \vec{F}_{сопр}$, по оси Y: $\sum \vec{F} = \vec{F}_{арх} + mg + \vec{F}_{элстат} + \vec{F}_{сопр}$, по оси Z: $\sum \vec{F} = \vec{F}_{элстат} + \vec{F}_{сопр}$.
 A, B, C, D – константы интегрирования, зависящие от плотности и вязко-

сти воды, скорости потока, плотности и диаметра частицы.

Решение трансцендентного уравнения (2) для заданного шага по оси X дает значение скорости частицы вдоль этой оси. Уравнения движения частиц вдоль осей Y и Z составляются аналогично уравнению (1), а их решение имеет вид, соответствующий уравнению (2).

Результатами расчета являются: расстояние, которое частица проходит до столкновения со стенкой трубы, и время, за которое частица проходит это расстояние. При этом считается, что все частицы, достигающие стенки закрепляются на ней, формируя слой отложений.

Массовая скорость отложений на стенку определяется по формуле:

$$V_g = \frac{d_{mp} \cdot V_e \cdot \rho_e}{4 \cdot l_{mp}} \cdot \sum_{i=1}^n C_i \cdot \varphi_i, \quad (3)$$

где d_{mp} — диаметр трубы, м; V_e — скорость течения воды, м/с; ρ_e — плотность воды, кг/м³; l_{mp} — длина трубы, м; C_i и φ_i — соответственно концентрация (кг/кг), и доля осевших частиц определенной i -ой дисперсности.

Зависимость V_g от времени τ в эмпирическом виде представляется гиперболой вида: $V_g = A/\tau$, где параметры, входящие в A практически не зависят от τ . Они оказывают влияние на крутизну кривой.

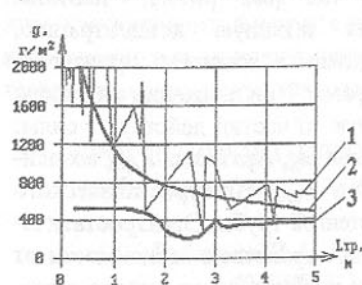


Рис. 2. Распределение отложений по длине трубы ($\tau = 2400$ ч): 1 — по расчету; 2 — аппроксимирующая кривая; 3 — по экспериментальным данным.

ответствовало технической воде г. Волгодонска (Цимлянское водохранилище). Расчетное время накопления загрязнений составляло 2400 часов, что соответствовало времени наработки экспериментальной установки, смонтированной на Волгодонской ТЭЦ-2. Это позволило сравнить результаты расчетных и экспериментальных исследований. На рис.2 представлено распределение загрязнений по длине трубы в виде параметра g — удельного количества отложений [г/м²].

Удельное количество отложений g , накопленное за период проведения эксперимента τ может быть определено путем интегрирования:

$$g = \int_0^{\tau} V_g \cdot d\tau = \int_0^{\tau} \frac{A}{\tau} \cdot \ln(\tau) \cdot d\tau. \quad (4)$$

В расчетных исследованиях принимались следующие параметры:

вода, содержащая мелкодисперсные частицы размером от 5 до 80 мкм концентрацией до 30 мг/л, двигалась в горизонтальной трубе диаметром 24мм, длиной 9 м со скоростью 1 м/с. Распределение частиц по размерам C_i соответствовало технической воде г. Волгодонска (Цимлянское водохранилище).

Сопоставление полученных кривых показывает их неплохое сходжение. Следует отметить, что в предлагаемой математической модели необходимо уточнить комплекс сил, учитывающих электростатическое взаимодействие частиц с поверхностью. Уровень этих взаимодействий будет зависеть от химического состава воды, как электролита, от материала стенки трубопровода, от состава и структуры дисперсных частиц.

Список литературы: 1. Matthias Bohnet. Fouling von Wärmeübertragungsflächen// Chemie Ingenieur Technik, Vol.57, №1, 1985, pp. 24-36. 2. Z. Adamczyk and T.G.M.Van de Ven. Kinetics of Particle Accumulation at Collector Surfaces. Approximate Analytical Solutions// Journal of Colloid and Interface Science, Vol.97, №1, January 1984, pp. 68-90. 3. Z. Adamczyk and T.G.M.Van de Ven. Kinetics of Particle Accumulation at Collector Surfaces. Exact Numerical Solutions// Journal of Colloid and Interface Science, Vol.97, №1, January 1984, pp. 91-104.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТОВ

Бубликов И. А., Шевейко А. Н., Беспалова Ж. И., Мирошниченко Л.Г.
(ВИ НГТУ, г. Волгодонск, Россия)

In the report the results of experimental researches by definition thermal conductivity of the filled polymeric coverings are generalised. The settlement dependences for definition of factor thermal conductivity of multicomponent structures are submitted.

Широкое использование органических и композиционных материалов в машиностроении требует дополнительных данных о теплофизических свойствах этих материалов. Ограниченность существующих расчетных методов не позволяет с достаточной точностью прогнозировать теплопроводность двух-, трех- и более компонентных составов.

Авторами проведены исследования по определению теплопроводности наполненных фторопластов. Для реализации определенных технологических свойств покрытий полимеры наполняют мелкодисперсными включениями необходимого удельного объемного содержания (v). В работе исследованы включения: сажи, меди и бронзы в диапазоне объемных концентраций по высокотеплопроводным включениям от 0 до 40 %.

Расчет теплопроводности многокомпонентных структур основывается на общей теории проводимости. Структуры разделяют на следующие группы [1]:

- статистические смеси, в которых объемное строение включений неизвестно;
- матричные - вкрапление одного материала в структуру другого;
- взаимопроникающие, в которых наблюдается непрерывная протяженность всех компонентов;
- зернистые и связанные системы - кристаллические структуры.

Для композиционных материалов рассматривают, как правило, первые две группы. При этом предлагается две наиболее простые расчетные

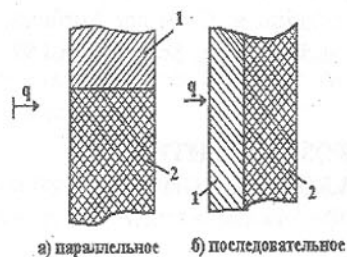


Рис. 1. Схемы теплопроводности (рис. 1).

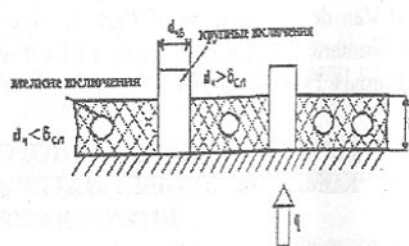


Рис. 2. Модель реальной структуры образца.

Теплопроводность этих структур определяется соответственно по следующим формулам:

$$\text{параллельная } \lambda_o = \nu_1 \lambda_1 + \nu_2 \lambda_2 = \sum_{i=1}^n \nu_i \lambda_i \quad (1);$$

$$\text{последовательная } \lambda_o = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\nu_1 \cdot \lambda_2 + \nu_2 \cdot \lambda_1} = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{\nu_i}{\lambda_i} \quad (2).$$

Однако реальные структуры значительно сложнее. Зависимость коэффициента теплопроводности от объемного содержания включений будет лежать в области ограниченной неравенствами Винера:

$$1 / \sum_{i=1}^n \frac{\nu_i}{\lambda_i} \leq \lambda_o \leq \sum_{i=1}^n \nu_i \lambda_i \quad (3)$$

Для более точного определения коэффициента теплопроводности статистических структур рекомендуется использовать формулы Л. Д. Ландау - Е. М. Лифшица, Бира и др., для матричных двухкомпонентных смесей при $\nu \leq 0,25$ формулы Максвелла, В. И. Оделевского.

В случае, если зерна имеют коэффициент теплопроводности выше, чем наполнитель при $\nu < 0,5$, можно использовать формулу Брюггемена:

$$\lambda_o = \frac{\lambda_1}{(1-\nu)^n}, \text{ где } n=3 \quad (4)$$

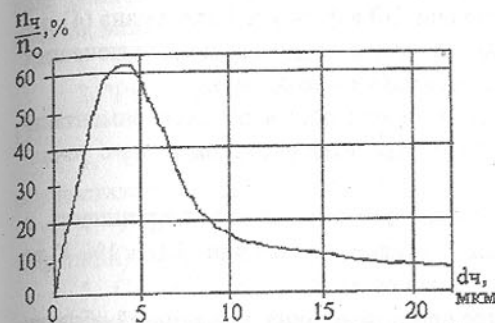


Рис. 3. Распределение включений по размерам частиц.

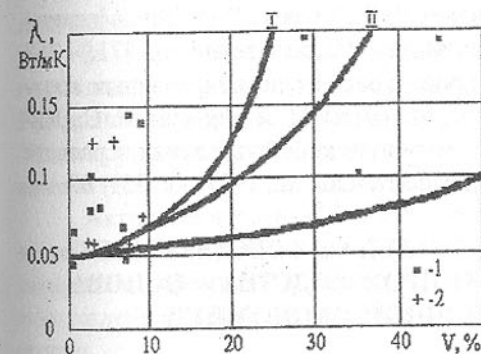


Рис. 4. Коэффициент теплопроводности наполненного фторопласта в зависимости от объемного содержания включений: 1-меди; 2-бронзы; I - зависимость по Оделевскому; II - зависимость по Брюггемену; III - модель последовательной проводимости.

Проведенные исследования показали, что в отличие от опубликованных ранее результатов испытания наполнителя эпоксидного компаунда [2], коэффициент теплопроводности наполнителя мелкодисперсными включениями ($d_i < d_{ср}$) фторопласта в зависимости от их объемного содержания изменяется не по формуле В. И. Оделевского, а по формуле Брюггемена. Отклонение экспериментальных данных не превышает 30 % (см. рис. 4).

Размеры полидисперсных включений имели распределение, представленное на рис. 3. Как видно из него размеры некоторых включений превышали толщину покрытия, т.е. локально возникала возможность передачи тепла в соответствии с комбинацией параллельно-последовательной моделью.

При этом механизм теплопроводности описать теоретически сложно, а в эмпирическом виде, можно пред-

ставить выражением, аналогичным Брюггемену (4). Необходимой крутизны кривой, описывающей экспериментальные данные, можно добиться увеличением показателя степени n . Он может быть описан как функция от размера d_i и объемного содержания ν_i частиц и толщины слоя покрытия

$$\delta_{cl}: n = a \cdot \frac{d_{cl}}{\delta_{cl} \cdot v_{cl}}$$

где a – коэффициент, учитывающий материал включения: для дисперсных частиц из меди $a = 1/35$; для частиц из бронзы $a = 1/50$.

Предлагаемый показатель степени (n) в формуле Брюггемана (4) позволяет расширить ее границы, так как при мелкодисперсных включениях определенного размера он может принимать значение $n=3$.

Использование показателя степени при обработке экспериментальных данных позволило получить удовлетворительное схождение с точками V до 10% (рис 4)

Определение объемного содержания имело высокую погрешность, а точность его измерения существенно влияло на значение λ (на 1% V до 10% λ).

В результате чего, отклонение некоторых точек в указанной области достигло 50%.

Список литературы: 1. Васильев Л. П., Танаева С. А. Теплофизические свойства пористых материалов. Минск: Наука и техника, 1971. – 268 с. 2. Морозкин В. А. И др. Теплопроводность модифицированных эпоксидных компаундов / Морозкин В. А., Михайлов Н. Я., Ривкин М. С., Кисилева Л. В. – В сб.: Современные тенденции конструирования и расчета теплообменного оборудования / ВНИИнефтемаш. М., 1987. – с. 73 – 83.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА - ОСНОВА УСТОЙЧИВОЙ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ

Будаев В. А., Усов В. П. (Сф СамГТУ, г. Сызрань, Россия)

It is stated that the way to the civilised world market is through the erection of competitive product starting from the period of engineer personality formation.

Действенная система общественного бытия вида "Образование-Наука-Производство-Торговля" и ее образовательная подсистема с пирамидальной вершиной "Техническая интеллектуальная собственность" (далее ТИС-вершина) предопределяют крутое восхождение через теорию решения интеллектуальных задач (ТРИНЗ).

Обогащая ТРИНЗ современными положениями и принципами (приемами), авторы разработали и результативно используют в учебной

технологии подготовки специалистов 21-го века методологию быстрого восхождения к ТИС-вершине, начиная с первых дней деятельности студентов в ОСКБ "Проблемы машиностроения" Сф СамГТУ.

Свидетельством тому могут служить конкуренто- и охраноспособные решения, созданные студентами филиала под авторским руководством, вида [1]:

1. "Влагоотделитель" - а.с. 1650204 СССР (С. Горин) [2];
2. "Режущий инструмент" - пат. 2097168 РФ (Е. Усова, Д. Пантелеев) [3];
3. "Способ измельчения сыпучего материала и мельница для его осуществления" - пат. 2054966 РФ (Е. Шалагина, О. Чурашева) [4];
4. "Лепестковый круг" - пат. 2049659 РФ (С. Велин, А. Денисов, А. Сарапкин) [5];
5. Способ фольгообразования лезвийным резанием пластинами с резбовой передней поверхностью на базе патента 2097168 и роликовым подпором согласно а.с. 1274852 СССР (В. Янин, М. Усов) [6];
6. Способ соединения композитных конструкций "ершовым" гвоздем, элементы стопорения которого создаются в момент забивания [6].

За цикл работ, в составе которого значатся тезисы № 5 и 6 настоящего доклада, студентам гр. МЭ-205 Михаилу Усову и Виктору Янину на 1-м Европейском форуме "Шаг в будущее-97" присвоены почетные звания "Член-корреспондент" Российского Молодежного Политехнического Общества (РМПО).

Активные члены ОСКБ "ПМ", освоив премудрости ТРИНЗ с его новыми положениями типа "2-вершинный вепольный треугольник", "п-вепольная пирамида" и другие [7], осуществили вышеизложенное ТИС-восхождение, опередив потребности заинтересованных производств и рынка.

В настоящее время ведутся работы по использованию методологии "Крутое восхождение к ТИС-вершине" в ходе целевой индивидуальной подготовки специалистов по заказам промышленных учреждений г. Сызрани в том числе флагмана энергетического машиностроения - АО "Тяжмаш".

При ее внедрении выпускники Сф СамГТУ, несомненно, внесут творческий вклад в укрепление экономики через создание желанных на мировом рынке объектов промышленной собственности, что обеспечит устойчивые рыночные отношения.

Список литературы: 1. Усов В. П., Будаев В. А., Велин Н. В. НИОКР - один из путей совершенствования технологии и кадровой поли-

тики в вузе // Интеграция образования, науки и производства: Тезисы докладов 2-ой Международной научно-методической конференции (26-29 сентября 1996 г.). - Луцк, 1996. - С. 67. 2. А.с. 1650204 СССР, МПК³ В 01Д 45/08. Влагодотделитель / В. А. Будаев, Ю. А. Кульков, С. А. Горин (РФ). - № 4694172/26; Заяв. 22.05.89; Оpubл. 23.05.91, Бюл. № 19. 3. Пат. 2097168 РФ, МПК⁶ В 23 В 27/16, В 23 С 5/00, В 23 Д 43/00. Режущий инструмент / В. П. Усов, Е. В. Усова, Д. В. Пантелеев и др. (РФ). - № 94014565/02, Заяв. 19.04.94; Оpubл. 27.11.97, Бюл. № 33. 4. Пат. 2054966 РФ, МПК⁶ В 02 С 15/00. Способ измельчения сыпучего материала и мельница для его осуществления / В. П. Усов, Е. Е. Шалагина, О. А. Чурашова и др. (РФ). - № 5056352/33, Заяв. 24.07.92; Оpubл. 27.02.96, Бюл. № 6. 5. Пат. 2049659 РФ, МПК⁶ В 24 Д 13/14. Лепестковый круг / В. П. Усов, С. Н. Велин, А. В. Денисов, А. В. Сарапкин и др. (РФ). - № 5029758/08; Заяв. 03.02.92; Оpubл. 10.12.95, Бюл. № 34. 6. Усов М. В., Янин В. В., Усов В. П. Технологическая механика резания сплошных конструктивных сред, ее методологическая и инструментально-экономическая значимость // Механика машиностроения: Тезисы докладов Международной научно-технической конференции (23-25 сентября 1997 г.). - Набережные Челны: Камский политехнический институт, 1997. - С. 139-140. 7. Усов В. П., Будаев В. А., Родионов Л. Ф. и др. ТРИЗ и техническая интеллектуальная собственность машиностроения: Учебное пособие. - Самара, 1998. - 190 с.

ОПЫТ ОБОГАЩЕНИЯ ЛОМА ЦВЕТНЫХ И ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ НА КОНЦЕНТРАЦИОННОМ СТОЛЕ С БИГАРМОНИЧЕСКИМ ВИБРАТОРОМ

Букин С.Л., Корчевский А.Н., Золотухин В.А., Бредихин В.Н.,
Самсонов А.И., (ДонГТУ, ДонИЦМ, г. Донецк, Украина)

The most perspective method of enrichment of the breakage of colour and precious metals the its concentration on the vibration table of antiresonant type.

До настоящего времени при переработке лома цветных и драгоценных металлов практически все механизированные процессы базировались на сухих методах обогащения.

Однако преимущества обогащения в водной среде бесспорны.

Необходимо учитывать длительный опыт эксплуатации машин по обогащению угля, золотосодержащих, вольфрамовых, молибденовых руд и руд черных металлов, в которых ведущее место занимают гравитационные методы.

Сущность метода основывается на различии плотностей, размеров и форм частиц, в которых разделение обусловлено различием в характере и скорости их движения в текучих средах под действием сил тяжести и сил сопротивления.

Гравитационные процессы обогащения обеспечивают эффективное разделение при относительно низких материальных, трудовых и энергетических затратах.

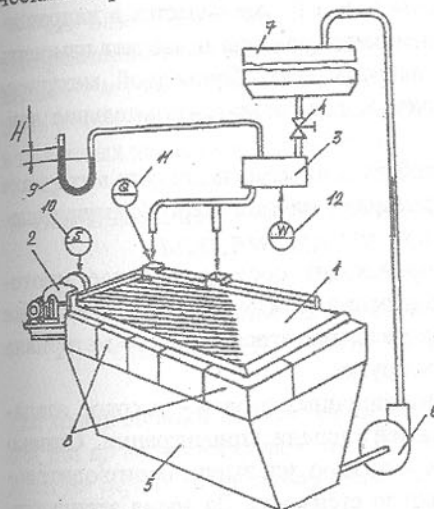


Рис.: 1 - концентрационный стол; 2 - биармонический вибратор; 3 - расходомер технологической воды; 4 - вентиль; 5 - бак оборотной воды; 6 - насос перекачки воды; 7 - напорный бак; 8 - лотки приема отходов, продукта и концентрата; 9 - жидкостный манометр; 10 - механизмы регулирования угла линии действия, амплитуды и частоты колебаний; 11 - механизм регулирования расхода исходного материала; 12 - контроль и регулирование технологической воды.

К гравитационным процессам обогащения относятся многочисленные методы, анализ которых позволил выделить наиболее перспективные при обогащении лома цветных и драгоценных металлов. К ним следует отнести обогащение на концентрационных столах.

Концентрационные столы нашли распространение при обогащении оловянных, вольфрамовых, редкометалльных, золотосодержащих руд крупностью от 0,04 до 3 мм, а также углей крупностью менее 10 мм.

В настоящее время ведущим производителем концентрационных столов является институт Механобр, завод которого выпускают опорные столы типа СКО площадью от 0,5 м² до 20 м². В Украине концентрационные столы не производятся.

Несмотря на широкую область применения столы типа СКО имеют ряд существенных недостатков.

ДонГТУ совместно с ДонИЦМ разработана малогабаритная установка по обогащению лома электронной промышленности.

Установка состоит из концентрационного стола, бункера с питателем, бака оборотной воды, системы водо- и электроснабжения (см. рис.). Все эле-

менты установки монтируются на раме.

Схема модульной установки с концентрационным столом новой конструкции

Установка работает по замкнутому циклу без сброса отработанных вод.

Концентрационный стол подвешенного исполнения с бигармоническим вибровозбудителем, трапецеидальной декой с резиновым покрытием. Вдоль деки закреплены рифли, высота которых уменьшается в направлении к торцевой части деки. Механизм регулирования позволяет изменять поперечный и продольный углы наклона деки. Приводной механизм (вибратор) сообщает деке асимметричное возвратно-поступательное движение.

В результате комплексного воздействия на зерна исходного материала они расслаиваются по плотности и занимают на деке веерообразное положение.

На концентрационном столе происходит последовательное многократное повторение процесса концентрации между рифлями и в то же время дополнительная концентрация расслоившегося тяжелого материала при веерообразном движении его к разгрузке.

Основное преимущество концентрационных столов - высокое извлечение тяжелых минералов при большей степени концентрации. Однако известные столы имеют недостатки - низкую удельную производительность, сложность конструкции, большую стоимость. За время эксплуатации установки выявлены следующие ее особенности:

- высокая эффективность переработки лома при извлечении концентратной фракции в концентрат, достигающая на различных видах сырья 88...93%;

- содержание ценного компонента в неметаллических фракциях практически равно нулю;

- достаточно высокая производительность, позволяющая обрабатывать 40...50 кг дробленого лома в смену;

- экологическая чистота и отсутствие вредностей при работе на установке;

- возможности оперативного регулирования параметров процесса разделения;

- низкая стоимость установки, небольшие капитальные и производственные затраты, возможность использования для разнообразного сырья.

На основании проведенных работ ДонГТУ разработаны мероприятия по совершенствованию конструкции установки. В основу стола нового типа положена схема динамического гасителя колебаний, позволяющая ис-

пользовать простой самобалансный вибратор, что резко снижает стоимость машины и повышает надежность ее работы.

Возбуждение вертикальной составляющей амплитуды колебаний деки, кроме горизонтальной, интенсифицирует процесс разделения.

Антирезонансный режим работы также существенно снижает динамические нагрузки на перекрытия здания и уменьшает электропотребление.

На базе данной конструкции концентрационного стола разработан типоразмерный ряд многолетних столов от одноярусного СКМ-1 площадью 4 м², до пятиярусного СКМ-5 площадью 20 м². Эти столы могут быть использованы для обогащения разнообразных полезных ископаемых в поточных технологических линиях.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ ТРЕХМАССОВОГО БИГАРМОНИЧЕСКОГО ВИБРОГРОХОТА

Букин С.Л. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

Соломичев Н.Н. (ПНИ "Интерус", г. Донецк, Украина)

The screen contains the box two sieve's frames and two inertial vibration exciters. Set up equations of movement of oscillatory system. The analytical expressions for definitions of making amplitudes of each mobile weights are received.

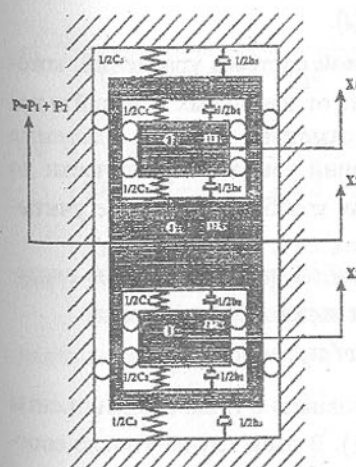


Рис. Упрощенная расчетная схема трехмассовой колебательной системы.

Оптимальной конструкцией виброгрохота с несколькими ярусами сит можно считать такую, в которой сита совершают колебания с разной интенсивностью, а амплитуда колебаний короба близка к нулю. Кроме того, в последние годы получают распространение вибромашины с негармоническими законами колебаний.

Наиболее полно отвечает приведенным требованиям грохот, содержащий виброизолированный короб, две ситовые рамки, соединенные с коробом при помощи упругих элементов, и два дебалансных вибровозбудителя, закрепленных на коробе.

Расчетная схема такого грохота приведена на рис. Воспользовавшись допущениями, традиционными для прикладной теории колебаний, можно принять за обобщенные координаты абсолютные смещения центров масс X_1, X_2, X_3 .

В качестве обобщенных (внешних) сил принимаем возбуждающие силы в виде

$$P_1 = m_{b_1} r_1 \omega_1^2 \sin(\omega_1 t + \theta_1); \quad P_2 = m_{b_2} r_2 \omega_2^2 \sin(\omega_2 t + \theta_2),$$

где m_{b_1}, m_{b_2} - неуравновешенные массы первого и второго вибровозбудителя соответственно;

r_1, r_2 - эксцентриситеты первого и второго вибровозбудителя;

ω_1, ω_2 - рабочие частоты (частоты установившегося режима) первого и второго вибровозбудителя.

Запишем уравнения движения в окончательном виде

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + c_1(x_1 - x_3) &= 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 + b_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + c_2(x_2 - x_3) &= 0; \\ m_3 \ddot{x}_3 - b_1 \dot{x}_1 - b_2 \dot{x}_2 + (b_1 + b_2 + b_3) \dot{x}_3 - c_1 x_1 - c_2 x_2 + (c_1 + c_2 + c_3) x_3 &= \\ = m_{b_1} r_1 \omega_1^2 \sin(\omega_1 t + \theta_1) + m_{b_2} r_2 \omega_2^2 \sin(\omega_2 t + \theta_2). \end{aligned} \quad (1)$$

Система (1) линейных неоднородных обыкновенных дифференциальных уравнений 2-го порядка имеет, как известно из курса математики, решение, состоящее из суммы двух решений

$$x_k(t) = x_{1k}(t) + x_{2k}(t).$$

Здесь $x_{1k}(t)$ - общее решение однородной системы уравнений, которое отражает свободные колебания и зависит от начальных условий и коэффициентов сопротивления. Необходимо отметить, что все слагаемые функций $x_{1k}(t)$ в течение нескольких колебаний убывают практически до нуля и в зоне установившихся вынужденных колебаний могут не учитываться.

Второе слагаемое $x_{2k}(t)$ представляет собой частное решение системы (1), которое ищется в виде (в дальнейшем индекс '2' опускается):

$$x_k = a'_k \sin(\omega_1 t + \theta'_k) + a''_k \sin(\omega_2 t + \theta''_k).$$

Чтобы найти постоянные a'_k и a''_k , приравняем к нулю коэффициенты сопротивления (демпфирования) системы (1). В этом случае (после соответствующих преобразований) система (1) примет вид

$$\ddot{x}_1 + p_1^2(x_1 - x_3) = 0;$$

$$\ddot{x}_2 + p_2^2(x_2 - x_3) = 0;$$

$$\begin{aligned} \ddot{x}_3 - \eta_1 p_1^2 x_1 - \eta_2 p_2^2 x_2 + (\eta_1 p_1^2 + \eta_2 p_2^2 + p_3^2) x_3 &= \\ = H_1 \omega_1^2 \sin \omega_1 t + H_2 \omega_2^2 \sin \omega_2 t. \end{aligned}$$

Здесь введены обозначения:

$$\eta_1 = \frac{m_3}{m_1}; \quad \eta_2 = \frac{m_3}{m_2}; \quad H_1 = \frac{m_{b_1} r_1}{m_3}; \quad H_2 = \frac{m_{b_2} r_2}{m_3};$$

$$p_1 = \left(\frac{c_1}{m_1} \right)^{1/2}; \quad p_2 = \left(\frac{c_2}{m_2} \right)^{1/2}; \quad p_3 = \left(\frac{c_3}{m_3} \right)^{1/2}.$$

Параметры p_1, p_2 и p_3 являются парциальными частотами системы.

Воспользуемся принципом суперпозиции для получения аналитических выражений, позволяющих определять составляющие амплитуд колебаний подвижных масс

$$a_1^{(I,II)} = \frac{k_2^{(I,II)} \cdot a_3^{(I,II)}}{k_2^{(I,II)} - 1}; \quad (2)$$

$$a_2^{(I,II)} = \frac{k_3^{(I,II)} \cdot a_3^{(I,II)}}{k_3^{(I,II)} - 1}; \quad (3)$$

$$a_3^{(I,II)} = \frac{H_{1,2} (k_2^{(I,II)} - 1) (k_3^{(I,II)} - 1)}{(k_1^{(I,II)} + \eta_1 k_2^{(I,II)} + \eta_2 k_3^{(I,II)} - 1) (k_2^{(I,II)} - 1) (k_3^{(I,II)} - 1) - \eta_1 k_2^{(I,II)2} - \eta_2 k_3^{(I,II)2}}, \quad (4)$$

где $k_1^{(I)} = p_1 / \omega_1$; $k_2^{(I)} = p_2 / \omega_1$; $k_3^{(I)} = p_3 / \omega_1$;

$$k_1^{(II)} = p_1 / \omega_2; \quad k_2^{(II)} = p_2 / \omega_2; \quad k_3^{(II)} = p_3 / \omega_2.$$

Как следует из этих выражений (2-4), колебательная система имеет два антирезонанса и три резонанса.

Частоты антирезонанса равны $\omega_{A_1} = p_2$ и $\omega_{A_2} = p_3$, а резонансные частоты нетрудно определить из уравнения

$$(k_1 + \eta_1 k_2 + \eta_1 k_3 - 1)(k_2 - 1)(k_3 - 1) - \eta_1 k_2^2 - \eta_2 k_3^2 = 0.$$

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АМОРФНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Буравлев Ю.М., Чернявская Н.В., Р.Чандра Синха (ДонГУ,
г. Донецк, Украина), Крысова С.К., Крысов В.И.
(ДонФТИ НАНУ, Донецк, Украина)

The processes of structure and composition alterations of the amorphous metals and alloys under the action of laser pulses are considered.

Эффективность использования лазеров для обработки металлов в значительной степени обусловлена знаниями об изменении структуры и свойств металла в зоне воздействия концентрированных потоков энергии, особенно в случае обработки аморфных металлов [1-3 и др.]. К сожалению, исследования этой проблемы посвящено явно недостаточное число работ [4-6 и др.].

Целью настоящей работы явилось исследование структурных преобразований металла под воздействием лазерных импульсов в режиме свободной генерации. Объектом исследования служили аморфные и поликристаллические образцы железо-никелевого сплава Fe40Ni40P14B6. Аморфные сплавы были получены методом закалки из жидкости в виде тонких лент при определенных температурах закалки (1000-1250 С), путем литья на вращающуюся стальную подложку. Они имели толщину 30-100 мкм и ширину до 3 мм. Внешняя(свободная) и контактная поверхности таких образцов отличались друг от друга рельефом и микротвердостью. Другая часть образцов отливалась параллельно в кварцевые трубки диаметром 5 мм, что обусловило получение поликристаллической структуры металла. Металлографические исследования указанных сплавов производились с использованием оптического и электронного микроскопа, масспектрометрические измерения - на приборе МИ-1305. Обработка образцов была проведена с применением генератора от лазерного микроанализатора ЛМА-1 фирмы «Карл Цейсс», работающего в режиме свободной генерации со следующими параметрами: напряжение-1,5 кВ, емкость-508 мкф и индуктивность-127 мкГн. Плотность и мощности излучения составляла 10^6 Вт/см при длительности импульса 0,002 с.

Металлографические исследования образцов показали, что в зависимости от исходного состояния поверхности образцов лазерные кратеры различаются по внешнему виду. Так, толщина белых слоев заметно больше при более высокой температуре закалки расплава, особенно на контактной поверхности.

Изучение микротвердости аморфных сплавов в зоне лазерного воздействия показало, что микротвердость сплава в аморфном состоянии значительно выше, чем в поликристаллическом. Для аморфного состояния характерно уменьшение микротвердости в белом слое и быстрый ее рост в переходной зоне по мере удаления в матрицу. Снижение микротвердости в белом слое, а затем ее резкое увеличение в переходном, можно, в первом приближении, объяснить закалкой после воздействия лазерного импульса. В поликристаллическом образце повышение микротвердости в переходном слое также связано с закалкой. Вторая причина, которая может вызвать изменение микротвердости - изменение химического состава на поверхности после лазерного воздействия вследствие фракционного испарения. Микрорентгеноспектральное изучение распределения железа, никеля и фосфора, выполненное с применением установки «Камебакс», показало, в зоне воздействия лазерного импульса существенно меняется содержание фосфора, а заметных изменений концентраций железа и никеля не наблюдается.

Изучалось также влияние лазерного облучения на мезоструктуру аморфного сплава. Для этого были проведены исследования малоуглового рентгеновского рассеяния исходных сплавов до и после воздействия на них лазерного излучения.

Структурные исследования сплавов на основе меди и алюминия, подвергнутых термической обработке, были проведены рентгеновским методом. Съёмка рентгенограмм проводилась с использованием рентгеновского аппарата УРС-50 ИМ. Результаты проведенных измерений уширения линий на рентгенограммах показывают, что действие лазерного импульса приводит к изменениям тонкой структуры. Например, в случае закаленных образцов бронзы после лазерного воздействия происходит увеличение микроскажений. Кроме того, имеет место смещение линии в сторону больших углов, что свидетельствует об уменьшении параметра решетки бронзы. Последнее может быть связано с изменением концентрации легирующих элементов в сплаве в результате испарения под воздействием лазерного излучения. Для отожженных образцов оловянной бронзы наблюдается тот же эффект, что и у закаленных - увеличиваются микроскажения и происходит сдвиг линии в сторону больших углов. В случае алюминиевых образцов после воздействия смещения линии не наблюдается. В малых углах после облучения линии становятся уже. Измельчения блоков когерентного рассеяния не наблюдается.

Таким образом, изменение структуры и состава в зоне воздействия лазерных импульсов зависит от исходного состояния сплавов, обуслов-

ленного их составом, технологией изготовления и термической обработкой.

Опыты, проведенные с облучением отожженных и закаленных стальных цилиндрических образцов разного диаметра, позволили установить, что структурные преобразования металла в зоне воздействия лазерных импульсов зависят от исходной структуры сплавов, размеров мишени, ее формы, а также теплофизических свойств материалов, обуславливающих условия теплоотвода из зоны воздействия импульса. Полученные данные указывают на необходимость введения понятия «критической» величины размеров металлической мишени [7], то есть таких ее значений, ниже которых структурные преобразования начинают существенно отличаться от таковых в случае обычных вариантов обработки концентрированными потоками энергии металлической мишени в виде полубесконечного тела. Эти результаты необходимо учитывать при лазерной обработке металлических мишеней малых размеров (сварка, пробивка отверстий, термическая обработка), а также при проведении лазерного микроспектрального анализа металлов и сплавов, как в кристаллическом, так и в аморфном состояниях.

Список литературы: 1. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния.- М.: Металлургия, 1982.- 168с. 2. Манохин А. И., Митин Б. С., Васильев В. А., Ревякин А. В. Аморфные сплавы.- М.: Металлургия, 1984.- 176 с. 3. Золотухин И. В. Физические свойства аморфных металлических материалов.- М.: Металлургия, 1986.- 176с. 4. Лимановский А. И. Кинетика кристаллизации металлических сплавов на основе железа в неизотермических условиях. Канд. дисс. Донецк, ДонГУ, 1982.- 101 с. 5. Чандра Сингха Р. Особенности воздействия лазерного излучения в режиме свободной генерации на сплавы разной структуры и металлические мишени малых размеров.- Канд. дисс., Донецк, ДонГУ, 1982.- 101 с. 6. Буравлев Ю. М., Чернявская А. В., Чандра Сингха Р. О влиянии лазерного излучения в режиме свободной генерации на эрозию и структурные преобразования аморфных сплавов. Тезисы докл. V Всесоюзной конференции «Аморфные прецизионные сплавы: технология, свойства, применение». Ростов Великий, 1991.- С.183 7. Буравлев Ю. М. Фотоэлектрические методы спектрального анализа металлов и сплавов.- М.: Металлургия, 1984.- 144 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАННОЙ РЕЛАКСАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА

Бутенко В.И., Пушкарный А.В. (ТРТУ, г. Таганрог, Россия)

Behaviour mechanism of the imperfect structure of metals and alloys before and after deformative influence over a detail has been investigated, exploitative and technological ways of the control its relaxative firmness have been worked out.

Установлено, что эксплуатационные показатели металлов и сплавов определяются скоростью изменения дислокационной структуры, зависящей от первоначального закрепления дислокаций в кристаллах и их подвижности [1]. Релаксационная стойкость дислокационной структуры материалов (способность восстанавливаться до своего первоначального состояния после прекращения внешнего воздействия) определяется дислокационной насыщенностью, строением кристаллической решетки и модулями упругости кристаллов. В общем случае релаксационная стойкость дислокационной структуры может быть оценена величиной остаточной плотности дислокаций $\Delta\rho$, представляющей собой разность между плотностью дислокаций ρ , полученной после снятия с детали нагрузки, и начальной плотностью дислокаций $\rho_{нач}$.

Определялась величина остаточной плотности дислокаций $\Delta\rho$ материалов в зависимости от начального значения их показателя дислокационной насыщенности K_ρ . Исследования показали, что для каждой марки металла и сплава можно выделить значение показателя дислокационной насыщенности K_ρ , в которой релаксационная стойкость дислокационной структуры не будет превышать наперед заданной величины для данного вида материала и условий эксплуатации. В результате возможен выбор наиболее эффективных способов механической обработки и режимов, что имеет большое практическое значение при разработке мероприятий по повышению износостойкости и надежности деталей машин. С другой стороны, релаксационная стойкость дислокационной структуры определяет конструкционную прочность материалов, т.к. величина $\Delta\rho$ тесным образом связана с процессом возникновения и перемещения дислокаций при внешнем деформационном воздействии на материал детали или конструкции [2].

При разработке научных основ технологического обеспечения и управления релаксационной стойкостью дислокационной структуры сталей и сплавов чрезвычайно важное значение имеет зависимость величины $\Delta\rho$ от механической обработки. В общем случае стабильность дислокационной структуры может быть оценена коэффициентом $\rho_{\text{нач}}$ устойчивости K_p [3], представляющем собой отношение текущего значения показателя дислокационной насыщенности материала детали K_p к его начальной величине $(K_p)_{\text{нач}}$.

Предварительные исследования показали, что коэффициент устойчивости дислокационной структуры материала поверхностного слоя обработанных деталей машин K_p является величиной переменной, зависящей от таких факторов, как температурное воздействие, наличие электромагнитного поля или радиоактивного излучения и т.д. В результате воздействия указанных факторов в материале поверхностного слоя детали может наблюдаться эффект дислокационной реструктуризации [4]. Интенсивность процесса дислокационной реструктуризации зависит от физико-механических свойств материала деталей, способа механической обработки поверхности и эксплуатационных факторов (например, условий трения).

При разработке научных основ технологического обеспечения и управления релаксационной стойкостью дислокационной структуры сталей и сплавов чрезвычайно важное значение имеет установленная зависимость величины $\Delta\rho$ от соотношения плотностей дислокаций $\rho_{\text{нач}}/\rho_{\text{исх}} = K_p$. Показано, что значениям $(\rho_{\text{нач}}/\rho_{\text{исх}})_{\text{опт}}$ соответствуют оптимальные величины показателя дислокационной насыщенности K_p , которые для сталей с преимущественной объемноцентрированной кубической кристаллической решеткой составляют 80...100, а для сталей с преимущественной гранецентрированной решеткой - 100...120. Установлено, что стали с преимущественной гранецентрированной кубической кристаллической решеткой имеют более высокую релаксационную стойкость дислокационной структуры в технологически достижимом диапазоне изменения K_p , чем стали с преимущественной объемноцентрированной кубической кристаллической решеткой. Так как $K_p = \rho/\rho_{\text{исх}}$ обеспечивается в процессе механической обработки материала, становится возможным управление релаксационной стойкостью дислокационной структуры материала поверхностного слоя деталей на стадии разработки технологических процессов. К наиболее перспективным направлениям разработки техно-

логических путей управления релаксационной стойкостью дислокационной структуры металлов и сплавов следует отнести следующие:

- 1) механическая обработка металлов с наложенными напряжениями;
- 2) диспергирование металла поверхностного слоя при финишной обработке деталей;
- 3) хонингование деталей методом скользящего контакта;
- 4) комбинированные способы обработки деталей, в том числе в магнитном поле [5];
- 5) проектирование эффективных эксплуатационно-технологических процессов;
- 6) эксплуатационное обеспечение работоспособности деталей, трибосопрежения или конструкции.

Указанные эксплуатационно-технологические пути управления релаксационной стойкостью дислокационной структуры металлов и сплавов открывают широкие возможности для решения важнейшей проблемы современного машиностроения - повышение надежности и долговечности изделий.

Список литературы: 1. Бутенко В.И., Чистяков А.В. Оценка эксплуатационных свойств металлов и сплавов по релаксационной стойкости дислокационной структуры // Тезисы докладов 1-ого собрания металлургов России. - Пенза, 1993. - С. 43-44. 2. Бутенко В.И. Металловедческие основы конструкционной прочности металлов и сплавов: Учебное пособие. - Таганрог: ТРТУ, 1995. 107с. 3. Бутенко В.И. Влияние неоднородности структуры поверхностей трения на их износостойкость // Вестник машиностроения. - 1978, №8. - С. 23-24. 4. Бутенко В.И. Особенности механической обработки деталей промышленных роботов // Обзорн. информ. - М.: ВНИИТЭМР, 1991. Вып. 4. - 64с. 5. Бутенко В.И. Комбинированные способы обработки стали в магнитном поле // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. Донецк: ДонТУ, 1996. - С. 33.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГИДРОПРЕССОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОАЗОТИСТЫХ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ

Варюхин В.Н., Спусканюк В.З., Богданов В.А., Эфрос Б.М.
(ДФТИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

The influence of parameters of thermomechanical treatment using hydroextrusion on phase contents, structure and properties of austenitic steels

containing more than 0,4 mass %, of Nitrogen has been studied. The rational processing regimes providing the increased complex of properties for this class of steels have been determined.

Развитие современной техники требует новых высокопрочных материалов со специальными свойствами. К таким материалам относятся высокоазотистые аустенитные стали (ВАС). Стали, содержащие азот выше предела растворимости, являются принципиально новыми и обладают рядом особенностей, что вызывает к ним в последние годы повышенный интерес. В отличие от сталей не содержащих повышенное количество азота, они имеют высокие показатели прочности и пластичности в широком диапазоне температур. Кроме того, характерной особенностью ВАС является их высокая упрочняемость при холодной пластической деформации, обусловленная низким уровнем энергии дефектов упаковки в γ -фазе. Поэтому дальнейшее повышение физико-механических свойств этих сталей связано с использованием методов обработки давлением.

В то же время традиционные методы в силу ряда причин не всегда обеспечивают требуемый комплекс свойств ВАС, особенно в изделиях сложной конфигурации. В связи с этим необходимо использовать прогрессивные способы пластического деформирования, позволяющие снизить усилие деформирования, обеспечить более благоприятное напряженно-деформированное состояние материала. Одним из наиболее перспективных способов является холодное гидропрессование, при котором деформация осуществляется с помощью жидкости высокого давления.

Использование в качестве деформирующего инструмента жидкости высокого давления позволяет осуществить большие разовые деформации без разрушения материала, получать изделия сложной формы с лучшим качеством поверхности, снизить до минимума влияние внешнего трения и обеспечить оптимальное напряженно-деформированное состояние материала в очаге пластической деформации.

В свою очередь условия осуществления процесса пластического формоизменения могут существенно влиять на фазовый состав, структуру и свойства ВАС. В этой связи изучение влияния условий термомеханической обработки (ТМО) на изменение параметров деформационного упрочнения, эволюцию структуры и свойств ВАС является актуальной задачей.

В работе исследовались аустенитные стали на основе Fe - Mn - Cr - твердого раствора с содержанием азота выше 0,4 мас.%. Исследования проводились для определения рациональных режимов ТМО, обеспечивающих повышенный комплекс свойств сталей данного класса.

На первом этапе проводилась закалка сталей с целью подготовки структурного состояния для последующей обработки давлением. Задача состояла в оптимизации режима обработки на твердый раствор для получения гомогенной структуры с минимальными выделениями частиц второй фазы. В проведенных экспериментах с использованием методов оптической микроскопии, дюротрии и резистометрии исследовалось структурное состояние закаленных при разных режимах сталей. Анализ полученных результатов позволил определить режимы, обеспечивающие наиболее благоприятное структурное состояние.

На втором этапе производилось гидропрессование заготовок на установке прямого действия плунжерного типа, разработанной в ДФТИ НАНУ. Степень деформации при гидропрессовании варьировалась от 10 до 50 %. В процессе деформации фиксировалось пиковое давление и давление установившегося режима. С ростом степени деформации вследствие упрочнения стали давление изменяется экспоненциально. Повышение степени деформации свыше 50 % приводит к росту давления до 1500...1600 МПа, что неблагоприятно сказывается на условиях протекания процесса, может вызвать разрушение деталей оснастки и поэтому неприемлемо в производственных условиях.

Влияние параметров гидропрессования на изменение механических свойств ВАС оценивалось по результатам испытаний на одноосное растяжение. Результаты испытаний представлены на рисунке.

Показано, что пластическая деформация в условиях высоких гидростатических давлений вызывает значительный рост прочностных характеристик сталей. В интервале степеней обжатия 30...50 % гидропрессование в большей степени повышает предел текучести, что приводит к сближению значений σ_B и $\sigma_{0,2}$ с одновременным ростом данных характеристик. Показатели пластичности δ и ψ снижаются, оставаясь при этом на достаточно высоком уровне ($\delta = 15...30\%$; $\psi = 45...50\%$).

На третьем этапе с целью дальнейшего упрочнения γ -матрицы за счет дисперсионного твердения деформированные стали подвергались термическому отпуску в интервале температур 400...800 °С. Анализ результатов исследования кинетики изменения твердости позволил определить оптимальные режимы старения ($T_{стар}$, $t_{стар}$), обеспечивающие максимальное упрочнение деформированных ВАС. Изучение структуры показало, что изменение механических свойств в данном случае обусловлено протеканием непрерывной реакции выделения дисперсных частиц Cr_2N в теле зерна γ -матрицы.

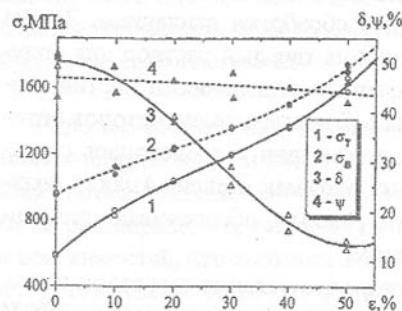


Рис.1. Изменения прочностных и пластических характеристик ВАС.

нении на высоком уровне характеристик пластичности (относительное удлинение $\delta=15...30\%$; относительное сужение $\psi=45...50\%$).

В ДФТИ НАНУ разработаны технологические схемы и режимы ТМО ВАС, обеспечивающие изготовление сплошных и пустотелых изделий сложной конфигурации с высокими показателями точности размеров (6...7 квалитет точности), качества поверхности, механических свойств, экономию материалов до 50 %, энергоресурсов - до 30 %, повышение производительности труда, экологическую чистоту производства.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ РЕЗЦОВ СО СМЕННЫМИ МНОГОГРАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ С ЗАТРУДНЕННЫМ СТРУЖКОДРОБЛЕНИЕМ

Васильченко Я.В., Клименко Г.П. (ДГМА, г. Краматорск, Украина)

The problem of chip breaking is decided by two ways: choosing of special geometry of insert's front surface and cutting regimes with taking into consideration of chip's form. The method of choice of cutting inserts is developed. New constructions of cutting inserts with special geometry are designed. Optimization of cutting regimes is made.

Наиболее распространенным способом решения проблемы стружкодробления в автоматизированном производстве является использование резцов с механическим креплением пластин со специальной геометрией передней поверхности. Не полное знание основных закономерностей формообразования стружки сдерживает создание научно - обоснованных методик расчета

оптимальных размеров стружкозавивающих элементов и режимов резания. Существующие методы расчета геометрических параметров стружкозавивающих элементов построены без учета взаимосвязи формы образующейся при резании стружки с параметрами процесса резания. В настоящей работе эти задачи решаются методами прикладной математической статистики.

Разработана методика выбора рациональной формы передней поверхности СМП для заданных условий обработки, предусматривающая выявление группы СМП со сходными областями функционирования, предлагаемых фирмами - производителями режущего инструмента методом кластерного анализа с последующим анализом степени покрытия требуемой области функционирования. Для случаев когда эффективность обслуживания требуемой области функционирования имеющимися СМП недостаточна, предложены новые специальные конструкции СМП, предназначенные для работы в требуемых условиях. Для проектирования сменных многогранных пластин сборных резцов с заданным диапазоном стабильного стружкодробления выявлены связи элементов стружкодробления с режимами резания. При этом использованы приемы прикладной математической статистики для работы с нечисленными переменными, каковыми являются элементы стружкодробления СМП. Теоретические зависимости, проверенные экспериментально построением диаграмм стружкодробления для СМП с различными формами элементов стружкодробления, были использованы при разработке новых конструкций пластин, предназначенных для черновой и получистовой обработки труднообрабатываемых сталей в условиях предприятия тяжелого машиностроения.

Проведена многокритериальная оптимизация режимов резания с учетом надежного стружкодробления. Использована методика и программа [1]. Сформированы входные параметры, параметры условий эксплуатации, целевые функции и ограничения для оптимизации режимов резания. Для учета реальных условий эксплуатации инструмента при назначении режимов резания и установления количественной характеристики уровня процесса эксплуатации применен квалиметрический подход, согласно которому разработана иерархическая система свойств, составляющих качество эксплуатации инструмента и разработана методика для промышленных предприятий оценки качества эксплуатации режущего инструмента [2].

Для создания математической модели процесса стружкодробления использована теория надежности. Проведены статистические исследования распределений времени до появления неблагоприятной стружки и распределений времени появления неблагоприятной стружки [3]. Вероятность стабильного стружкодробления определена как вероятность того, что в некотором интервале времени, время до появления неблагоприятной

стружки больше времени работы с благоприятной стружкой. В зоне перекрытия двух распределений времен рассмотрен элементарный участок dt для которого определена искомая вероятность. Получены математические модели для определения периода стойкости с заданной вероятностью стружкодробления, используемые при оптимизации режимов резания.

В качестве ограничения по виду получаемой стружки при многокритериальной оптимизации режимов резания предложено использовать коэффициент деформации стружки. Установлены значения коэффициента деформации для легко удаляемой стружки. Получены математической модели, связывающие коэффициент деформации стружки с режимами резания для нескольких видов материалов и сменных многогранных пластин с различными формами передних поверхностей.

Таким образом, решение проблемы стружкодробления при точении вязких материалов осуществлялось одновременно двумя способами: проектированием и выбором инструмента с рациональной формой элементов стружкодробления, а также назначением режимов резания с учетом реального состояния производства и формы образующейся стружки.

Список литературы: 1. Хае Г.Л., Коткин Г.Г. Многокритериальная оптимизация параметров инструмента и режимов его эксплуатации // Станки и инструмент. - М., 1988. - № 6. - С.14-16 2. Клименко Г.П., Васильченко Я.В. Квалиметрический подход к оценке качества режущего инструмента / Современные технологии машиностроения. Прогрессивные методики преподавания в вузе: Тематический сборник научных статей. - Киев.: ИСМО. Сумы. СумГУ. 1997. - Вып.1. - С.114-119. Васильченко Я.В. Определение вероятности стабильного стружкодробления / Современные технологии машиностроения. Прогрессивные методики преподавания в вузе: Тематический сборник научных статей. - Киев.: ИСМО. Сумы. СумГУ. 1997. - Вып.1. - С.124-127.

РЕЗОНАНСНАЯ СЕПАРАЦИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОРОШКОВ

Вернигоров Ю.М., Гордич Ю.А. (ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

The characteristic feature of method of separation is a unique possibility of the long-term forcing controlling influence on the micro-volume of powder system. This influence permits to initiate relative shutting and swinging movements of ferromagnetic fraction. This movements lead to effective destruction of units of microshaving and separation nonmagnetic fraction.

Под резонансной сепарацией подразумевается выделение немагнитной составляющей из сухой порошкообразной массы на основе ферромагнитного материала, частицы которой совершают сложные возвратно-поступательные и колебательно-вращательные движения под воздействием неоднородного переменного магнитного поля, приводящего к разрушению агрегатов. Эффективность процесса сепарации обеспечивается чередованием двух характерных состояний порошкообразной массы реализуемых в рабочем пространстве. Это состояние магнитооживления и формирования магнитных струн.

Подбирая соотношение амплитуд постоянной и переменной составляющей магнитной индукции, градиента индукции, частоты переменного поля и времени воздействия, реализуется режим эффективного разрушения агрегатов в магнитообразующем слое, основными механизмами которого можно считать соударение агрегатов и их разрыв в высокоградиентном магнитном поле. При разрушении агрегатов происходит хаотичное отделение немагнитной фракции.

Учитывая условия совместного движения и отрыва частиц от агрегатов, из уравнения движения отдельной частицы в системе координат связанной с агрегатом, получены значения градиента переменного поля необходимого для разрушения

$$\frac{dB}{dy} \geq \frac{\mu_0 f_1 P_m}{4\pi r(R+r)^2 \cos \varphi} \quad (1)$$

где, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнитная постоянная, f_1 - коэффициент трения покоя взаимодействующей пары агрегатов, P_m - суммарный магнитный момент агрегата, r и R - эквивалентные размеры большого и малого агрегата, φ - угол между вертикальной осью и магнитным моментом $\vec{P}_m$.

Второй этап сепарации заключается в формировании из частиц и мелких агрегатов системы эквидистантных магнитных струн, ориентированных вдоль силовых линий магнитного поля. Вся система магнитных струн совершает поперечные колебания. Силы магнитостатического взаимодействия, удерживающие частицы в струне, играют роль квазиупругих сил. Вынуждающая сила меняется одновременно по всей длине струны и, следовательно, в магнитной струне возбуждаются колебания основного тона. Полагая что, положение равновесия магнитной струны совпадает с осью ОХ, вдоль которой ориентированы силовые линии постоянного поля, запишем уравнение малых поперечных колебаний в виде:

$$m y'' + \beta y' - F(B_c) \frac{d^2 y}{dx^2} = P \frac{dB_y}{dy} \sin \varphi \cos \omega t \quad (2)$$

где m и $\vec{P}$ - масса и магнитный момент элемента струны Δl , β - коэффициент сопротивления колебательному движению струны, $F(B_c)$ - сила натяжения струны, φ - угол между $\vec{P}$ и осью OX , dB/dy - градиент индукции переменного поля, ω - круговая частота.

Условие закрепления концов струны $y(0,t)=y(l,t)=0$, а также профиль и скорость колебания струны в начальный момент времени $y(t)=y(t) \big|_{t=0}=0$ определяют граничные и начальные условия. Уравнение (2) справедливо при условии, что $\vec{P}$ и действующая со стороны сила постоянны по всей длине струны. Решение уравнения (2) для основной моды колебания имеет вид:

$$y(t) = 2D_0 \left(l \delta \omega \sqrt{1 + Q^2 \gamma^2} \right)^{-1} \sin(\omega t - \alpha) \quad (3)$$

где $D_0 = \frac{P}{m} \frac{dB_y}{dy} \sin \varphi$; $\delta = \beta/m$; $Q = \omega_l/2\delta$; $\gamma = \omega/\omega_l - \omega_l/\omega$; ω_l - частота собственных колебаний магнитной струны, l - длина струны, $\alpha = \arctg(Q\gamma)$.

Решение (3) позволяет оценить характер изменения ЭДС, наводимой колеблющимся элементом струны Δl в индукционном датчике. Для амплитудного значения ЭДС получено выражение

$$\varepsilon = \frac{\mu_0 P D_0 \omega^3 [R^2 \omega^2 \pi \delta^2 (1 + Q^2 \gamma^2) - 8 D_0^2]}{[R^2 \omega^2 \pi \delta^2 (1 + Q^2 \gamma^2) - 4 D_0^2]^{5/2}} \quad (4)$$

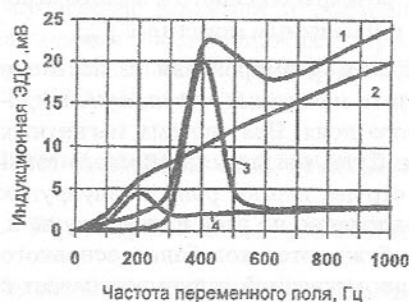


Рис.1. Расчетные зависимости ЭДС от частоты: 1 - m (масса элемента струны) $= 10^{-9}$ кг, $P = 10^{-8}$ Ам²; 2 - $m = 10^{-9}$ кг, $P = 10^{-7}$ Ам²; 3 - $m = 10^{-8}$ кг, $P = 10^{-7}$ Ам²; 4 - $m = 10^{-8}$ кг, $P = 10^{-7}$ Ам².

где R - радиус кругового индукционного датчика.

Расчет по (4) показал, что характер частной зависимости ЭДС определяется физическими свойствами магнитной струны и параметрами электромагнитного поля (рис. 1). При увеличении массы элемента струны уменьшается скорость и амплитуда его колебаний. Увеличение магнитного момента при неизменной массе приводит к увеличению значений наведенной ЭДС для всех частот (особенно в области резонанса). Для более тонкой

магнитной струны при сохранении значений остальных параметров частотная зависимость имеет слабо выраженный резонансный характер.



Рис.2. Экспериментальные зависимости ЭДС от частоты переменного и индукции постоянно-го поля.

Увеличение коэффициента сопротивления среды приводит к возрастанию диссипации энергии колебаний и к уменьшению значений наведенной ЭДС, вплоть до полного подавления резонансного роста наведенного сигнала и может полностью изменить характер частотной зависимости.

Кривые на рис.2 соответствуют порошку, средний размер частиц которого равен 10 мкм. Сравнение зависимостей приведенных на рис.1 и рис.2 позволяет сделать вывод о справедливости принятой модели упругой магнитной системы.

Эффективность процесса сепарации в зависимости от времени сепарации и градиента индукции для сухого шлифовального шлама проиллюстрированы на рис.3. Качественной характеристикой служит количество нерастворимого остатка в результате химического анализа.

Увеличение градиента индукции магнитного поля выше порогового

значения может повысить амплитуду колебательно-го движения настолько, что происходит захват выделившегося осадка.

Исследовано влияние на качество сепарации градиента индукции переменного поля, времени процесса, частоты переменного поля, индукции постоянного и переменного магнитных полей, счетной концентрации частиц в магнитовоб-

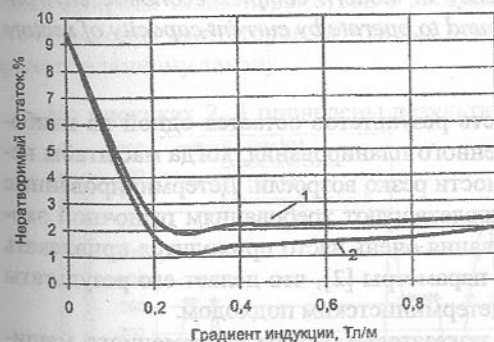


Рис.3. Влияние времени процесса на качество сепарации: 1-300с, 2-60с.

Отличительной особенностью описанного выше способа сепарации является уникальная возможность длительного силового управляемого воздействия на микрообъем порошкообразной системы, позволяющей инициировать относительное возвратно-поступательное и колебательно-вращательное движение ферромагнитных частиц. Это движения приводят к эффективному разрушению агрегатов из микростружки и выделению немагнитных частиц.

Разработанный на принципе магнитовибрирующего слоя электромагнитный сепаратор позволяет осуществлять эффективное отделение немагнитной фракции из тонкодисперсных порошков ферромагнитных материалов, характеризующихся высокими значениями сил межчастичного взаимодействия. Важным преимуществом этого сепаратора является отсутствие элементов конструкции, совершающих интенсивные механические движения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПОТОКОВЫМ АЛГОРИТМОМ

Верченко В.И. (ООО «Импекспром», г. Москва, Россия)

Reliable dynamic model for stochastic simulation has been developed to examine machine building plant efficiency in modern complex economic environment. Flexible decision has been found to operate by current capacity of sectors and allotted works.

Надежность и достоверность результатов остается одной из наиболее актуальных проблем современного планирования, когда масштабы неопределенности и непредсказуемости резко возросли. Детерминированные подходы к планированию не удовлетворяют требованиям рыночной экономики [1]. В практике планирования очень часто приходится привлекать к рассмотрению стохастические параметры [2], что делает его результаты гораздо ценнее по сравнению с детерминистским подходом.

Автором проведен анализ показателей работы современного машиностроительного завода с учетом стохастического поведения длительности хозяйственных связей. Модель основана на потоковых алгоритмах [1] и реализована в виде компьютерной имитационной модели с помощью теории графов. Экономический объект, например машиностроительный завод, который состоит из множества цехов и участков, представлен в виде узлов, которые связаны со смежными партнерами ориентированными ду-

гами (рис. 1). Такая модель удобна для исследования реальных экономических объектов, в которых происходит циклическая циркуляция продукции, финансов и информации. Например, в узел 6 (завод) поступает материал от поставщика 4 через таможенно 5. Длительность указанного потока материалов 5 ± 2 суток и 12 ± 5 суток, соответственно (указаны в прямоугольниках, вставленных в разрывы потоков). Из узла 6 через таможенно 5 передается в узел 3 готовая продукция и т.д. В качестве длительности элементарного цикла в данной задаче приняты сутки.

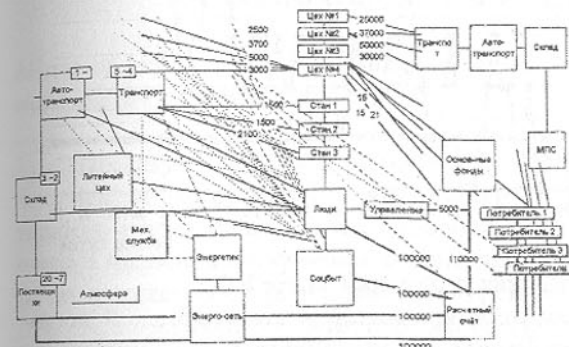


Рис. 1. Принятая расчетная схема.

сти является колебание цен при реализации готовой продукции. Стохастическая природа таких параметров в рассматриваемой модели реализована путем введения имитаторов случайных отклонений параметров модели по заранее заданному закону.

На рисунках 2, 3 приведены результаты моделирования накопления

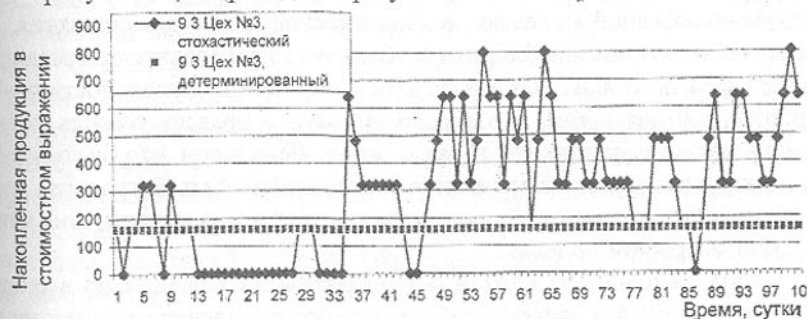


Рис. 3. Динамика накопления продукции в цехе №3.

готовой продукции на складах двух типичных сборочных участков: фи-

нишного, в состав которого входят два сборочных цеха, выпускающих готовые транспортные средства и промежуточного, производящего относительно независимые блоки двигателя внутреннего сгорания. Легко увидеть разницу в результатах деятельности участков. Во-первых наибольшее раз-

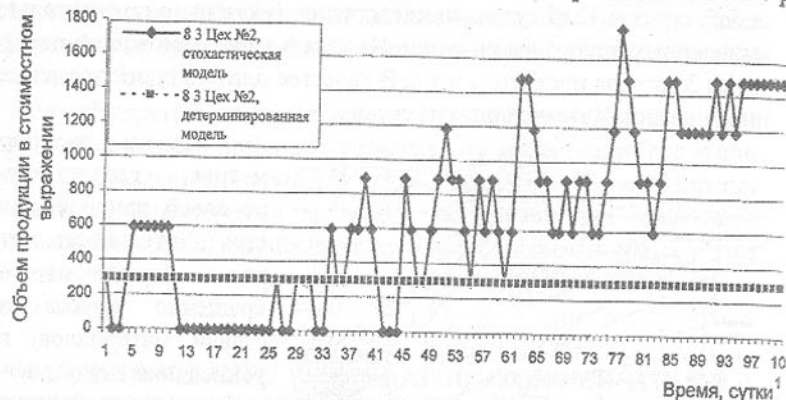


Рис. 2 Динамика накопления продукции в цехе №2.

личие наблюдается между детерминированной и стохастической постановкой задачи планирования. Исходя из детерминированной модели, то есть при классической постановке проблемы планирования участок №2 должен устойчиво производить продукции на сумму 296 условных единиц в сутки (рис.2). Участок №3 рассчитан на плановое производство промежуточной продукции на 160 условных стоимостных единиц (рис. 3). Однако неустойчивое финансирование и реализация приводят к затовариванию изготавливаемой машиностроительной продукцией и ухудшению экономических показателей завода. Характерно, что на складе готовой продукции скапливается за квартал в 2,26 раза в среднем больше, чем рассчитано детерминированной моделью по классической схеме планирования. В то же время затоваривание блоками ДВС происходит значительно медленнее (в 1,87 раза по сравнению с идеальным вариантом деятельности завода). Причина состоит в том, что определенность и предсказуемость хозяйственных связей у участка №3 гораздо выше. Дело в том, что блоки являются достаточно универсальными и им легче найти сбыт. Регулярная инвентаризация изготавливаемой продукции подтверждает выводы, полученные с помощью данной модели.

Отсюда одним из возможных оперативных решений по выходу из кризисной ситуации является гибкое перераспределение нагрузки на цеха и участки с учетом текущего спроса на изготавливаемые изделия. Разработанная динамическая модель дает возможность количественного решения такой задачи с наибольшей надежностью и достоверностью результатов.

Список литературы: 1. Акофф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. М.: Мир, 1979.-533 с. 2. Birge J. R. Models and model value in stochastic programming / Annals of Operations Research 59 (1995). - P. 1-18.

КОНСТРУЮВАННЯ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ДЛЯ ЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Виговський Г.М. (ЖІТІ, м. Житомир, Україна)

Means of improvement of finishing milling cutters equipped with superhard materials are dealt with in the report.

Проектування високопродуктивного інструменту є актуальною задачею, так як застосування прогресивного інструменту підвищує продуктивність і ефективність металообробки-що особливо важливо для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) і роботизованих виробничих комплексів, де велика вартість верстатохвилини.

Безперервний ріст вимог до якості продукції, що виробляється (по точності, надійності і т.і.) визначає необхідність підвищення якості окремих деталей, що підвищує долю чистових операцій. Росту питомої ваги чистових робіт сприяє і зменшення припусків на обробку за рахунок використання таких сучасних методів одержання заготовок як лиття під тиском, виготовлення деталей із металопорошків, прокатки точних профілей і т.і. Тому особливу увагу необхідно приділяти до питання підвищення ефективності чистової обробки і якості обробки.

У даний час створена велика кількість нових композитних матеріалів, таких як надтверді матеріали (НТМ), які мають специфічні фізико-механічні якості: твердість 40 000...75 000 МПа, теплостійкість 700...1300 °С, теплопровідність 42...50 Вт/(м °С).

Високі ріжучі якості НТМ дозволяють їх ефективно використовувати в конструкціях ріжучих інструментів і зокрема торцевих фрез.

Використання НТМ в чистових торцевих фрезах забезпечує значне підвищення продуктивності обробки (у 2...6 разів) плоских поверхонь деталей. Ряд підприємств України використовує різні конструкції чистових торцевих фрез, для яких визначені найбільш раціональні режими і особливості їх використання.

Але існуючі конструкції торцевих фрез мають ряд недоліків, які знижують продуктивність та якість обробки, недостатня також їх стійкість. Так, у відомих конструкціях використовується стандартна схема різання, в

якій ріжучі ножи розміщуються в радіальному напрямленні на одній відстані від вісі фрези, а в вісьовому напрямленні - в одній площині. При такому розподілі припуску підвищуються вимоги до взаємного розташування ножей. Биття різальних кромek ножей не повинно перевищувати 0,003...0,04 мм у залежності від діаметра фрези. Це досягається заточкою фрез у зборі, чи фрези мають механізми регулювання вісьового та радіального положення ножей.

Зменшення биття різальних кромek за рахунок більш якісної заточки не приводить до позитивного результату тому, що похибки базування і закріплення все одно приводять до неучасті ряду ножей у різанні. Це суттєво зменшує стійкість торцевих фрез.

Перспективним уявляється проектування торцевих фрез з застосуванням ступінчатих схем різання. Як відомо, ступінчаті схеми різання використовувалися в конструкціях чорнових торцевих фрез, що дозволяло фрезерувати деталі з підвищеними припусками на обробку. При цьому перевагою цих фрез було те, що за рахунок зменшення кількості ріжучих ножей у кожній ступені збільшувалась кількість ножей, що реально приймають участь у роботі, а це у свою чергу підвищувало стійкість фрез.

Застосування ступінчатих схем різання для чистових торцевих фрез має дуже обмежений характер, що у сполученні з неоптимальною геометрією ножей, не забезпечує сприятливі умови зрізання тонких перізів шарів, що зрізаються, погіршує динаміку фрезерування, що суттєво відбивається на стійкості інструментів і якості обробки.

У запропонованому докладі розглядаються напрямлення подальшого удосконалення конструкцій чистових і напівчистових торцевих фрез.

Конструкція фрези залежить від великої кількості параметрів, що впливають на їх працездатність (рис. 1). Як видно, конструювання фрез є багатопараметричною задачею. При проектуванні торцевих фрез автором застосовані такі НТМ, як гексант, ельбор.

В розробленій гамі чистових торцевих фрез діаметром 100...500 мм, реалізовані наступні конструктивні рішення:

- для вирівнювання навантаження між окремими ріжучими ножами використана ступінчата схема різання з розміщенням їх по логарифмічній спіралі (а. с. СССР №1036475);
- з метою створення ріжучих кромek ножей з рівним опором знісненню використана безвершинна геометрія;
- для можливості зрізання малих товщин зрізу, що близькі до радіуса округлення різальних кромek, створена косокутня геометрія ножей.

Виробничі дослідження та впровадження їх на Житомирському ВАТ «Верстатуніверсалмаш» показали їх високу ефективність та більш високі

експлуатаційні характеристики відносно промислових зразків, що випускаються інструментальними заводами.



Рис. 1. Параметри, які впливають на конструкцію фрези.

У докладі розглядаються можливості використання фрез для обробки деталей з підвищеними припусками на обробку, а також обробки вузьких деталей, приводяться порівняльні характеристики спроектованих фрез по відношенню до відомих конструкцій.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

Витренко А.Н., Витренко В.А., Должков М.А., Кириченко И.А.
(ВУГУ, г. Луганск, Украина)

The article deals with shaping and strengthening of cylindrical wheels teeth by means of hyperboloid knurls.

Зубчатые передачи являются важнейшими элементами машин. Поэтому качество, надежность и долговечность машин в значительной степени определяется качеством изготовления и отделки зубчатых колес.

Известны способы формообразования и упрочнения зубьев колес, по которым производят обкатывание боковых поверхностей и поверхностей впадин, осевую подачу обкатника или обрабатываемого колеса при постоянном плотном безазорном зацеплении в относительном свободном обкаточном движении зубчатых профилей обкатываемого колеса деформирующими элементами инструмента, при параллельном расположении их осей вращения [1, 2].

Недостатком этого способа является то, что не обеспечивается одинаковое качество обработки боковых поверхностей зубьев, заключающееся в том, что в следствии взаимного относительного перемещения деформирующих элементов инструмента только в направлении высоты зубьев обкатываемого колеса, в результате чего боковая поверхность обрабатываемых зубьев в области начальной окружности остается необработанной, по причине равенства нулю скоростей перемещения деформирующих элементов инструмента и обрабатываемых зубьев в направлении их высот в полосе станочного зацепления.

Известен также способ формообразования и упрочнения зубьев зубчатых колес, при котором зубчатый инструмент со скрещенной геометрической осью с осью заготовки подают в зону обработки в направлении, параллельном оси заготовки, и производят обкатывание заготовки зубьями инструмента с образованием в процессе обкатывания зубчатого зацепления при вращении последних вокруг своих осей [3].

Недостатком указанного способа формообразования и упрочнения зубьев колес является невозможность перемещения металла по всему профилю обрабатываемых зубьев, что отрицательно сказывается на качестве зубьев зубчатых колес, как при формообразовании, так и при упрочнении.

Цель данного исследования — повышение качества поверхности зубьев цилиндрических колес путем обеспечения перемещения металла по всему профилю обрабатываемых зубьев.

Это достигается за счет того, что боковые поверхности деформирующих витков располагаются по тангенсоидам на теле вида однополосной гиперboloид.

При накатке зубьев цилиндрических колес при помощи многозаходного накатника, ось которого скрещивается с осью накатываемого колеса, необходимо, чтобы накатной инструмент имел форму огибающей накатываемой детали. Такой огибающей для накатываемого цилиндрического зубчатого колеса является тело вида однополосной гиперboloид. Витки U

накатника, выполненного в виде тела — однополосной гиперboloид, должны быть изготовлены по тангенсоиде, так как каждый зуб накатываемого колеса в своем относительном движении описывает тангенсоиду. В результате своего окончательного движения такой накатник опишет зубья обрабатываемого цилиндрического колеса. При обработке зубьев при помощи накатника, у которого витки выполнены по тангенсоиде, угол между характеристикой и вектором относительной скорости скольжения будет больше, чем у гиперboloидного накатника с винтовыми витками [4]. А чем этот угол больше, тем чище накатник накатывает деталь.

Для изготовления искомого накатника необходимо скрестить оси накатника и инструментального колеса, являющегося копией обрабатываемого колеса. Инструментальному колесу и изготовляемому накатнику задать вращения с угловыми скоростями, обратно пропорциональными количеству их зубьев, также инструментальное колесо должно перемещаться с рабочей подачей вдоль своей оси. Диаметр делительный накатника d в горловом сечении определяется по известной из ТММ зависимости:

$$d = m \cdot z / \cos \beta,$$

где m — модуль нормальный; z — число заходов накатника; β — угол наклона витка (он также является углом скрещивания осей).

На рис.1 изображен гиперboloидный накатник, наружная поверхность которого описана поверхностью однополосного гиперboloида вращения.

Описанный гиперboloидный накатник изготовлен при помощи прямоугольного инструментального колеса с $m=2$ мм, числом зубьев 50, угол скрещивания накатника с инструментальным колесом составлял $\beta=60^\circ$, число заходов накатника $z=20$, диаметр

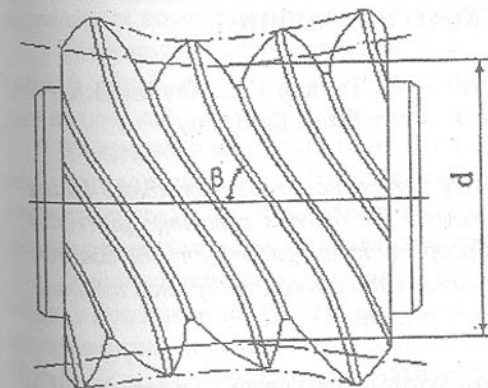


Рис.1. Гиперboloидный накатник. делительный накатника $d=80$ мм. При помощи полученного накатника с твердостью HRC60 накатывалось цилиндрическое прямозубое колесо с делительным диаметром, равным 100 мм, чистота накатанных зубьев равнялась 2,5 мкм.

При обработке зубчатых деталей описанным гиперболоидным накатником повышается чистота поверхностей накатываемых зубьев благодаря обеспечению перемещения металла по всему профилю обрабатываемых зубьев за счет благоприятного расположения характеристик по отношению к вектору относительной скорости скольжения.

Выводы: 1. Разработан новый способ формообразования и упрочнения зубьев цилиндрических колес при помощи деформирующих витков, расположенных по тангенсоидам на теле вида однополосной гиперболоид. 2. Обеспечивается перемещение металла по всему профилю обрабатываемого зуба за счет изменения угла между характеристикой и вектором относительной скорости.

Список литературы: 1. Авторское свидетельство СССР №554923, кл. В 24 В 39/00, 13.08.75. 3с. 2. Производство зубчатых колес. Справочник. Под редакцией д-ра техн. наук проф. Б.А. Гайца. М., 1975. – 728с. 3. Патент США №3.705513, кл. 72-102, 1972. 4. Кириченко И.А. Повышение эффективности процессов отделочной обработки зубьев цилиндрических колес. Канд. диссерт. Луганск, 1996 – 211с.

САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Витязь П.А., Беляев А.В., Верстак А.А., Талако Т.Л., Коваль В.А.
(НИИ ПМС ОП, г. Минск, Республика Беларусь)

This work evaluate the potential of using composite powders produced by the self-propagating high-temperature synthesis for thermal spraying protective coatings. The results of structure and property investigations for the coatings from the synthesised powders as compared with conventionally used mechanical blends and agglomerated powders are presented.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) представляет значительный интерес как метод получения композиционных материалов. Характерными преимуществами СВС-технологий являются: меньшее время обработки материалов, уменьшающее эффект разупрочнения упрочняющей фазы в результате взаимодействия; однородность фазового состава и высокие значения структурной прочности получаемых композитов; а также исключение или снижение дополнительных энерге-

тических затрат за счет использования экзотермического эффекта реакций взаимодействия компонентов.

В работе оцениваются перспективы использования композиционных металлокерамических порошков, полученных методом СВС, для газотермического напыления защитных покрытий.

Порошковые композиции получали синтезом тугоплавких соединений (карбидов, интерметаллидов, др) в присутствии другого компонента (так называемого «разбавителя»). Процесс получения порошков включал следующие стадии:

- подготовка реакционной смеси, включая операции смешивания и, при необходимости, термической или механической активации;
- синтез в режиме технологического горения;
- дробление и размол полученного продукта;
- классификация порошка.

Реализованы технологии получения композиционных порошков типа «металлический сплав - тугоплавкое соединение». В качестве связующей фазы (матрицы) использовали сплавы на основе железа (Fe, Fe-15Cr, Fe-30Cr), никеля (Ni-20Cr, Ni-40Cr, Ni-Cr-Al), алюминия (Al, Al-12Si), а также алуминиды железа и никеля (NiAl, FeAl, Fe₂Al₃). Упрочняющей фазой являлись оксид алюминия, карбиды титана, хрома и кремния.

Представлены результаты исследования структуры и свойств синтезированных порошков и покрытий из них.

Полученные порошки характеризуются мелкозернистой структурой (размер зерен - порядка 0,5-10 мкм) и однородным распределением твердых включений в объеме материала.

Покрытия наследуют структуру и свойства порошков. При этом, для всех методов напыления (газопламенное, плазменное, высокоскоростное газопламенное) характерна однородная структура покрытий с тонким объемным распределением упрочняющей фазы.

Коэффициент использования материала при напылении синтезированных порошков на 10-30% выше по сравнению с напылением конгломерированных порошков и механических смесей аналогичного состава. При этом сохраняется относительное содержание упрочняющей фазы в композите.

Представлены результаты сравнительных испытаний износостойкости покрытий из синтезированных порошков и их промышленных аналогов. Покрытия, полученные из синтезированных материалов, характеризуются более высокой износостойкостью для всех исследованных случаев (трение скольжения, абразивное изнашивание, абразивная эрозия). Это объясняется более высокой когезионной прочностью композита (благо-

даря тому, что когезионные связи формируются в процессе синтеза при взаимодействии тугоплавкой фазы с расплавленным металлом (сплавом)), а также тонким объемным распределением упрочняющей фазы.

Полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности использования метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для получения композиционных порошков, применяемых для газотермического напыления защитных покрытий с повышенными свойствами.

ГАРАНТИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Власов Г. А., Парфенюк А. С., Алексеева О. Е., Костина Е. Д.,
Захаров П. А., Карпов В. С. (ОАО "Авдеевский КХЗ", ДонГТУ, МГУИЭ,
г. Авдеевка, г. Донецк, г. Москва, Украина, Россия)

The attempt to consider the outlooking construction of aggregates for solid carbonaceous materials treatment, in particular, a slopping block aggregate have been made on basis of general principles of reliability and longevity guarantee of such equipment. The technical decisions removing drawbacks of the construction have been presented.

Тепловые агрегаты для переработки различных сыпучих, вязких и крупнокусковых сырьевых материалов подвержены, как правило, наиболее интенсивному разрушению в зонах загрузки и выгрузки. Надежность элементов именно этих зон определяет долговечность всего агрегата. В работе сделана попытка на основе общего подхода к решению проблемы гарантии надежности и долговечности рассмотреть перспективную конструкцию агрегата для переработки твердых углеродистых материалов, в частности, наклонного блочного агрегата непрерывного действия, разработанного на кафедре МАХП ДонГТУ. Условия, режим работы (загрузка, пиролиз, выгрузка и т.д.), конструкция (группирование в батарею, система обогрева и отвода летучих, конструкция кладки анкеража и т.д.) агрегата сходны с таковыми для коксовой батареи. Однако, агрегаты для переработки твердых углеродистых материалов контактируют с более агрессивной средой, отличающейся высокой влажностью, вспучиванием, токсичностью и адгезией в сравнении с угольной шихтой.

Наиболее дефектоопасной зоной агрегата является головочная зона простенков. Особенность ее работы заключается во взаимодействии и взаимовлиянии элементов, выполненных из различных материалов: ма-

шиностроительная конструкция прессующе-проталкивающего устройства, металлоконструкция армирования агрегата, теплоизоляция зоны и огнеупорная кладка. Все эти конструктивные элементы имеют различные коэффициенты температурного расширения, испытывают различные механические и тепловые нагрузки, характеризуются неодинаковыми физико-механическими свойствами. Обеспечить герметичность и прочность конструкции, а следовательно, ее надежность и долговечность возможно, оказывая влияние на термомеханику зоны, изменяя ее характеристики в нужном направлении. Под термомеханикой здесь понимается совокупность взаимодействий элементов узла в переменном температурном поле при циклическом нагреве и охлаждении, в результате чего происходит изменение напряженно-деформированного состояния с постепенным разрушением материала элементов и связей между ними.

Метод дерева отказов, примененный для оценки качественных показателей надежности элементов зоны позволил выявить основные закономерности этих взаимодействий для системы. Так, взаимосвязь элементов головочной зоны можно описать группой тождеств:

$$N_1 = f_1(N_2, N_4); \quad N_2 = f_2(N_3); \quad N_3 = f_3(N_1), \quad (1)$$

где $N_{1,2,3,4}$ - долговечность соответственно кладки, теплоизоляции, металлоконструкции прессующе-проталкивающего устройства, анкеража. Элемент с наиболее низкой N в цепи тождеств (1) будет значительно снижать уровень надежности зоны, несмотря на достаточно высокую долговечность остальных. Опыт эксплуатации подобных конструкций позволил оценить долговечность этих элементов по формуле Журкова [1]:

$$N = \eta \cdot \exp \frac{U - \gamma \cdot \sigma}{k \cdot \text{grad}T}, \quad (2)$$

где η, k - константы, зависящие от свойств материала; γ - плотность поверхностной энергии материала; U - энергия активации химических связей (в ненапряженном состоянии); $\text{grad}T$ - градиент температуры; σ - возникающие в процессе эксплуатации напряжения.

Наиболее низкой долговечностью обладает кладка головочной зоны агрегата. Анализа накопленного статистического материала по эксплуатации крупноблочной бетонной кладки показал, что величина напряжений, возникающих в материале, в основном зависит от наличия количества и размеров дефектов:

$$\sigma = f(S) \cdot \sqrt{2E \cdot \gamma}, \quad (3)$$

где E - модуль деформации материала; $f(S)$ - функция размеров дефекта в материале. Так как наиболее распространенным и опасным дефектом крупноблочной кладки являются трещины, то $f(S)$ выражает суммарную длину трещин в элементе. Функция $f(S)$ является возрастающей, если сум-

марная длина трещин S , развивающихся в процессе нагружения в материале не превышает некоторого критического значения S^* . Если же длина S будет равна критической S^* , наступит разрушение конструкции, характеризующееся достижением предела прочности материала. Величина S^* зависит от приложенной внешней нагрузки q и коэффициента интенсивности напряжений $KI = \sqrt{2 \cdot E \cdot \gamma}$:

$$S^* = q^{-1} (q / \sqrt{2 \cdot E \cdot \gamma}), \quad (4)$$

где q^{-1} - обратная по отношению к q функция, которая является возрастающей.

Исходя из анализа процессов, описанных уравнениями (3,4) в конструкции агрегата применены разработки, частично или полностью устраняющие «узкие места» объекта:

- в зоне двух первых вертикалов кладки установлены сменяемые шамотные блоки, обладающих более высокой термической стойкостью, между головочными блоками и анкером расположены теплоизоляционные плиты [2].
- уменьшение интенсивности трещинообразования в кладке, достигнуто установкой на поверхности блоков компенсаторов, реализующих температурные деформации [3].
- исходное состояние кладки агрегата улучшено путем ликвидации значительной части дефектов, возникающих при изготовлении, путем нанесения торкретированием защитных покрытий на блоки [4].

Изложенный подход дает возможность прогнозировать поведение элементов головочной зоны на разных этапах «жизни» агрегата: нарушение герметичности, появление сквозных трещин, загрязнение поверхностей продуктами пиролиза, их горение и определять степень влияния этих факторов на процесс разрушения зоны, учитывая полученную информацию на стадии проектирования.

Список литературы: 1. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. - М.: «Высшая школа», 1991. - 287. 2. А.С. N 1723095 СССР. Батарея горизонтальных коксовых печей / Парфенюк А.С., Веретельник С.П., Зборщик М.П. и др. // Открытия. Изобретения. 1992. N12. С.15. 3. А.С. N1806163 СССР. МКИ С 10 В 29/00. Отопительный простенок камеры коксования / Парфенюк А.С., Веретельник С.П., Зборщик М.П. и др. 4. Пути повышения долговечности блочной бетонной кладки коксовых батарей // Парфенюк А.С., Зборщик М.П., Костина Е.Д. и др. Огнеупоры. 1992. N 4 С.24-26.

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ РЕГИСТРАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗ РАБОТЫ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Войнаровский Юзеф, Калинин Владыслав
(Силезская Политехника, г. Гливице, Польша)

A computer set dedicated for registration and processing the times of mechanisms turning on in heavy duty machines has been presented. The times correspond to the cycle phases of the machines. The device operates together with an IBM PC compatible computer, including a notebook. In this case an external power supply connection is not required.

С целью оценки параметров вибрации рабочего места оператора мостового крана разработана надежная, проверенная практикой, методика [1]. При этом используется громоздкая система многоканальных регистраторов. В связи с большим количеством измерительных каналов и, соответственно, большим объемом информации, получаемой во время испытаний, а также для гибкой перенастройки измерительной системы более целесообразно применять современные компьютерные технологии.

Для решения этой задачи разработан многоканальный компьютерный регистратор, предназначенный для регистрации состояния (включено/выключено) до пяти основных приводов мостовых кранов и других рабочих машин [4].

Регистратор состоит из входного устройства и персонального компьютера типа NoteBook. Входной пятиканальный блок подключается к релейной системе цепи управления машины. На корпусе блока имеется переключатель, с помощью которого в процессе его работы можно дополнительно вводить в компьютер информацию о наличии нагрузки при определенных фазах работы машины.

Входной блок имеет гнезда для ввода цифровых сигналов следующих стандартов:

- 0..24 в постоянного напряжения,
- 0..220/380 в переменного напряжения,
- свободное гнездо для ввода сигнала нестандартного формата.

Для электрической защиты компьютера каждый канал блока имеет встроенные оптоэлектронные элементы.

В связи с тем, что регистратор подключен к релейной системе машины, то, с учетом электромеханических свойств этой системы, измерительная система позволяет регистрировать электрические сигналы продолжительностью не менее 0,1 сек.

Входные каналы имеют блоки конверсии стандартов напряжения входного сигнала в стандарт компьютера, а также фильтры для фильтрации высокочастотных импульсов, которые возникают при дребезге контактов электрических контакторов системы изменения скорости электродвигателей.

Из входного блока сигналы передаются на вход Centronics [2] (вместо принтера). Питание входных каналов осуществляется из восьми параллельно соединенных шин входа Centronics.

Для регистрации и обработки полученной информации разработаны алгоритм и программа на алгоритмическом языке C++ с помощью системы Turbo Vision фирмы Borland [3].

Разработанная программа позволяет обрабатывать с помощью компьютера процессы с частотой до 20 гц. При этом вычисляется суммарное время работы машины при исследуемых режимах, а также коэффициенты долевого участия для каждой фазы ее работы.

Созданная аппаратура и разработанная компьютерная технология прошли экспериментальную проверку на ряде металлургических заводов Польши и могут быть рекомендованы для регистрации и оценки параметров вибрации рабочего места оператора мостовых кранов [1].

Список литературы. 1. Войнаровский Ю., Калинин В.: Методика оценки вибрации рабочего места оператора мостового крана. Сборник трудов международной научно-технической конференции "Прогрессивные технологии машиностроения и современность". Донецк 1997, с.50-51. 2. Metzger P.: Anatomia PC. Helion, Gliwice 1993. 3. Strostrup B.: Język C++. Wydawnictwa Naukowe - Techniczne, Warszawa 1994. 4. Wojnarowski J., Kaliński W., Kulisz J.: Wielokanałowy rejestrator do monitorowania faz działania maszyn roboczych na bazie komputera IBM PC. Materiały XI Konferencji Naukowej „Problemy rozwoju Maszyn Roboczych”. Gliwice - Zakopane, 1998. Wydawnictwo Katedry Mechaniki Robotów i Maszyn, s. 413-420.

О ВЛИЯНИИ СИЛЫ ТЯГИ НА НАГРУЖЕННОСТЬ ОПОРНЫХ КАТКОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

Волонцевич Д.О., Воронцов С.Н., Сериков В.И.
(ХГПУ, г. Харьков, Украина)

This article is devoted to creation of running gear mathematical model for track-laying vehicle. Influence of tractive force on loading of running gear elements is considered.

В транспортных и военных гусеничных машинах оценку нагруженности опорных катков и элементов подвески на этапе проектирования принято проводить методом математического моделирования исследуемого объекта. При этом степень адекватности разрабатываемой или выбираемой модели действительно протекающим физическим процессам определяется потребностью в точности результатов.

Так, например, если необходимо провести только грубый оценочный расчет опорных катков, достаточно в качестве длительно действующей нагрузки на подшипниковый узел взять среднюю статическую нагрузку от силы тяжести неподрессоренной части машины, приходящейся на один опорный каток, в радиальном направлении и 10...15% от этой величины в осевом направлении. В качестве максимальной нагрузки в этом случае принято брать усилие, возникающее в режиме пробоя подвески, равное десятикратной длительно действующей нагрузке. При необходимости путем математического моделирования с заданной точностью оценить ресурс элементов ходовой части разрабатывается достаточно точная комплексная оригинальная модель машины, включающая в себя модели двигателя, трансмиссии, подвески, ходовой части, грунта и при необходимости водителя.

Предлагаемая работа посвящена составлению упрощенных универсальных моделей, не предполагающих наличия точных моделей двигателя, трансмиссии и водителя. Указанный подход основан на корректном учете средней эксплуатационной силы тяги и постоянного перераспределения нагрузки на опорные катки и узлы подвески в тяговом режиме.

Такой подход позволяет создать для типовой ходовой части гусеничной машины универсальный алгоритм оценки нагруженности опорных катков и элементов подвески, обеспечивающий достаточную точность (в пределах 10...12%) для проекторочных расчетов.

Список литературы: 1. Носов Н.А. Расчет и конструирование гусеничных машин. -Л.: Машиностроение, 1972. -559с. 2. Чобиток В.А. и др. Конструкция и расчет танков и БМП. Учебник. -М.: Военное изд-во, 1984. -375с.

АКТИВАЦИЯ СИНТЕЗА ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ TiNi ПРИ УДАРНОВОЛНОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Волочков А.А., Лученок А.Р., Пономарева С.В., Ушеренко С.М.,
Фурс В.Я., Шелегов В.И.

(НИИ импульсных процессов, г. Минск, Беларусь)

Showed are results of experimental studies on suppression of selfpropagating high temperature synthesis (SPHTS) in the intermetallic compound TiNi under shock-wave loading. Given is a short description of process peculiarities.

Синтез композиционных материалов повышенной чистоты на основе интерметаллических соединений и силицидов и получение изделий сопряжено с рядом трудностей, связанных с их высокой активностью. Литейное производство, а также горячее прессование порошковых материалов часто сопровождается загрязнением прессовок, вносимым материалом оснастки. При спекании прессовок из порошковых смесей (Ni+Ti, Ni+Al...) развивается неконтролируемая экзотермическая реакция синтеза (СВС) самораспространяющийся высокотемпературный синтез, происходит обильное газовыделение, приводящее к разбуханию и деформации изделия.

Перспективным методом получения высокоплотных композиционных материалов высокой чистоты является метод ударноволнового прессования порошковых материалов.

Несмотря на значительные успехи в практическом применении метода ударноволнового прессования, многие тонкости процесса все еще остаются неясными. Необычная комбинация высокого давления и температуры, высокий градиент изменения этих параметров и большая степень пластической деформации нагружаемого тела, может привести к инициированным ударными волнами химическим реакциям, проходящим по различным механизмам [1-3].

Полученные нами результаты свидетельствуют о перспективности проводимых в данной области работ.

Целью данной работы является исследование закономерностей уплотнения, и активации процессов синтеза интерметаллического соединения TiNi из смеси порошков Ti и Ni при УВ нагружении, установление закономерностей температурно-временного режима обработки с целью подавления СВС.

Метод УВ нагружения позволяет получить материалы с более высокой чистотой и однородностью по составу, чем традиционные методы. При применении предложенного способа синтеза на чистоту материала практически не влияют материалы применяемой оснастки, футеровки печей для спекания.

Для проведения исследований использованы электролитические порошки титана и никеля, с размером частиц меньше 40 мкм.

Ударноволновое нагружение проводилось по общеизвестной схеме с линейным фронтом детонации. Было использовано взрывчатое вещество со скоростью детонации порядка 4000 м/с.

Подготовленные смеси порошков эквивалентного состава подвергались ударноволновому нагружению при различных режимах и разном

числе циклов нагружения. В таблице приведены результаты прессования и термообработки.

Таблица - Результаты прессования и термообработки.

№	Число циклов нагружения	Отн. Плотность, %	Спекание 930 °С, 5 ч.		Спекание 1030 °С, 20 ч.	
			Отн. пл-ть, %	H_{μ} , 50, кг/мм ²	Отн. пл-ть, %	H_{μ} , 50, кг/мм ²
1.	1, $\tau \approx 0,48$	68	СВС	-	СВС	-
2.	3, $\tau \approx 0,48$	90	87	196	СВС	324
3.	5, $\tau \approx 0,48$	92	88	250	СВС	345
4.	1, $\tau \approx 2$	93	91	210	89	178

Анализ результатов показывает, что высокоплотные, до 92-93% плотности прессовки можно получить как методом однократного ударно-волнового нагружения при жестких режимах нагружения при $\tau \approx 2$, так и методом многократного ударноволнового нагружения при слабых режимах нагружения, малыми зарядами ВВ при $\tau \approx 0,48$.

$$\tau = \frac{\rho_{вв} \cdot H_{вв}}{\rho_{пор} \cdot H_{пор}}, \quad (1)$$

где τ - безразмерный коэффициент, показывающий относительную величину ударноволнового воздействия на вещество;

$\rho_{вв}$ и $\rho_{пор}$ - плотность взрывчатого вещества и порошкового тела;
 $H_{вв}$ и $H_{пор}$ - высота заряда ВВ и прессуемого порошка соответственно.

Прессовки были термообработаны в вакууме $5 \cdot 10^{-4}$ мм.рт.ст., при температуре 930 °С в течение 5 ч, и 1030 °С в течение 20 ч. Темп нагрева составлял 5 °С/мин, охлаждение вместе с камерой печи. В процессе нагрева в образцах 1-3 инициировался СВС; при температурах порядка 900 °С для образца №1, и 940-950 °С для образцов № 2 и № 3. В образце № 4 спрессованном в «жестком режиме» проявлений СВС при всех вариантах термообработки не наблюдалось. Термообработка с СВС привела к плавлению, потере формы и «разбуханию» прессовок. Прохождение реакции СВС проявляется резким подъемом температуры и падением вакуума в камере.

Из таблицы видно, что термообработка приводит к уменьшению плотности прессовок, обусловленному различием коэффициентов диффузии никеля и титана. Подавление СВС в образце № 4 происходит из-за образования интерметаллидных барьерных слоев, синтезированных в ударной волне. Очевидно, что в такой высоко экзотермичной композиции как TiNi, величина сформированных барьерных слоев пропорциональна ин-

тенсивности ударно-волнового нагружения. Высокие концентрации энергии, сдвиговые напряжения в контактных зонах порошкового тела инициируют реакции синтеза. Кратковременность процесса, а также высокая теплопроводность материала в сжатом состоянии подавляет реакцию СВС (т.е. СВС происходит только в т.н. «горячих точках»).

Относительная плотность прессовки не является характеристикой, полностью определяющей возможность подавления СВС при спекании смесевой порошковой композиции Ti+Ni.

Образование интерметаллидных барьерных слоев при УВ нагружении порошковой композиции TiNi обеспечивает подавление СВС при последующем спекании.

Барьерные слои в порошковой композиции TiNi не могут быть сформированы при УВ нагружении «слабыми» УВ ($\tau \leq 0,48$).

Применение методов ударно-волновой активации процессов синтеза, разработанных в НИИИП с ОП, позволяет получать композиционные материалы высокой чистоты и плотности практически с любым соотношением компонентов. Освоено производство и поставка заказчикам поликомпонентных мишеней и катодов повышенной чистоты для установок вакуумного распыления.

Список литературы: 1. H.C. Cen, V.F. Nesterenco, J.C.La Salvia, M.A. Meers Shear-Induced Exothermic Chemical Reactions in J. Phys Franse 7 (1997) C3-27-C3-32. 2. A. Ferreira, M.A. Meers and N.N.Thadani: Metall. Trans. A, 1992, vol. 23A, pp 3251-3261. 3. N.N.Thadani, R.A. Graham, T. Royal, E. Dunbar, M.U. Anderson and G.T. Holman: J Appl.Phys, 1997 vol.82 N3 1113-1128.

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ УКРАИНЫ

Волощенко А. П.

(Ассоциация "Надежность машин и сооружений", г. Киев, Украина)

The report is aimed at ensuring dependability of machines and structures that is a great reserve of saving resources in the national economy improving quality and raising competitive capacity of products.

Украина обладает большим машиностроительным потенциалом с широкими производственными возможностями, но с несовершенной структурой, изношенными основными фондами, продукцией, производи-

мой в подавляющем большинстве с низким качеством и надежностью, неконкурентоспособной на мировом и даже внутреннем рынке. В стране отсутствует единая межотраслевая система организационных, научно-технических и экономических мер, направленных на повышение надежности машин и сооружений на стадиях их проектирования, производства и эксплуатации.

Структурная перестройка машиностроения Украины с учетом конверсии ВПК и приватизации средств производства в государственном секторе требует балансировки отраслей промышленности и подотраслей машиностроения, усовершенствования законодательной базы и ускорения темпов создания рыночной экономики, крупных инвестиций и освоения новых технологий для создания конкурентоспособной продукции [1].

Надежность — важнейший технико-экономический показатель качества продукции и эксплуатирующейся техники, во многом определяющий технический уровень и конкурентную способность продукции любой страны, размер потерь в экономике от отказов и разрушений техники. Надежность закладывается при проектировании, обеспечивается при изготовлении и реализуется в эксплуатации техники.

В результате проведенных специальных исследований [2-4] было установлено, что потери в экономике США и стран ЕЭС от разрушений достигают 4% валового национального продукта и могут быть сокращены вдвое при проведении специальных научно-технических и организационных мероприятий. В народном хозяйстве СССР ежегодные потери из-за необеспеченности заданного уровня надежности и последующих разрушений и отказов составляли 60-89 млрд. руб. Установлено, что экономия 1 рубля на надежности сложных человеко-машинных систем и их безопасности вырастает в геометрическую прогрессию убытков: 10 руб. — на стадии внедрения, 100 — на стадии эксплуатации и 1000 — в случае отказа или аварии и их устранения.

Уровень надежности машиностроительной продукции Украины ниже нормативного и существенно уступает зарубежным аналогам. Из-за низкой надежности техники промышленность страны несет большие экономические потери. Выход Украины равноправным партнером на мировой рынок торговли промышленной продукцией возможен только при гарантированном соблюдении международных стандартов, при наличии у изготовителей систем обеспечения качества продукции на стадиях ее проектирования, изготовления и испытаний, а соответствие международным стандартам систем качества и показателей качества продукции должно быть подтверждено международно признанными сертификатами.

Основными причинами низкой надежности техники являются недостаточное внимание к проблеме обеспечения надежности на всех уровнях хозяйствования (государственном, ведомственном, предприятий). Как следствие этого, низок уровень служб надежности, правовых и экономических механизмов обеспечения надежности, а также несоответствие нормативно-технического обеспечения, методологических основ организации работ в области надежности уровню современных требований и международным стандартам [5-8].

Должны быть усилены государственно-правовое обеспечение надежности техники и экономические механизмы стимулирования повышения надежности техники и созданы условия экономической заинтересованности в развитии инициативы и предприимчивости предприятий в повышении качества и надежности своей продукции, а также внедрены эффективные механизмы управления качеством и надежностью. Государственно-правовое обеспечение качества и надежности техники и экономические механизмы стимулирования повышения надежности техники должны быть тесно увязаны с соответствующими моделями экономически развитых государств, учитывающими условия рыночной экономики. Основными государственно-правовыми формами обеспечения качества и надежности представляются экономическая стимуляция, стандартизация и сертификация.

Надежность техники не может быть обеспечена без дальнейшего развития исследований по повышению научно-технического потенциала в области теории и прикладных проблем надежности, разработки научно-методологических основ обеспечения и повышения надежности, методов и средств испытаний на надежность, оптимального проектирования, создания новых прогрессивных материалов и технологий, развития методов контроля и технической диагностики.

Для научного, организационного и методического обеспечения надежности продукции приоритетных отраслей техники целесообразно образовать в Украине научно-технические центры, обеспечив их современным оборудованием и аппаратурой. Главными задачами этих центров должна быть разработка новых прогрессивных материалов и технологий, автоматизация оптимального надежного проектирования, создание нормативно-методической базы отрасли, разработка научно-методологических основ обеспечения и повышения надежности и т.п. Для интенсификации и координации работ по повышению надежности техники в стране целесообразно создать межведомственный центр по обеспечению надежности с банком данных по надежности, возложив на него задачи анализа состояния надежности техники, экспертизы крупных аварий и разру-

шений, межотраслевой обмен информацией по надежности и другие координирующие функции.

Техническая политика по стандартизации в области качества и надежности продукции должна быть направлена на внедрение стандартов, согласованных с требованиями международных стандартов серии ИСО 9000 и МЭК 300 с использованием современных теоретических разработок и реализацией современной стратегии обеспечения стабильного качества и высокой надежности за счет переноса центра тяжести контрольных операций на более ранние стадии проектирования и производства, соблюдения технологических процессов.

Основным звеном в общей системе обеспечения надежности является технический и организационный уровень предприятий. Каждое предприятие (разработчик, изготовитель) обязано обеспечить строгое соблюдение технологической дисциплины, стандартов, а также внедрение надежно-ориентированных методов проектирования и изготовления продукции. Обеспечение высокой надежности продукции должно быть основой технической стратегии предприятия. Важным документом, отражающим систему обеспечения надежности на предприятии, является программа обеспечения надежности (ПОН), которая должна охватывать в деталях все этапы работы с изделиями. Уровень ПОН и успешное выполнение ПОН в конечном итоге определяют уровень надежности изделий.

Министерствам и предприятиям следует рассмотреть состояние работ по обеспечению надежности выпускаемой техники, решить организационные вопросы по укреплению служб надежности и спланировать работы по обеспечению надежности каждого вида продукции.

На основе разработанной Ассоциацией "Надежность машин и сооружений" концепции обеспечения надежности техники в Украине должна быть разработана Национальная программа повышения надежности техники в Украине.

Целесообразно значительно увеличить объемы финансирования работ в области обеспечения и повышения надежности, окупающиеся в эксплуатации многократно и позволяющие создать конкурентоспособную технику.

В целях регулярной информации о достижениях в области надежности техники и более эффективного обмена опытом следует организовать издание специализированных журналов, сборников, в том числе продолжить издание ежемесячного Межведомственного сборника "Надежность и долговечность машин и сооружений".

Список литературы: 1. Концепція програми розвитку галузей машинобудування та системи економічного стимулювання підприємств і організацій, що братимуть участь в її реалізації. Київ, 1993, 60 стор. 2. The Economic Effects of Fracture in Europe. Final Report. Project Leader and rapporteur Prof. Luciano Paria. 1991, Commission of the European Communities, 57 p. 3. The Economic Effects of Fracture in the United States, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Special Publication 647-1 and 647-2. 4. The Status of the Reliability Technology. Jan. 1, 1995. RAC Journal, Vol. 3, No. 1, 1st Quarter 1995. 5. Состояние и перспективы развития исследований по повышению надежности и долговечности машин и сооружений в Украине до 2000 г. Киев, Наукова думка, 1985, 116 с. 6. Вклад науки в повышение надежности и долговечности машин и сооружений. НАН Украины, МРНТС по повышению надежности и долговечности машин и сооружений. ИПП НАН Украины, Киев, Наукова думка. Вып. 1987, 204 с., вып. 1990, 194 с. 7. Звіт Асоціації "Надійність машин та споруд". "Аналіз стану надійності продукції машинобудування України та розробка пропозицій по підвищенню її якості, надійності та конкурентоздатності", Київ, 1992, т. 1-5. 8. Концепция обеспечения надежности техники в Украине. Изд. Ассоциация "Надежность машин и сооружений", Киев, 1996, 40 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМЫ Pro/ENGINEER

Воронцов Б.С., Быковский В.И.
(ВУТУ, г. Луганск, КГАЗ, г. Киев, Украина)

The article analyzes possibilities of Pro/ENGINEER system for design both traditional and new types of tooth-cutting instruments.

При проектировании различного зуборезного инструмента возникают задачи моделирования сложных поверхностей и объемов, их модификация и анализ. Для решения этих задач целесообразно применение комплексной CAD/CAM/CAE - системы Pro/ENGINEER, разработанной Parametric Technology Corporation (США), позволяющей получить оптимальный вариант разрабатываемого изделия.

Сложные инструментальные поверхности могут создаваться различным образом: по образующим сечениям; управляя параметрами сечения; используя аналитические уравнения в качестве параметров; выдавливанием или вращением поперечного сечения; смешанным набором кри-

вых; вставкой постоянного или переменного округления; экстраполяцией поверхности с сохранением касательной или кривизны поверхности на границе; смещением нормали к поверхности и т.д.

Геометрия поверхности может быть модифицирована изменением любых уже заданных параметров или размеров, переопределением траектории или поперечного сечения, использованного при определении поверхности, слиянием отдельных поверхностей для формирования более сложной, обрезкой по линии пересечения с другими поверхностями, заменой любой поверхности, принадлежащей твердотельной модели, на другую поверхность.

Проектирование дисковых прямозубых и косозубых, чашечных и хвостовых долбяков, осуществляется исходя из цилиндрической твердотельной модели, причем хвостовик долбяка можно моделировать отдельно. Профиль зуба долбяка можно получить как задав координаты его точек аналитически, так и как огибающую сечения зуба нарезаемого колеса. Задние углы по вершине и боковым сторонам для устранения трения и передний угол γ , облегчающий условия резания, получают аналогично технологии формирования этих поверхностей на практике путем удаления лишнего объема.

Особый интерес при проектировании долбяков представляет анализ профиля зуба после переточки, взаимодействие долбяка с заготовкой и анализ отклонения формы зуба полученного зубчатого колеса.

При проектировании червячных фрез на цилиндрической модели формируется винтовая поверхность с заданным сечением, причем винтовая поверхность может быть одно-, двух-, трехзаходной. Червячные фрезы для нарезания зубчатых колес под шлифование и шевингование могут иметь модифицированный профиль. При необходимости можно профилировать фрезы для нарезания зубчатых передач Новикова. Далее осуществляется формирование стружечных канавок путем удаления объема заданного сечения. Затылование зубьев осуществляется по архимедовой спирали аналогично техпроцессу.

Наибольший эффект при использовании системы Pro/ENGINEER может быть получен при создании новых видов зуборезных инструментов, например инструментов, основанных на схемах формообразования третьего класса [1]. Так на модели заготовки вида «однополостной гиперболюид» с помощью заданного сечения, перемещающегося по заданной траектории формируются витки, направленные по тангенсоидам. Созданные таким образом поверхности могут использоваться без изменений для получения шлифовальных кругов, хонов и накатников. Причем, используя переменные параметры, можно проектировать инструменты любого типоразмера.

Для получения гиперболюидных фрез, обкаточных резцов, шеверов

необходимо удалить часть объема для образования стружечных канавок и формирования передней поверхности. В результате пересечения передней и инструментальной поверхностей образуются режущие кромки. Задние углы на зубьях гиперболических инструментов получаются кинематически в процессе формирования витков.

Для проектирования сложных поверхностей используется модуль Pro/SURFACE, который позволяет конструкторам создавать сложные зуборезные инструменты непосредственно в твердотельных деталях или разрабатывать «цельноповерхностную» модель. Pro/SURFACE позволяет разрабатывать и совершенствовать геометрию сложных поверхностей используя операции скосов, плавности сопряжений, протяженности, смещений и множества других специальных поверхностных характеристик.

Поверхности могут быть заданы выдавливанием или вращением поперечного сечения, по образующим сечениям, используя аналитические уравнения в качестве параметров, задавая кривизны вдоль образующих границ, управляя ориентацией и поворотом сечения, с помощью заданных продольных кривых и X-вектора, аппроксимацией поверхности через множества кривых с произвольной ориентацией (больше чем в двух направлениях), заданием касательности и непрерывности по 2-й производной между порциями поверхностей, экстраполяцией поверхности с сохранением касательной или кривизны поверхности на границе, переносом, вращением и/или зеркальным отображением уже существующей поверхности.

Кроме того, в распоряжении инженеров есть ряд средств для оперативного анализа характеристик поверхности, таких как, Гауссова и сегментная кривизна, наклон касательных, нормаль к поверхности, кривые отражения и т.д. Созданные поверхности могут быть отредактированы модификацией любых уже заданных параметров и/или размеров, переопределением траектории или поперечного сечения использованного при определении поверхности, «пристегиванием» или слиянием отдельных поверхностей для формирования более сложной поверхности, обрезкой по линии пересечения с другими поверхностями, сшиванием поверхностей для формирования замкнутого объема, заменой любой поверхности, принадлежащей твердотельной модели, на другую поверхность или на набор порций поверхности, а также преобразованием поверхности в твердотельную оболочку, заданием толщины.

Поверхности, созданные Pro/SURFACE полностью параметризованы, обеспечивая возможность быстрой и простой их модификации, а значит и эффективное преобразование сложных форм и конфигураций.

После создания зуборезного инструмента Pro/ENGINEER позволяет проследить на экране компьютера как формируется поверхность нарезанного зуба после прохода каждой режущей кромки инструмента относи-

тельно заготовки и каковы углы между различными поверхностями инструмента и обрабатываемой поверхностью. Все произведенные изменения траекторий инструмента могут быть немедленно проверены, также как и взаимные несоответствия между обрабатываемыми инструментами, зажимами, моделями деталей и заготовками.

Любые поверхности легко могут быть преобразованы в твердотельное представление. Из твердотельной компьютерной модели инструмента можно получить фотографическое изображение, а при помощи модуля Pro/DETAIL легко и быстро сгенерировать рабочие чертежи, соответствующие ANSI, ISO, DIN и JIS стандартам. Полученные результаты заносятся в библиотеку инструментов для дальнейшего многократного использования.

Список литературы: 1. Витренко В.А. Изготовление и отделка цилиндрических зубчатых колес гиперболическими инструментами. - К.: ИСГО, 1994.-112с.

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СМАЗКИ НА МОМЕНТ ТРЕНИЯ РОЛИКОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Вяльцев Н.В., Гусев В.В., Горкуша А.Е., Молчанов А.Д.
(ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

When coal and rock dust comes into belt conveyers roller bearings lubrications, their rotation resistance moment is 3-5 times as much. The paper presents the experimentally based resistance moment calculation formula which takes into account the lubrication pollution level. It allows to give more accurate determination of the conveyor tractive pull.

Ленточные конвейеры горной промышленности работают в среде насыщенной угольной и породной пылью, которая проникает в подшипниковые полости роликов, где установлены подшипники, и загрязняет смазку. При этом загрязнение достигает такой степени, что подшипники качения работая в абразивной среде, быстро изнашиваются, а иногда и заклиниваются спрессовавшейся угольной и породной пылью. Момент сопротивления вращению таких роликов увеличивается, по сравнению с моментом сопротивления вращению подшипников с чистой смазкой.

Были проведены сравнительные испытания промышленных образцов новых роликов и роликов, отработавших на конвейере. Испытания проводились с режимами, соответствующими условиям работы роликов при эксплуатации на шахтных конвейерах: нагрузка на ролик 0,8-1,0 кН; час-

тота вращения ролика 480 об/мин, обеспечивающая скорость перемещения ленты 4 м/с. По графику (рис.1) видно, что момент сопротивления вращению для обоих роликов при включении вращения больше, чем установившейся момент через некоторое время работы.

Это объясняется тем, что при включении вращения шарики подшипника должны вытеснить с дорожек качения излишки смазки. При искусственном возвращении вытесненной смазки на дорожки качения момент сопротивления вновь увеличивается. Кроме того, при вращении ролика происходит перемалывание крупнозернистых фракций угольной и породной пыли, препятствующих качению шариков подшипника. После завершения процесса вытеснения смазки с дорожек качения и перемалывания крупнозернистых фракций момент сопротивления стабилизируется.

Установившееся значение момента сопротивления ролика бывшего в употреблении в 2,4 раза больше, чем у нового ролика. Перемолотые фракции примесей играют роль загустителя смазки, что и вызывает увеличение момента сопротивления. При длительной работе ролика смазка в смеси с угольной и породной пылью брикетуется, в результате чего подшипник может заклиниваться.

В технической литературе нет сведений о степени загрязнения смазки в горных машинах и ее влиянии на момент сопротивления вращению, кроме общей констатации отрицательного эффекта загрязнения на работу [1]. Для

внесения уточнений в расчет тяговых усилий в конвейерах необходимо изучить влияние загрязнения на работу подшипников.

На специальном стенде [2] были проведены исследования работы отдельно взятых подшипников качения, смазка которых содержала 0, 10, 20 и 30 % примесей угольной и породной пыли. Результаты исследований представлены на рисунке 2.

Характер изменения момента сопротивления во времени такой же, как и для роликов в сборе, что говорит об идентичности физических процессов, происходящих в обоих случаях. Более чем 2-х кратное превышение момента сопротивления у новых роликов, подшипники которых заполнены чистой смазкой, по сравнению с отдельно взятыми подшипниками

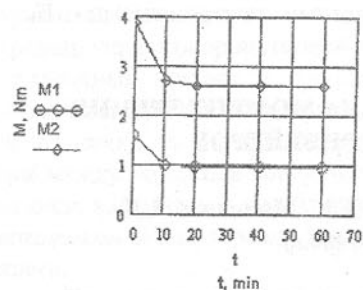


Рис. 1 Зависимость момента сопротивления от времени работы нового (M1) и бывшего в употреблении (M2) роликов.

ми с аналогичной смазкой объясняется дополнительным сопротивлением вращению в уплотнениях роликов, заполненных пластичной смазкой.

Момент сопротивления вращению в подшипниках с загрязненной смазкой в 3-5 раз выше, чем при чистой смазке. Следовательно, расчеты тягового усилия приводов ленточных конвейеров по известным методам [3] соответствуют реальным условиям только в первоначальный период работы, пока не произошло загрязнение подшипников. В дальнейшем приводы будут работать со значительной перегрузкой. Обработка экспериментальных результатов с использованием метода наименьших квадратов показала, что момент сопротивления вращению роликов необходимо определять обязательно с учетом степени загрязнения смазки по формулам:

- для пускового момента сопротивления

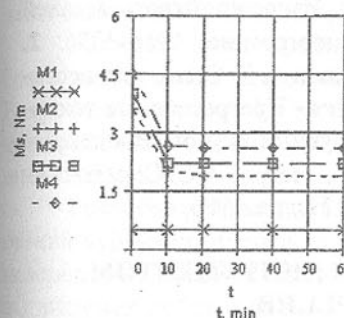


Рис. 2. Зависимость момента сопротивления от времени работы подшипников качения с загрязненной смазкой: M1- чистая смазка, M2- 10 %, M3- 20 %, M4- 30 % загрязнений.

$$M_{cn} = 5,4x^{0,24} + 0,5;$$

- для установившегося момента сопротивления

$$M_{cy} = 3,4x^{0,35} + 0,5;$$

где x - степень загрязнения смазки (объемная доля загрязнения в смазке).

Кривые зависимости момента сопротивления от степени загрязнения смазки представлены на рисунке 3. Рассогласование экспериментальных и расчетных данных не превышает 4%.

Кроме увеличения тягового усилия на привод конвейеров загрязненная смазка вызывает интенсивный износ подшипников и быстрый выход их из строя.

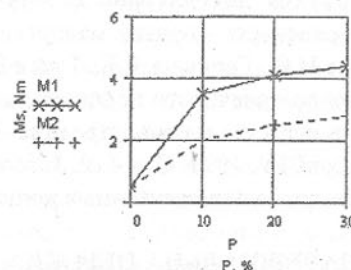


Рис. 3. Зависимость момента сопротивления от степени загрязнения смазки при запуске (M1) и установившемся значении момента сопротивления (M2).

Для обеспечения нормальной работы подшипников необходимо обеспечивать надежную защиту их от попадания угольной и породной пыли и агрессивной шахтной воды, которая вымывает смазку. Это может быть достигнуто за счет разработки надежных уплотнительных устройств роликов ленточных конвейеров взамен применяемых в настоящее время лабиринтных.

Другим путем обеспечения нормальной работы роликов ленточных конвейеров является разработка специальных подшипников не чувствительных к загрязнению смазки или работающих без смазки, в качестве которых могут быть использованы самосмазывающиеся керамические подшипники скольжения.

Список литературы: 1. Тененбаум М.М. Износостойкость деталей и долговечность горных машин.- М.: Машиностроение, 1966-332с. 2. Вальцев Н.В., Горкуша А.Е., Гусев В.В., Молчанов А.Д. Стенд для исследования долговечности подшипников скольжения.- Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Сборник научных трудов. Вып.3. Донецк: ДонГУ. 1996- С. 4 - 10. 3. Зеленский О.В., Петров А.С. Справочник по проектированию ленточных конвейеров.- М.: Недра, 1986.

ЗАВЕРШАЛЬНА ОБРОБКА ЛЕЗОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ ЗАГАРТОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Гавриш А.П., Біланенко В.Г., Біланенко С.В.
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Brought results of experimental studies terminating turning processing the thermoprocessing surfaces by superhard instrumental material.

Надійшла робота технологічної системи визначається обґрунтованим вибором технологічного процесу виготовлення заготовок, сучасних конструкцій інструментів, режимів різання, які забезпечують випуск продукції з заданими характеристиками якості при мінімальних матеріальних витратах та певному рівні продуктивності процесу обробки. Важливою складовою технологічної системи є інструментальне забезпечення, яке визначає можливість найбільш повного використання технологічних можливостей верстатного обладнання та управління параметрами якості оброблених робочих поверхонь деталей машин за рахунок вибору відповідних інструментальних матеріалів, зміни геометричних параметрів різальної частини, елементів режиму різання та застосування додаткових техно-

логічних засобів впливу на процес обробки, таких як змащувально-охолодних середовищ, додаткових вібрацій, попереднього нагрівання поверхневого шару та інших.

Враховуючи складні фізичні явища, які визначають процес різання матеріалів, можна сформулювати основні фізико-механічні вимоги до різальних інструментів: твердість та міцність інструментального матеріалу, теплостійкість, зносостійкість, теплопровідність та економічність. Теоретичні та експериментальні дослідження процесу обробки сучасних конструкційних матеріалів показали, що неможливо створити інструментальний матеріал, який мав би універсальні властивості і забезпечував обробку матеріалів при різноманітних умовах. Це обумовлює застосування широкого асортименту інструментальних матеріалів, кожний з яких має певну, найбільш ефективну область практичного застосування.

Наукові дослідження технологічних процесів виготовлення інструментальних матеріалів є основою їх подальшого вдосконалення. Розроблено технологію та відповідне технологічне обладнання для виготовлення інструментів з порошкових швидкорізальних сталей, що дало змогу підвищити продуктивність обробки важкооброблюваних матеріалів.

Розробка надтвердих композиційних інструментальних матеріалів на основі кубічного нітриду бора значно розширює технологічні можливості завершальної лезової обробки робочих поверхонь деталей машин, для підвищення роботоздатності яких застосовується термічна обробка. Типова технологічна послідовність обробки таких поверхонь передбачає попередню обробку лезовими інструментами, термічну і обробку абразивними інструментами на завершальному етапі.

Однак, необхідно враховувати, що при абразивних методах обробки може спостерігатися шаржування оброблюваної поверхні, виникнення теплових мікротріщин, формування в поверхневих шарах розтягуючих залишкових напружень, що обумовлює зменшення довговічності роботи машин.

Лезові інструменти, які оснащені надтвердими композиційними матеріалами забезпечують ефективну завершальну обробку робочих поверхонь практично без обмеження їх твердості. Завданням завершальної обробки є формування заданої точності розмірів, форми, взаємного просторового положення та певних параметрів шорсткості поверхні. Технологічне управління параметрами якості робочих поверхонь потребує знання певних загальних особливостей завершальної лезової обробки та специфічних для загартованих матеріалів. Лабораторними дослідженнями та практикою виробництва встановлено, що для лезової обробки загартованих матеріалів (HRCe 42...46) можуть успішно застосовуватись окремі

марки твердосплавних інструментів, а саме: ВК3-М, ВК6-М, ВК6-ОМ, ВК10-ОМ та Т30К4. Твердий сплав Т30К4 використовується як міра порівняння при дослідженнях оброблюваності заданого загартованого конструкційного матеріалу іншими інструментальними матеріалами.

Геометричні параметри різальної частини інструмента встановлюються з урахуванням специфічних особливостей обробки загартованих матеріалів. Завершальна обробка лезовим інструментом здійснюється з малими глибинами різання $t=0,1...0,5$ мм, які визначаються, в першу чергу, максимальним припуском на обробку, подачами в діапазоні $S=0,02...0,15$ мм/об, величина яких повинна забезпечувати заданий параметр шорсткості обробленої поверхні, та швидкість різання $V=20...120$ м/хв, яка визначається твердістю оброблюваної поверхні та різальними властивостями інструментальних матеріалів.

Процес різання загартованих матеріалів відзначається незначними пластичними деформаціями в зоні стружкоутворення, що обумовлює збільшення роботи різання, яка витрачається на пружну взаємодію інструмента з стружкою, поверхнями заготовки та зменшення довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструменту. Такий характер стружкоутворення та підвищена твердість оброблюваного матеріалу значно збільшує результуючу силу різання R , складові сили i , в першу чергу, радіальну складову P_r . Зменшення довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструменту та збільшення сили різання R визначають значне зростання контактних навантажень на робочі поверхні інструменту та необхідність їх зміцнення, що можна реалізувати зменшенням переднього кута різальної частини, однак такий шлях, в свою чергу, збільшує загальну силу різання.

Загальною особливістю завершальної лезової обробки є зміна співвідношення складових сили різання $P_y/P_z = 1,0...1,2$ вже в початковий період обробки при незначній величині зносу інструмента $h_z < 0,1$ мм, а по мірі спрацювання інструмента спостерігається збільшення загальної сили різання R та випереджаюче збільшення радіальної складової P_r . При досягненні зносу по задній поверхні величини $h_z = 0,4$ мм головна складова сили різання P_z , збільшилась в 2,2 рази, а радіальна P_r – в 4,2 рази при обробці сталі 45 ($\sigma=690$ МПа), а при точінні нержавіючої сталі ЕП-378 ($\sigma=1750$ МПа) відповідно P_z збільшилась в 3 рази, а P_r – майже в 6 разів. Ця особливість тонкого точіння ще більше проявляється при обробці загартованих матеріалів, коли радіальна складова P_r збільшується в 10–12 разів. Вказана особливість визначає необхідність виконання завершальної лезової обробки на верстатах підвищеної жорсткості та зменшення величини допустимого зносу інструментів. Пружний характер взаємодії інструменту

з заготовкою обумовлює його переважне спрацювання з утворенням площинки зносу по задній поверхні, допустима висота якої встановлюється в межах $h_z = 0,4...0,6$ мм і залежить від твердості оброблюваного матеріалу, зносостійкості інструментального матеріалу та встановлених характеристик якості обробленої поверхні.

Аналіз результатів експериментальних досліджень обробки загартованих матеріалів дає підстави сформулювати два підходи до обґрунтування раціональних геометричних параметрів різальної частини інструменту. При першому підході вони визначаються в залежності від твердості оброблюваного матеріалу. Так Макаров О.Д. [1] відзначає, що величина переднього кута інструмента може бути обчислена за формулою

$$\gamma = (18 - 0,7 \text{ HRC}), \text{ град} \quad (1)$$

де HRC – твердість оброблюваного матеріалу.

При другому підході, обґрунтовують відносно незмінні геометричні параметри інструменту для досить широкого діапазону зміни твердості оброблюваного матеріалу [2]. Експериментальні дослідження авторів підтвердили справедливості другого підходу, на основі якого можливо встановити діапазон раціональних геометричних параметрів різальної частини інструменту для досить широкого діапазону зміни твердості оброблюваного матеріалу HRC = 46...64, які становлять:

$$\begin{aligned} \gamma &= -10...-20^\circ; \alpha = 9...12^\circ; \alpha_1 = 9...12^\circ; \varphi = 30...45^\circ; \varphi_1 = 9...15^\circ; \\ \lambda &= 6...12^\circ \text{ та } r = 0,5...1,0 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Встановлені особливості взаємодії інструменту і заготовки в процесі різання обумовлюють особливості впливу змінних факторів процесу різання на складові сили різання. Так, експериментально встановлено вплив швидкості різання та поздовжньої подачі на складові сили різання при точінні нержавіючої сталі ЕП-378 твердосплавним інструментом Т30К4 з геометричними параметрами різальної частини, які дорівнюють:

$$\gamma = -6^\circ; \alpha = 6^\circ; \alpha_1 = 12^\circ; \varphi = 33^\circ; \varphi_1 = 21^\circ; \lambda = 0^\circ \text{ та } r = 0,5 \text{ мм.}$$

Глибина різання залишалася незмінною $t = 0,25$ мм, подача змінювалась в діапазоні $S = (0,01...0,07)$ мм/об та швидкість різання $V = 20...140$ м/хв.

Аналіз результатів експериментів показав, що при збільшенні швидкості різання складові сили різання і особливо P_y та P_x зростають (рис.1.), що відрізняється від впливу швидкості різання на силу різання при значеннях подачі $S > 0,1$ мм/об. Вплив подачі на складові сили різання для трьох діапазонів висоти площинки зносу по задній поверхні представлено на рис.2. і суттєвих відхилень від традиційних даних немає.

Експериментальні порівняльні дослідження були проведені при обробці сталей ЕП-378, ЕП-811 та сталі 40Х (HRC 46...52) твердосплавним інструментом ТЗ0К4 та надтвердим матеріалом композитом 10. Геометричні параметри інструментів залишалися незмінними і мали наступні

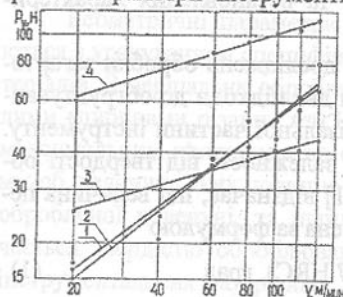


Рис. 1. Графік залежності складової сили різання P_y від швидкості різання: 1 — $S=0,01$ мм/об, 2 — $S=0,02$ мм/об, 3 — $S=0,04$ мм/об, 4 — $S=0,07$ мм/об.

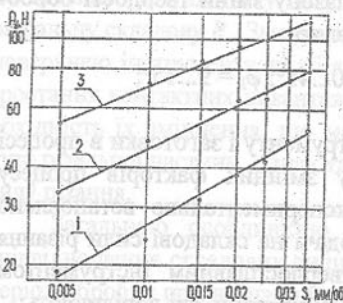


Рис. 2. Графік залежності складової сили різання P_y від подачі: 1 — $h_s = 0,05 - 0,15$ мм, 2 — $h_s = 0,15 - 0,30$ мм, 3 — $h_s = 0,30 - 0,40$ мм.

значення:

$$\gamma = -9^\circ; \alpha = 12^\circ; \alpha_1 = 12^\circ; \varphi = 30^\circ; \\ \varphi_1 = 30^\circ; \lambda = 0^\circ \text{ та } r = 0,5 \text{ мм.}$$

Дослідження проводились з застосуванням теорії математичного планування багатofакторних експериментів, на основі яких було розраховано математичні моделі силових залежностей при обробці вказаних матеріалів в стані поставки та загартованих.

Важливою особливістю силових залежностей, як було встановлено, є значне зменшення складових сили різання при обробці загартованих матеріалів композитом 10. Так, при обробці загартованої сталі 40Х (HRC 48...50) спостерігається збільшення складових сили різання на 25...50% в порівнянні з величиною складових, які супроводжують обробку сталі 40Х в стані поставки твердосплавним інструментом ТЗ0К4. При обробці загартованих нержавіючих сталей композитом 10 спостерігається збільшення складових сил на 60...90%, але це вдвічі менше тих сил, які супроводжують обробку цих матеріалів твердим сплавом ТЗ0К4.

Встановлена особливість визначає можливість зменшення похибки обробки, які виникають за рахунок пружних деформацій складових технологічної системи,

зменшення контактних навантажень на робочі поверхні інструмента, що зменшує інтенсивність його зношування, а також зменшення силового навантаження на робочі поверхні деталі, що забезпечує формування малих величин параметрів шорсткості поверхні.

Список літератури: 1. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. — М.: Машиностроение, 1976. — 278 с.; 2. Резницкий Л.М. Механиче-

ская обработка закаленных сталей. — М.: Машгиз, 1958. — 176 с.

АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ МАГНИТНОМЯГКИХ СПЛАВОВ

Гавриш А.П., Солдатенко Л.А., Гавриш О.А., Сринивасан М.М.
(НТУУ "КПИ", г. Киев, Украина)

The work is devoted questions of the increase quality surface layer of magnetic soft materials by abrasive and diamond instruments in processing at the expense of rational choice cutting regime and characteristics tool and technology factors.

В последние годы в промышленности широко внедрены методы машинной абразивной обработки магнитных головок [1-3].

К сожалению, алмазной обработке магнитных головок как одному из перспективных направлений производства головок не уделялось серьезного внимания. Данная работа является попыткой восполнить указанный пробел.

В соответствии с разработанной методикой, авторами выполнено экспериментальное исследование процессов алмазного шлифования магнитномягких сплавов 81НМТ, 79НМ и 16ЮИХ. Наряду с изучением точности, шероховатости и параметров наклепа обрабатываемой поверхности проводилось исследование мгновенных контактных температур алмазного шлифования. В результате выполненных экспериментов установлено, что при тонком алмазном шлифовании независимо от материала обрабатываемых образцов высота шероховатостей поверхности остается практически неизменной.

Анализ показывает, что при обработке сплавов 81НМТ и 79НМ абразивом АСМ14БЗ с идентичными режимами шлифования шероховатость поверхности находится в пределах $R_a = 0,150 - 0,250$ по ГОСТ 2789-82.

Сравнения: экспериментальных выборок для данного случая с помощью критерия Стюдента показывают, что расчетное t -распределение при числе степени свободы $k=6$ равно $t=1,64$. При уровне существенности 5% табличное t -распределение Стюдента = 2,447. Таким образом, экспериментальные совокупности несущественно различны. Идентичные выводы получены при сравнении других экспериментальных выборок. Это подтверждает вывод о том, что так же как и при обработке абразивами типа 63С состав магнитномягкого сплава не влияет на чистоту обработанной поверхности.

Выполненные исследования показали, что в рассматриваемом режимном диапазоне охлаждение, как технологический фактор обработки существенного влияния на высоту шероховатостей не оказывает.

Действительно, при шлифовании с идентичными режимами сплава 81НМТ кругом АСМ14Б3 экспериментальные выборки высот шероховатости у образцов, обработанных с охлаждающей эмульсией и без охлаждения существенно различны: $t = 1,37$ при $\varepsilon = 5\%$, $t_0 = 2,447$, $t < t_0$.

Идентичные результаты получены при сравнении образцов, обработанных другими абразивными инструментами.

Полученный вывод подтверждается исследованием мгновенных контактных температур шлифования. Полученные выводы идентичны выводам, вытекающим из исследований процесса тонкого отделочного шлифования магнитномягких сплавов обычными инструментами, что подтверждает общность физических процессов.

В соответствии с разработанной методикой и с учетом полученных выводов было проверено влияние режима тонкого шлифования на шероховатость поверхности. Обработка выполнена на образцах 81НМТ абразивом АСМ14Б1.

Анализ показывает, что незначительные изменения режимов отделочного шлифования на шероховатость практически не влияют. Этот вывод подтверждается исследованием силовых параметров алмазного шлифования магнитномягких сплавов указанных режимах обработки радиальная сила резания P_r находилась в пределах 300-500 г. (~3-5), что на формировании микрорельефа поверхности не могло существенно отразиться.

Вместе с тем среди режимных факторов шлифования существенное влияние на шероховатость поверхности оказывает выхаживание. Для сплавов 91НМТ и 79НМ при шлифовании кругом АСМ14Бр с $S_{np} = 0,1$ м/мин, $t = 0,002$ мм, $V_{np} = 22$ м/сек, $V_{det} = 30$ м/мин увеличение числа выхаживаний с трех до восьми обуславливает уменьшение параметра R_a с 0,350 мкм до 0,150 мкм.

С учетом полученных данных была произведена обработка партии магнитных головок, инструментами на основе синтетических алмазов. Корпуса и сердечники головок были изготовлены из различных конструкционных материалов: 81НМТ-ЛС-59; 81НМТ-БрКМц 3-1; 81НМТ-сплав Cu-Fe-Sh; 81НМТ-K18-2. Результаты показаний показали, что основные выводы, полученные при обработке образцов из исследуемых сплавов, подтверждаются для случая обработки магнитных головок. Вместе с тем было установлено, что при работе без охлаждающей эмульсии наблюдалось интенсивное засаливание исследуемых абразивных инструментов, что приводило к интенсивному нагреву и ухудшению чистоты поверхно-

сти. Наиболее сильное засаливание кругов наблюдается, при обработке пар типа 81НМТ-В95. Следовательно, обработку полублоков из различных конструкционных пар инструментами на основе синтетических алмазов необходимо производить с обильным охлаждением.

Изучение точности обработки при алмазном шлифовании показало, что наихудшая плоскостность (5-9 мкм) получена при обработке крупнозернистыми (100-200 мкм) кругами. Наиболее высокая точность (1-3 мкм) обеспечивается при использовании мелкозернистых инструментов (7-14 мкм). При этом наблюдается тенденция к повышению точности для случая, когда использовались связки типа Бр.

Исследование параметров наклепа при алмазном шлифовании магнитномягких сплавов показало, что характеристика обрабатываемого материала несущественно влияет на параметры наклепа.

Сравнение параметров наклепа у образцов 81НМТ и 79НМ, обработанных алмазным кругом АСМ14Бр, показывает, что при числе степеней свободы $K=10$ расчетное распределение Стюдента $t=3,06$, табличное значение t - распределения при уровне существенности 1% - $t_0=3,707$. Таким образом, $t < t_0$ и сравниваемые выборки несущественно различны. Идентичные результаты получены при сравнении параметров наклепа для образцов, обработанных иными абразивными инструментами на основе синтетических алмазов.

В результате исследований установлено, что охлаждение как технологический фактор обработки существенного влияния на параметры наклепа не оказывает.

Исследованиями так же установлено, что наклеп при алмазном шлифовании меньше, чем при абразивном шлифовании магнитномягких сплавов.

Зернистость алмазного инструмента оказывает существенное влияние на параметры наклепа. В идентичных режимах шлифования с ростом зернистости наблюдается увеличение наклепа, что объясняется ростом усилий резания и мгновенных контактных температур, превышающих критические значения для магнитномягких сплавов.

Режим алмазного шлифования оказывает существенное влияние на параметры наклепа [1-3].

Установлено, что ужесточение режимов шлифования приводит к увеличению наклепа, Увеличение наклепа обуславливается возрастанием сил резания и значительным увеличением температур в зоне шлифования.

Так при плоском шлифовании кругом АСМ14Бр при $V_{np}=16$ м/сек; $S_{прод}=7$ м/мин мгновенная контактная температура для пермаллоя 81НМТ с

ростом глубины шлифования от 0,002 до 0,015 мм возросла от 75-90 до 280-310 °С, т.е. в 3-4 раза.

Обобщая результаты исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Для обеспечения минимальной шероховатости, максимальной точности и минимального наклепа поверхности шлифования магнитно-мягких сплавов необходимо производить алмазными кругами зернистостью 7-14 мкм на органических связках типа Бр.

2. Алмазное шлифование магнитномягких сплавов необходимо производить в следующем режиме: скорость круга - 22 м/сек; поперечная подача - 0,1-0,2 мм/дв.ход; глубина резания - 0,002 - 0,005 мм; скорость изделия - 2-5 м/мин; охлаждение - эмульсией.

3. В отличие от абразивного тонкое алмазное шлифование магнитно-мягких сплавов обеспечивает получение лучшего качества поверхности.

Список литературы: 1. Гавриш А.П., Солдатенко Л.А. Высокие технологии при шлифовании магнитномягких материалов. Сб.: "Резание и инструмент", "Прапор", Харьков, N 51, 1997. 2. Гавриш А.П., Солдатенко Л.А. Обеспечение качественного поверхностного слоя при шлифовании магнитномягких материалов. Сб: Труды международной конференции "Высокие технологии в машиностроении", ХГПУ, Харьков, 1997. 3. Гавриш А.П., Солдатенко Л.А. Особенности процесса тонкого шлифования магнитномягких материалов алмазными и эльборовыми кругами. Сб.: "Prazi miedzynarodowa konferencja Nankowa MECHANIKA-98", Warschawa-Rzeszow, 1998.

СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ УКРАИНЫ



Гафанович Г.Я. (ГНПО "Метрология" г. Харьков, Украина)

The peculiarities of metrological equipment for mechanical engineering in Ukraine in the contemporary conditions of reorganization are shown in the report, as well as the state, main goals and programs of metrological equipment and methods of their realization.

В связи с решаемыми в настоящее время проблемами повышения качества продукции, совершенствования метрологического обеспечения при ее производстве и эксплуатации, а также значительным сокращениям ассигнований в результате кардинальных изменений политических и экономических условий на Украине, возникает ряд задач по повышению уровня обеспечения единства измерений в различных областях и видах измерений, включая вопросы оптимизации используемой ранее системы и связанных с ними взаимозависимых научно-технических, правовых организационных и экономических аспектов.

Учет современных требований экономики Украины и международных научно-технических и торговых связей к уровню метрологического обеспечения и к системе обеспечения необходимого качества выпускаемой продукции с одной стороны и возможности их реализации - с другой, необходимый для взвешенного решения задачи оптимизации, предполагает тщательный анализ уровня МО, требований промышленных и научных организаций к точности измерений, применяемых на них технологий, требований передовых отечественных и зарубежных нормативных документов, соотношения требуемого и достигнутого уровней точности в различных видах измерений, состояния и тенденций развития измерительной техники как в Украине, так и за рубежом и т.д.

Как показал анализ, проведенный Госстандартом Украины, в последнее время уровень МО всех стран СНГ с распадом бывшего СССР существенно снижен, что связано с общим понижением их экономики, научного и промышленного уровня.

Невостребованность потенциала метрологических органов Госстандарта промышленными и научными организациями привело к его существенному снижению.

Большинство Госстандартов, воспроизводящих и передающих единицы измерений оказались не на Украине; их использование Украиной сопряжено со значительными материальными затратами, разработанные ранее и используемые НТД в значительной мере устарели и требуют пересмотра.

В связи с этим, кроме решения метрологических задач сегодняшнего дня, Госстандартом Украины был принят ряд стратегических программ направленных на быстрое восстановление необходимого уровня МО на Украине. К числу таких программ относятся: Программа создания эталонной базы Украины на 1993-1997гг. Программа оснащения терорганов Госстандарта Украины, Программа создания государственных стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов на 1995-1998гг. Про-

грамма создания и развития Государственной службы единого времени и эталонных частот на 1995-1999гг.

В результате выполнения указанных программ с 1993 г ситуация в Украине в части МО претерпела ряд положительных изменений и поэтому намечая основные задачи развития МО и оценивая реальные возможности для их выполнения следует отметить: 1. В феврале месяце 1998г принят Закон Украины "О метрологии и метрологической деятельности, определяющий правовые основы ОЕИ в Украине, который регулирует общественные отношения в сфере метрологической деятельности и направлен на защиту граждан и национальной экономики от последствий недостоверных результатов измерений. Т.о. в настоящее время в Украине заложена правовая и научно-техническая основа ОЕИ, созданы возможности роста уровня МО в важнейших областях и видах измерений, созданы метрологические предпосылки для производства высококачественной, конкурентоспособной на мировом рынке продукции.

Завершен 1-й этап создания эталонной базы Украины в результате страна получила 30 Государственных эталонов основных и производных единиц, наиболее полно удовлетворяющие потребностям экономики Украины. При этом их научно-технический и метрологический уровни не уступает, а в ряде случаев превосходит уровень лучших зарубежных аналогов.

По каждому виду измерений, возглавляемому Госэталоном, разработаны системы передачи размеров от эталонов к рабочим средствам измерений - поверочные схемы, представляющие собой метрологические, организационные и юридические основы соподчиненности средств измерений применяемых в стране.

В каждом виде измерений разработаны первоочередные стандарты по терминологии, НТД, регламентирующая правила и нормы различных измерений и поверки средств измерений, проведения различного рода испытаний, метрологической аттестации и т.п.

Проведена также структурная реорганизация системы Госстандарта Украины, определены юридические, финансовые права и функции органов Госстандарта.

В числе выполненных программ по общему повышению уровня МО в стране, выполнены также ряд работ, направленных на совершенствование МО машиностроения. К ним можно отнести: - Создание комплекса государственных эталонов Украины, используемых в различных отраслях машиностроения:

Государственный первичный эталон единицы длины; Государственный эталон единицы длины для параметров эвольвентных поверхностей и

угла наклона линии зуба; Государственный эталон единицы длины для отклонений от плоскостности и прямолинейности; УВТ для воспроизведения единицы длины в области 24-1000м; Эталон механических единиц: твердости, давления, объема, уровня, а также комплекс вторичных, рабочих эталонов, используемых для передачи единиц рабочим средствам измерений.

- Разработка пакета нормативно-технической и методической документации, регламентирующей нормативную и процедурную стороны ОЕИ.

Выполненные работы дают основание считать, что в настоящее время метрологический потенциал и организационно-технические возможности системы Госстандарта Украины способны удовлетворить потребности машиностроительной промышленности Украины.

ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Гейер Э. С. (АО «НОРД», г. Донецк, Украина)

It has been opened the main questions of creating the mechanized system of managing the enterprise in the «NORD». It's examining the main outlines of M - Technology, which let to create effective MSM on it's base.

Любое предприятие, осуществляющее хозяйственную деятельность подвергается воздействию внешней среды. В последние несколько лет экономическое пространство Украины характеризуется достаточно высокой степенью нестабильности. Постоянно изменяющееся законодательство, подзаконные нормативные акты, часто прямо или косвенно противоречащие законам, нестабильность национальной валюты, платежный кризис и гипертрофированное развитие бартерных, взаимозачетных операций крайне отрицательно влияют на финансовое состояние предприятий. В этой ситуации высока вероятность принятия ошибочных решений, которые исправить практически невозможно.

Одним из самых эффективных способов сохранения дееспособности предприятия является оперативное получение внешней и внутренней информации, взаимосвязанная ее обработка, анализ и принятие на этой основе комплексных решений, контроль исполнения принятых решений, их корректировка и т.д.

В неавтоматизированном режиме осуществить указанный комплекс операций возможно только на небольшом предприятии. На крупном пред-

приятии ежедневно находятся в стадии осуществления десятки, сотни таких комплексных операций. И здесь без автоматизации не обойтись.

Однако, решение о внедрении автоматизированной системы управления порождает массу иных проблем. Одна из самых значительных - осуществлять разработки собственными силами или приобретать готовые, но требующие адаптации системы. Есть множество аргументов «за» и «против» каждого из способов решения проблемы. И, если говорить непредвзято, то не существует однозначного для всех предприятий или для каждого типа предприятий алгоритма действий. Все зависит от конкретной ситуации.

Поэтому, далее мы рассмотрим практику создания автоматизированной системы управления на крупнейшем в Украине предприятии бытового машиностроения - Акционерном обществе «НОРД» (г. Донецк), которое пошло по пути ее самостоятельной разработки и внедрения на базе довольно редко встречающейся в СНГ операционной системы MSM. Опыт этот заслуживает подробного рассмотрения, т.к. в настоящий момент АО «НОРД» имеет, без сомнения, самую совершенную и самую относительно недорогую систему в Донецкой области.

Кратко остановимся на описании М - технологии, применяемой в АО «НОРД».

Как известно, при реализации крупных корпоративных приложений критичным является выбор СУБД. Принятое решение во многом определяет масштаб будущих проблем развития и эксплуатации приложения. Насколько легко можно будет включать в систему новые функции и возможности? Каковы будут затраты на эксплуатацию и модификацию приложения? Каковы, наконец, перспективы развития данной СУБД?

Многим компьютерным менеджерам хорошо известна ситуация конца восьмидесятых - начала девяностых годов, когда отечественные энтузиасты наделали массу приложений по принципу Fox-Pro (Clipper, Paradox, ...) + Novell = ? И от всего этого приходится сейчас отказываться, неся грандиозные затраты на полное переписывание приложений.

Ведущие производители СУБД в последнее время интенсивно ищут и предлагают на рынок постреляционные решения, отчетливо понимая, что господствующая ныне реляционная парадигма близка к исчерпанию своих возможностей.

Стоит отметить, что многие «новые» решения уже десятилетиями и с успехом применяются в М-системах. Положенные в их основу принципы выдержали испытание сменой программно-аппаратных платформ, парадигм программирования баз данных. В мире информационных технологий М-технологии можно охарактеризовать как секрет, ревниво охраняемый

почти тридцать лет. Широко известная узкому кругу лиц, существует она и в России, и в Украине. Более того, с момента своего появления в США (с 1966 года) М-технология используется как промышленная информационная технология, т.е. высоконадежная, широкомасштабная, пригодная к промышленной эксплуатации и решению любых информационных задач.

М-системы (М-технологии) - это и многотерминальные, многопользовательские, и сетевые распределенные, и клиент/серверные системы с очень высокой скоростью доступа к базам данных и с очень низким соотношением цена/производительность. Это операционная среда, основанная на стандартизованном (стандарт ANSI и стандарт ISO) языке М. Стандарты включают в себя раздел о требованиях к переносимости ПО, графический интерфейс пользователя.

М-системы прекрасно интегрируются в среду Windows. Сегодня М-системы поддерживают ODBC и OLE2, обеспечивают связь с Internet, плюз с Oracle и др.

М-система представляет собой уникальную среду программирования с интегрированным механизмом ведения баз данных и эффективным языком программирования, который одновременно является и командным языком системы.

Существенным свойством М-технологии является многозадачный режим и возможность многотерминальной работы. При использовании минимальных аппаратных средств (мультиплексоры, порты RS-232) можно создать систему, аналогичную локальной сети. Это не исключает включение этой системы в обычную или глобальную сеть. Система поддерживает работу с удаленными терминалами и современные сетевые структуры.

М-технология обеспечивает простоту создания и ведения произвольных структур базы данных, позволяет строить базу данных в соответствии с требованиями конкретной разработки без каких-либо специальных системных ограничений. Базу данных отличает высокая надежность, компактность хранения информации и ускоренный доступ к любому ее элементу.

Все системные утилиты и прикладные программы М-системы написаны обычно на М-языке. Вместе с тем обеспечена также возможность включения модулей на других языках.

М-язык - это язык высокого уровня, ориентированный прежде всего на решение информационно-поисковых задач. Многие черты этого языка делают его идеальным для применения в областях, где необходимо использовать значительные объемы информации, осуществлять ее быстрый поиск и реорганизацию. Высокая скорость составления, отладки и модификации

программ на М-языке обеспечивает повышенные возможности приспособления прикладной системы к требованиям пользователя.

Центральную роль в М-технологии играет база данных с информационно-поисковым механизмом. Эффективный способ организации базы данных с помощью древовидных структур обеспечивает высокую скорость доступа к нужному элементу.

М-технологии отличает самая высокая способность к переносу из одной компьютерной среды в другую: прикладные пакеты на ее основе работают более чем на 200 типах широко распространенных аппаратных средств. М-система может работать в разных средах и обеспечивать совместное использование данных и прикладных программ для таких разнородных систем, как универсальные ЭВМ фирмы IBM, компьютеры с сокращенным набором команд (RISC - компьютеры) типа RS/6000, мини-ЭВМ семейства PDP фирмы Digital Equipment, различные версии операционных систем UNIX, MS-DOS, WINDOWS и пр.

Уже к середине восьмидесятых годов существовало несколько десятков реализаций стандарта М для разных платформ у разных производителей. Одна из лучших реализаций М-системы - продукт американской фирмы Micronetics Design Corporation, известный в мире как система MSM (Micronetics Standart M).

Нередко представляется целесообразным часть рабочих мест иметь в виде полноценных рабочих станций с однопользовательской системой MSM, запущенной под Windows, подключенной через сеть непосредственно к серверу БД. В этом случае возможности данного рабочего места существенно больше, т.к. позволяют иметь локальную базу данных в клиентской системе для внутренних работ, выход в базовую ОС для работы с не-М приложениями, реализовать перспективные решения интеграции М и не-М приложений и т.д. В частности, анонсированный фирмой Micronetics Design Corporation пакет MSM Workstation for Windows позволяет создать готовые приложения в виде .EXE- файлов, не требующих наличия системы MSM у клиента. Пакеты MSM-View/Builder и MSM-API позволяют осуществлять разработку приложений с графическим интерфейсом в стиле Windows, осуществлять двунаправленную связь М и не-М приложений и т.д.

И, наконец, надежность и технологичность. Системными средствами поддерживаются следующие возможности создания высоконадежных систем, простых по технологии сопровождения, обслуживания, настройки на конкретную архитектуру:

- ограничение доступа к записям БД тем или иным классам пользователей;

- журналирование до и после записи («пуленепробиваемость» БД) обеспечивают поддержание актуальности и целостности БД в аварийных ситуациях;

- разнообразные способы копирования/ восстановления БД - полное, инкрементное (только измененные блоки), копирование БД без остановки работ пользователей, т.н. OnLine-Backup, дублирование всей БД или выбранных записей в другие БД, в т.ч. и удаленные, что позволяет иметь зеркальную копию БД на резервном сервере БД;

- трансляция данных, что позволяет изменять местонахождение данных без переделки прикладного ПО, достаточно лишь поменять системные таблицы трансляции.

MSM-HORД, создаваемая в АО «НОРД», - комплексная система автоматизации управления производственной и финансовой деятельностью предприятия, которая может использоваться в различных отраслях промышленности. Средства системы могут быть успешно применены как на предприятиях с периодическим процессом, так и на предприятиях с непрерывным технологическим циклом. MSM-HORД - комплексная система менеджмента предприятий со спектром от небольших подразделений до крупных компаний, включающих неограниченное число филиалов. Средства этой системы рассчитаны на легкое их использование персоналом с различной квалификацией без специальной подготовки.

Следует отметить несколько ключевых решений, которые легли в основу разработки системы MSM-HORД.

Первым из них является выбор операционной системы. Многопользовательская и многопользовательская операционная система MSM, реализующая так называемую М-технологии, поддерживает современные сетевые архитектуры, оптимальным образом решает специфические задачи компьютеризации управления предприятием.

Вторым важным фактором является возможность эффективно использовать весь имеющийся на предприятии парк вычислительной техники - от простых терминалов и маломощных компьютеров типа IBM PC/XT до Pentium, RISK и пр.

Наконец, третьим ключевым моментом является организация базы данных и отсутствие каких-либо ограничений на ее размеры, на количество операций и абонентов компьютерной сети, организацию самой сети. Необходимо отметить, что система использует иерархическую базу данных типа В-деревьев, обеспечивающую компактность базы и быстрый доступ к данным.

Подчеркнем основные принципы, которые лежат в основе системы MSM-HORД:

- ориентация на пользователя-непрограммиста;
- возможность оперативной перенастройки системы при изменении условий деятельности;
- использование валют всех стран мира;
- поддержка любых сетевых конфигураций (терминальных, локальных, глобальных);
- реализация как распределенной базы данных, так и архитектуры «клиент-сервер» с центральной базой.

Таким образом, система MSM-HOPD направлена на решение задач сегодняшнего дня, не ограничивая ни количество клиентов, ни количество операций, ни размеры базы данных, и максимально открыта для решения новых задач в будущем.

Модульная архитектура системы MSM-HOPD позволяет устанавливать ее как в полном объеме, так и в том функциональном варианте, который необходим. Если система MSM-HOPD установлена в неполном варианте, то в дальнейшем, при расширении задач предприятия, легко можно осуществлять наращивание системы путем добавления дополнительных модулей.

Основные модули системы, действующие в АО «НОРД»:

- Снабжение и сбыт
- Финансы
- Бухгалтерский учет
- Труд и персонал, зарплата
- Экономика и анализ
- Техническая подготовка производства
- Основное производство
- Вспомогательное производство

В состав модуля входят Автоматизированные Рабочие Места (АРМы), оборудованные компьютером или терминалом, принтером и другой оргтехникой (модем, факс и т.д. - при необходимости).

Функциональные возможности любого АРМа определяются условиями работы, задачами работника и могут наращиваться или уменьшаться администратором системы без привлечения программистов. Администратор системы устанавливает также права доступа к базе данных пользователей. База данных таким образом защищена от несанкционированного доступа на уровне конкретного АРМа, а также на уровне конкретных данных (цех, номер счета в банке, вид личных данных персонала и т.д.).

Для работы в системе MSM-HOPD не требуется длительное обучение персонала. Обычно оно занимает 3-5 дней. Тем не менее работники, не имеющие навыков работы на компьютере, администраторы баз данных и

администраторы сети проходят соответствующую подготовку в отделе АСУП АО «НОРД».

Комплексная система автоматизации управления производственной и финансовой деятельностью АО «НОРД» находится в стадии активного развития. Однако, уже сегодня можно констатировать, что опыт АО «НОРД» позволяет говорить о перспективности и эффективности самостоятельной разработки подобных систем силами некоторых крупных промышленных, а особенно - машиностроительных предприятий. Вызвано это весьма значительной спецификой и индивидуальными факторами предприятий этой отрасли.

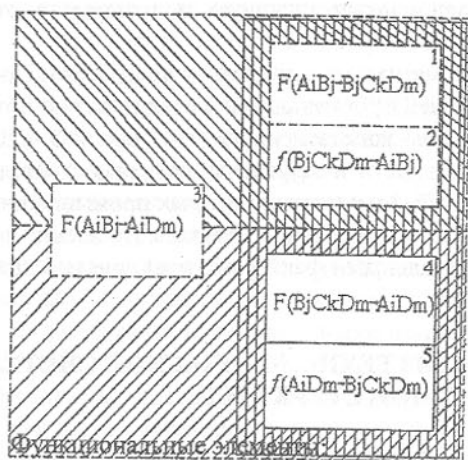
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Гладчук Е.А., Горелик В.С. (ДГКИ, ДГТУ, г. Донецк, Украина)

A variable structure technology system has to describe into complete measure by a function composition for the quantity description physics process into time inside of technology system. There is a description in an accordance with the weightness of the time-functional elements and ties.

В общем случае любая технологическая система представляет собой технологическую систему переменной структуры, разомкнутую в режиме холостого хода и мгновенно связанную при приложении технологической нагрузки [1]. Таким образом, в общем случае, любая технологическая система представляет собой совокупность двух нестационарных составляющих: структурной, описывающей реально существующее в конкретный момент времени только количественное состояние системы; функциональной, описывающей реально существующее в конкретный момент времени как количественное, так и качественное состояние системы [2].

С функциональной точки зрения, технологическая система переменной структуры представляет собой совокупность, взаимосвязанных в пространстве и во времени, трех функциональных элементов (см. рис.): технологического, описываемого реально существующими в данный конкретный момент времени крайними параметрами технологического очага; технического, описываемого реально существующими в данный конкретный момент времени техническими параметрами технологической системы; управления, описываемого параметрами физических процессов в соответствии с реально используемыми в данный конкретный момент времени алгоритмом управления технологической системы.



— технологический ;

— технический ;

— управления ;

Обобщенная функциональная схема связанности технологической системы переменной структуры.

Функциональные элементы и связи:

— стационарные;

--- нестационарные.

Функциональные

связи:

F- активные;

f- реактивные.

На рисунке:

A - элементарная единица обрабатываемого продукта;

B - элементарная единица исполнительного органа;

C - элементарная единица привода;

D - элементарная единица управления;

$i \geq 1, j \geq 1, k \geq 1, m \geq 1$

количество элементарных единиц;

$AiBj, BjCkDm, AiDm$ - временно-функциональные связи между элементарными единицами элементов;

1, 3, 4-активные функциональные связи технологической системы переменной структуры;

2, 5-реактивные функциональные связи технологической системы переменной структуры.

$F(AiBj \rightarrow BjCkDm)$ -активная функциональная связь 1 между технологическим и техническим элементами технологической системы. Качественно и количественно описывает физические процессы, генерируемые технологическим элементом, в условиях искажения их техническим элементом. Связь 1 мгновенно генерируется при приложении технологической нагрузки.

$F(BjCkDm \rightarrow AiDm)$ -активная функциональная связь 4 между техническим элементом и элементом управления технологической системы. Ка-

чественно и количественно описывает физические процессы, генерируемые техническим элементом, в условиях искажения их элементом управления. В силу конечности физических процессов связь 4 генерируется с определенным запаздыванием при приложении технологической нагрузки

$F(AiBj \rightarrow AiDm)$ -активная функциональная связь 3 между технологическим элементом и элементом управления технологической системы. Качественно и количественно описывает физические процессы, генерируемые технологическим элементом, физически в виде соответствующем используемому алгоритму функционирования управляющего элемента в условиях искажения их аппаратурой управляющего элемента. В силу конечности физических процессов, связь 3 так же генерируется с определенным запаздыванием во времени при приложении технологической нагрузки.

$f(AiDm \rightarrow BjCkDm)$ -реактивная функциональная связь 5 между элементом управления и технологическим элементом технологической системы. Качественно и количественно описывает реактивные физические процессы элемента управления на физические процессы, генерируемые технологическим элементом, (описывается активной функциональной связью 3) и техническим элементом (описывается активной функциональной связью 1), протекающие с искажением во времени, вследствие различия конечности физических процессов в связях 3 и 1. Связь 5 генерируется стационарно, но с определенным запаздыванием во времени, при приложении технологической нагрузки.

$f(BjCkDm \rightarrow AiBi)$ -реактивная функциональная связь 2 между техническим элементом и технологическим элементом технологической системы. Качественно и количественно описывает реактивные физические процессы технического элемента на физические процессы, генерируемые технологическим элементом, (описывается активной функциональной связью 1) и управляющего элемента (описывается реактивной функциональной связью 5), протекающие со взаимными искажениями во времени, вследствие различия конечности физических процессов в связях 1 и 5. Связь 2 генерируется, в конечном итоге, со значительным накопленным запаздыванием, в последнюю очередь после приложения технологической нагрузки.

Таким образом, вследствие искажения во времени, из-за конечности физических процессов в функциональных связях 1...5, в технологической системе переменной структуры имеет место постоянное искажение по амплитуде и во времени краевых условий взаимодействия функциональных элементов. Качественно и количественно параметры краевых условий взаимодействия функциональных элементов технологической системы переменной структуры могут быть получены графо-аналитическим решени-

ем с учетом весомости функциональных связей 1...5 при конкретных условиях искажения во времени физических процессов.

Список литературы: 1. Гладчук Е.А., Горелик В.С., Гладчук С.А. Моделирование технологической системы переменной структуры// Прогрессивные технологии машиностроения и современность. -Донецк: Донецкий государственный технический университет, 1997.-с.59-60. 2. Гладчук С.О. Динаміка перехідних процесів багатомасових електромеханічних систем змінного складу// 2-й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: Львівська політехніка, 1995.-с.66-67.

СОВЕТЫ ИНЖЕНЕРАМ ИЗ СТРАН ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ

Гог Жан-Мари (г. Версаль, Франция)

"Science sans conscience n'est que ruine de l'ame" - Montaigne
(«Наука без осознания - это только разрушение души» - Монтень)

This conference aims at exploring the ways to create and develop new techniques for a better world. Everybody knows that many techniques that were born in the past could not get into practice until social conditions were met. Today the development of new techniques also depends on the social environment. Here are some advice for that, based on my own experience.

Эта севастопольская конференция имеет целью исследовать способы создания и развития новых технологий для будущего, которое должно быть лучше настоящего. Однако каждый знает, что технологии, родившиеся в прошлом, как например, типографское дело, судоходство и т.д., могли быть использованы на практике только при появлении определенных социальных условий. Сегодня развитие новых технологий также зависит от социального окружения. Вот почему европейские инженеры, особенно инженеры из стран Восточной Европы, должны прежде всего пойти по пути повышения жизненного и культурного уровня социального окружения, иначе их работа рискует оказаться бесполезной или даже вредной.

В течение многих лет люди, живущие в Восточной Европе, импортируют с Запада множество различных вещей, таких как компьютеры, видеосистемы, сладкие напитки и т.д. У них также есть склонность к принятию западных привычек и опыта, особенно в сфере деловой активности. Не доверяйте этой тенденции! Некоторые виды нашего (западного) прак-

тического опыта являются вредными. У вас есть интерес и стремление к постоянному улучшению социального окружения, вы критически оцениваете свою политическую ситуацию как благоприятный случай, а не как препятствие. Вот несколько советов, основанных на моем собственном опыте.

Изучайте систему, в которой вы работаете.

Во французском языке слово "система" имеет два различных значения. Первое значение - это способ думать и действовать. Например, "капиталистическая система". Система включает принципы, правила, методы. Другое значение этого слова - это "организация". Это совокупность составляющих, которые работают вместе на одну общую цель. Человеческое тело - это система, автомобиль - это также система. Такое семантическое разъяснение является важным, когда нужно руководить предприятием, поскольку предприятие может выжить только в том случае, если оно образует гармоничную систему. Когда вы изучаете систему, вы должны попытаться понять, как работает каждая ее составляющая во взаимодействии со всеми другими.

Улучшать качество.

Довольно часто на западе используют слово "качество" как простой популярный рефрен. Первое исследование по вопросу качества было сделано в США в 1931 году профессором Шугартом (Shewhart). Использование результатов этих исследований привело к существенному улучшению достижений в американской телефонной промышленности. Позже благодаря профессору Демингу (Deming) теория Шугарта обусловила существенное улучшение достижений японской промышленности, в частности, черной металлургии, автомобильной промышленности и электроники.

С 1950 года руководители японских предприятий приняли основное содержание понятия менеджмента в соответствии с теорией Шугарта как систему управления под названием "контроль качества" ("quality control"). В то же самое время была создана американская Ассоциация контроля качества, но ее членами были, возмущенные на себя смелость это сказать, специалисты по статистике и процедурам. В Ассоциации отсутствовали руководители предприятий. Хотя профессор Шугарт был среди членов-основателей Ассоциации, многие из этих специалистов не поняли и не приняли его теорию. Их навязчивой идеей был контроль соответствия продукции стандартам вместо мобилизации себя на постоянное улучшение того, чем они занимаются.

Сами хозяева американских (и европейских) предприятий не пошли по пути улучшения качества. Они думали, что им достаточно только иметь у себя специалистов-профессионалов. Они приняли основное со-

держание понятия менеджмента, обратное тому, что определено теорией Шугарта и известное под названием "менеджмент для достижения целей" ("management par objectifs"). Его неэффективный характер был признан в 1980 году. Сейчас вам объясню различие между двумя стилями менеджмента и приведу доводы, касающиеся превосходства второго стиля.

Менеджмент через знание

Самое подходящее название для теории Шугарта, дополненное Демингом, это не "контроль качества", а "менеджмент через знание". Ядром этой новой философии является внимательное наблюдение системы тем, кто ею руководит, с помощью тех, кто в ней работает. Для начала вы можете рассматривать свою лабораторию или свой завод как систему, но предпочтительно рассматривать также все предприятие в целом вместе с его поставщиками и клиентами в качестве системы. Система включает процессы, которые дают измеряемые результаты. Руководитель должен фиксировать свое внимание не на результатах, а на процессах. Для понимания процесса используется очень важный графический инструмент - флюграмма.

Рабочие совещания должны акцентировать внимание на описание того, что реально делается, и участники совещания должны стремиться выявить узкие места.

Понимание вариаций (с теорией *ad hoc*) является основным для понимания процесса. Математически это несложный вопрос, но это случай для использования "графиков контроля" для выявления "частных причин" и "общих причин" вариаций. Например, если производственная машина допустила вчера 16 дефектов, а сегодня - 13, будете ли вы говорить об улучшении? Конечно, нет. Разница обусловлена случаем. Теория отвечает на вопрос: как выявить вариацию, которая не связана со случаем?

Принять новую философию

Ядром "менеджмента для достижения целей" является ложная вера в то, что руководитель может улучшить общий результат системы путем простого распределения обязанностей среди своих сотрудников (технический директор, отдел снабжения, производство, коммерческая или финансовая служба) с указанием им конкретных целей для улучшения продукции и работы. Каждый в свою очередь укажет своим сотрудникам частичные цели. Каждый директор обсудит со своими сотрудниками и зафиксирует их цели, затем он вынесет суждение о достижении этих целей на основе объявленных результатов.

И это рассматривается как благородная работа! Наоборот, заниматься со своими сотрудниками вопросом функционирования процессов - это значит просто терять время!

На практике сотрудники будут награждены или наказаны в соответствии с объявленными результатами. Сотрудники, получающие заработную плату, не любят стрессы, которые провоцируются служебной иерархией, но они думают, что это необходимое условие для улучшения результатов предприятия, хотя смутно догадываются о том, что многие объявленные результаты достигаются только благодаря удаче.

"Менеджмент для достижения целей" не является продуктивным, потому что он приводит людей к необоснованной растрате их сил. Надеясь на лучшие результаты, каждый сотрудник может говорить неправду, каждый стремится скрыть информацию и каждый таким образом нарушает работу своих коллег. Никто не пытается улучшить процесс, в котором он работает, потому что нет никакой выгоды в том, чтобы действовать таким образом. Самым важным вопросом, который задает себе каждый, является не вопрос: "Что я могу сделать для улучшения системы?", а вопрос: "Что я могу сделать, чтобы понравиться моему руководителю?" Это как игра, в которой каждый пытается получить выигрыш лично, но система (сообщество) при этом проигрывает.

Многие руководители не решаются устранить "менеджмент для достижения целей", потому что не имеют никакого опыта в использовании других стилей менеджмента. Их авторитет уже давно основан на страхе их подчиненных получить плохие результаты в работе. Те, кто слышал о Шугарте и Деминге, не осмеливаются броситься "в авантюру", которая заключается в принятии новой философии. Но они смогут довериться этой философии в будущем: с помощью извне им понадобится не больше года, чтобы преуспеть в переменах, и их авторитет от этого не пострадает, а наоборот укрепитя.

На предприятиях, которые приняли стиль "менеджмент через знание", вам каждый скажет, что если вы будете исследовать сам процесс, вы улучшите результаты, и наоборот, если вы будете уделять внимание только результатам работы, вы разрушите процесс. Эти предприятия имеют новый кодекс правил управления. Руководитель выносит суждение о желании своих подчиненных понимать систему и о их способности содействовать всестороннему улучшению. Он знает, что суждение, касающееся индивидуального результата, является абсурдной вещью, так как 90% результатов даются не отдельными личностями, а всей системой.

Цикл "PLAN - DO - CHECK - ACT" (PDCA)

С давних времен человек использует универсальный процесс для улучшения знания и, следовательно, для развития новых технологий. Профессор Шугарт представил этот процесс циклом, состоящим из четырех составляющих: Plan, Do, Check, Act. В любой человеческой

деятельности прогресс может быть более быстрым, если люди методично используют цикл PDCA. Вот что означают эти четыре термина при работе командой.

PLAN - Что самое важное может сделать команда? Каковы желаемые изменения? Каковы имеющиеся в распоряжении данные? Нужна ли новая информация? Наметить план действий для изменений в процессе и проанализировать опыт в этом направлении. Решить, как будет использоваться информация.

DO - Внедрить изменения в процесс и применить опыт, определенные в плане, желательно в небольшом масштабе и небольшими дозами.

CHECK - Пронаблюдать эффект от изменений и результаты опыта.

ACT - Изучить результаты. Чему мы научились? Что мы можем предусмотреть? Принять решение: где применить изменение или его отменить, либо возобновить цикл в других условиях.

Заключение

Знание имеет два слагаемых. Первое - это образование, вторым является профессиональный опыт. Каждый должен улучшать свое образование, чтобы стать более эффективно улучшать то, что он делает. Самая важная часть этого образования заключается в изучении "менеджмента через знание". В профессиональном опыте вы должны наблюдать процессы для их улучшения. Каждый раз, когда вы это делаете, вы обогащаете свое знание.

На долгосрочный период "менеджмент через знание" является единственным средством улучшить ваше положение перед лицом конкуренции, а также повысить качество вашей жизни. Сообщество (предприятие или страна) нуждается во всех резервах знания и должно научиться находить этому наилучшее применение. От этого зависит даже само существование этого сообщества.

ПО ПОВОДУ СТАТЬИ "ЧУВСТВО ПЕРЕМЕН: МЕНТАЛЬНЫЙ ПРОРЫВ"

Гог Жан-Мари, Клягин Г.С., Воскобойникова Н.П.

(г. Версаль, г. Донецк, Франция, Украина)

Если задать вопрос "Вы за качественную продукцию?", то положительных ответов на него было бы получено 100%.

Однако даже на лучших предприятиях, в том числе и на Западе, не всегда удается получить желаемое качество.

На предыдущей Севастопольской конференции наш доклад вызвал небольшую дискуссию. Некоторые оппоненты выразили скептицизм отно-

сительно значительной доли "философии", содержащейся в наших рассуждениях по поводу необходимости нового подхода к проблеме управления качеством.

С нашим соавтором профессором Ж.-М.Гогом мы довольно долго искали эквивалент французскому словосочетанию "maitise de la qualite" и решили, что наиболее точным по значению является русское "укрошение, приручение качества". В нем наиболее полно отражается смысл нового подхода к управлению системами качества не только продукции, но и услуг, а также персонала.

Статистика и психология - вот важнейшие составляющие нового подхода к этой проблеме. Если новая техника и технологии и могут изменить условия жизни, то изменить общество они не в состоянии. Это подвластно только новому мышлению. К сожалению, принять такое новое мышление значительно сложнее, чем новые технологии. Интенсивного повышения квалификации достаточно, чтобы понять и принять новые технологии, однако требуются постоянные и длительные усилия для восприятия нового мышления.

Мы обратились к профессору Жан-Мари Гогу с просьбой продолжить дискуссию, изложить свою точку зрения на поднятую проблему. В результате появились его статьи "Советы инженерам из стран Восточной Европы" и "Парадигма качества".

Первая статья публикуется в настоящем сборнике в нашем переводе, вторая готовится к изданию на английском языке.

О ДЕЙСТВИИ СОСРЕДОТОЧЕННОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА В ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНКЕ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ

Гольцев А.С. (ДонГУ, г. Донецк, Украина)

The task of acting the point heat load on the orthotropic plate with arbitrary heat exchange was solved. The results of investigations are presented.

Рассмотрим тонкую ортотропную пластинку толщиной $2h$, находящуюся в тепловом контакте с внешней средой нулевой температуры. Пластинка нагревается источниками тепла объемной плотности W_0 , которые распределены равномерно по толщине пластинки. Введем безразмерную систему координат x_i ($i = \overline{1,3}$), определенную с точностью до величины h . Тогда уравнения теплопроводности ортотропных пластин, учитывающие конвективный теплообмен по закону Ньютона, будут иметь вид [1]

$$\Delta_\lambda T_1 - \mu_1 T_1 - \mu_2 T_2 = -W_1; \Delta_\lambda T_2 - 3(1 + \mu_1) T_2 - 3\mu_2 T_1 = 0, \quad (1)$$

где

$$\Delta_\lambda = \lambda_1 \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \lambda_2 \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}; \quad W_1(x_1, x_2) = \frac{1}{2\lambda_{33} - 1} \int W_0(x_1, x_2, x_3) dx_3;$$

$$\lambda_1 = \lambda_{11} / \lambda_{33}; \quad \lambda_2 = \lambda_{22} / \lambda_{33}; \quad \mu_{1,2} = (B_i^+ \pm B_i^-) / 2;$$

T_1, T_2 - интегральные характеристики температуры, средняя температура и температурный момент; $B_i^{\pm}$ - критерий Био на поверхностях $x_3 = \pm 1$; $\lambda_{11}, \lambda_{22}, \lambda_{33}$ - главные коэффициенты теплопроводности. Уравнения термоупругости ортотропных пластин с учетом гипотез Кирхгофа-Лява записываются следующим образом [1]:

$$B_1 \frac{\partial^2 U_1}{\partial x_1^2} + B_3 \frac{\partial^2 U_1}{\partial x_2^2} + B_4 \frac{\partial^2 U_2}{\partial x_1 \partial x_2} = \beta_1 \frac{\partial T_1}{\partial x_1};$$

$$B_3 \frac{\partial^2 U_2}{\partial x_1^2} + B_2 \frac{\partial^2 U_2}{\partial x_2^2} + B_4 \frac{\partial^2 U_1}{\partial x_1 \partial x_2} = \beta_2 \frac{\partial T_1}{\partial x_2}; \quad (2)$$

$$D_1 \frac{\partial^4 U_3}{\partial x_1^4} + D_3 \frac{\partial^4 U_3}{\partial x_1^2 \partial x_2^2} + D_2 \frac{\partial^4 U_3}{\partial x_2^4} = -\beta_1^0 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x_1^2} - \beta_2^0 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x_2^2}.$$

Здесь

$$B_1 = \kappa B; \quad B_2 = \kappa^{-1} B; \quad B_3 = 2G; \quad B_4 = \nu_2 B_1 + B_3;$$

$$D_1 = \kappa D; \quad D_2 = \kappa^{-1} D; \quad D_3 = 2(\kappa \nu_2 D + 4D/3); \quad D = B/3;$$

$$\beta_i = 3\beta_i^0 = B_i \chi_i (i=1,2); \quad \chi_1 = \alpha_1 + \nu_2 \alpha_2; \quad \chi_2 = \nu_1 \alpha_1 + \alpha_2;$$

$$B = 2/(1 - \nu_1 \nu_2); \quad G = G_{12}/E; \quad E = \sqrt{E_1 E_2}; \quad \kappa = \sqrt{E_1/E_2};$$

$U_i (i=1,3)$ - перемещения вдоль координатных осей $x_i (i=1,3)$; $E_1, E_2, G_{12}, \nu_1, \nu_2, \alpha_1, \alpha_2$ - модули Юнга, модуль сдвига, коэффициенты Пуассона, температурные коэффициенты линейного расширения для главных направлений. После решения уравнений (2) по известным формулам [1] находятся нормальные и касательные усилия ($N_1, N_2, S \sim Eh$), изгибающие и крутящие моменты ($M_1, M_2, H \sim Eh^2$). Модель сосредоточенного источника тепла реализуется с помощью дельта-функции Дирака

$$W_1(x_1, x_2) = W_1^* \delta(x_1, x_2),$$

где W_1^* - мощность интегрального источника тепла.

Решение найдено методом двумерного интегрального преобразования Фурье. При этом использовалась методика, разработанная для реше-

ния смешанных задач изотропных пластин и оболочек [2]. Выражения для усилий и моментов в полярной системе координат r, φ имеют вид

$$N_i(r, \varphi) = \frac{1}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \cos 2n\varphi \int_0^{\pi/2} \frac{1}{p(\theta)} \left(\frac{n_i(\theta) B_i}{b(\theta)} - \beta_i \right) P_{n1}(r, \theta) \cos 2n\theta d\theta (i=1,2);$$

$$S(r, \varphi) = \frac{4G}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sin 2n\varphi \int_0^{\pi/2} \frac{n_3(\theta)}{p(\theta) b(\theta)} P_{n1}(r, \theta) \sin 2n\theta d\theta;$$

$$M_i(r, \varphi) = \frac{1}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \cos 2n\varphi \int_0^{\pi/2} \frac{1}{p(\theta)} \left(\frac{m_i(\theta) \beta(\theta) D_i}{d(\theta)} - \beta_i^0 \right) P_{n2}(r, \theta) \cos 2n\theta d\theta$$

$$(i=1,2); \quad \varepsilon_0 = 1; \quad \varepsilon_n = 2(n \geq 1);$$

$$H(r, \varphi) = \frac{8G}{3\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sin 2n\varphi \int_0^{\pi/2} \frac{m_3(\theta) \beta(\theta)}{p(\theta) d(\theta)} P_{n2}(r, \theta) \sin 2n\theta d\theta.$$

Здесь

$$P_{n1}(r, \theta) = W_1^* \{F_{n1}(r, \theta) + 3(1 + \mu_1) F_{n2}(r, \theta)\}; \quad P_{n2}(r, \theta) = -3W_1^* \mu_2 F_{n2}(r, \theta);$$

$$F_{n1}(r, \theta) = \{c_1 G_{n,n}(a_1(\theta) r) - c_2 G_{n,n}(a_2(\theta) r)\} / c_3;$$

$$F_{n2}(r, \theta) = \{G_{n,n}(a_2(\theta) r) - G_{n,n}(a_1(\theta) r)\} / c_3;$$

$$n_1(\theta) = e_1 \cos^4 \theta + (e_2 + \nu_2 e_3) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + \nu_2 e_4 \sin^4 \theta;$$

$$n_2(\theta) = \nu_1 e_1 \cos^4 \theta + (\nu_1 e_2 + e_3) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + e_4 \sin^4 \theta;$$

$$n_3(\theta) = \{e_1 + e_3\} \cos^2 \theta + (e_2 + e_4) \sin^2 \theta \cos \theta \sin \theta;$$

$$m_1(\theta) = \cos^2 \theta + \nu_2 \sin^2 \theta; \quad m_2(\theta) = \nu_1 \cos^2 \theta + \sin^2 \theta; \quad m_3(\theta) = \cos \theta \sin \theta;$$

$$\beta(\theta) = \beta_1^0 \cos^2 \theta + \beta_2^0 \sin^2 \theta; \quad p(\theta) = \lambda_1 \cos^2 \theta + \lambda_2 \sin^2 \theta;$$

$$b(\theta) = B_1 B_3 \cos^4 \theta + (B_3^2 + B_1 B_2 - B_4^2) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + B_2 B_3 \sin^4 \theta;$$

$$d(\theta) = D_1 \cos^4 \theta + D_3 \cos^2 \theta \sin^2 \theta + D_2 \sin^4 \theta; \quad a_i(\theta) = \sqrt{c_i / p(\theta)} (i=1,2);$$

$$e_1 = \beta_1 B_3; \quad e_2 = \beta_1 B_2 - \beta_2 B_4; \quad e_3 = \beta_2 B_1 - \beta_1 B_4; \quad e_4 = \beta_2 B_3;$$

$$c_3 = c_1 - c_2; \quad c_{1,2} = \left(3 + 4\mu_1 \mp \sqrt{(3 + 4\mu_1)^2 - 12(\mu_1 + \mu_1^2 - \mu_2^2)} \right) / 2;$$

$G_{n,n}(z)$ - специальная функция, введенная в работе [2].

Численные исследования проведены для ортотропного материала с параметрами $\kappa=1,935$; $G=0,2067$; $\nu_1=0,2798$; $\alpha_1=0,7 \cdot 10^{-5} K^{-1}$; $\alpha_2=3,8 \cdot 10^{-5} K^{-1}$; $\lambda_1=2,306$; $\lambda_2=1$ при $W_1^*=1^\circ K$. На рис. 1, 2 представлены зависимости значений усилий и моментов от радиальной координаты r вдоль оси x_2 ($\varphi = \pi/2$). Сплошные линии соответствуют случаю односто-

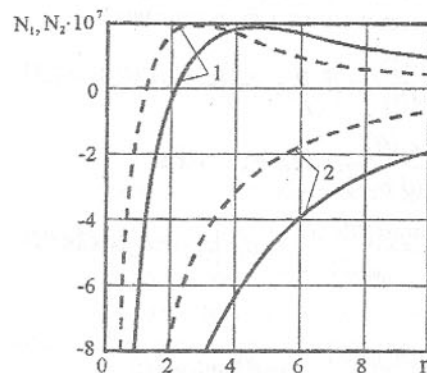


Рис. 1.

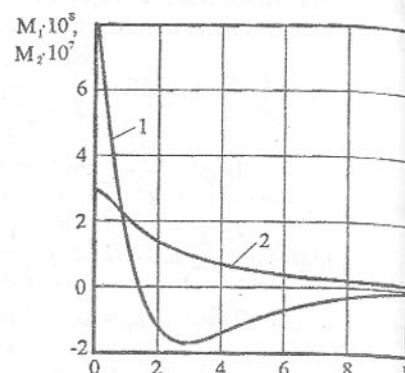


Рис. 2.

онного теплообмена ($Bi^+=1$, $Bi^-=0$), штриховые - симметричного теплообмена ($Bi^+ = Bi^- = 1$). Цифрой 1 обозначены графики для N_1 и M_1 , цифрой 2 - для N_2 и M_2 . Из графиков следует, что характер теплообмена существенно влияет на термоупругое состояние пластинки.

Список литературы: 1. Подстригач Я.С., Коляно Ю.М. Неуставившиеся температурные поля и напряжения в тонких пластинках. - К.: Наук. думка, 1972. - 308с. 2. Хижняк В.К., Шевченко В.П. Смешанные задачи теории пластин и оболочек. Донецк: Из-во Донецк. ун-та, 1980. 128с.

РАССЕЯНИЕ РАЗМЕРОВ ВО ВРЕМЕНИ ПРИ ТОЧЕНИИ

Гордеев А.С., Триш Р.М. (УИПА, г. Харьков, Украина)

Questions of managing the machining of metals quality are considered in the article. It has been found out that dissemination of sizes in time is of wave character. In order to reduce these sizes it is suggested to introduce a compensation wave into the cut zone.

Технология конца XX века рассматривает формообразование как процесс изменения массы, внутренней структуры и формы вещества с точки зрения их взаимодействия между собой и их связи с окружающей средой. Проектирование технологических процессов при таком подходе требует учета изменения различных факторов во времени и пространстве; факторов в большинстве своем имеющих различную физическую природу и образующих неоднородные среды. Технологическая система (ТС) со всеми основаниями может быть отнесена к такой среде. Решение задач не-

однородных сред приводит к необходимости построения обобщающих моделей. Обобщенные модели позволяют определять с большой точностью эффективные характеристики первоначальной среды.

Основной задачей всех процессов формообразования, реализуемых ТС, является задача придания изделию требуемого качества, то есть качество выступает обобщающей характеристикой технологической среды. Изучение характера изменения погрешностей обработки во времени, которые описываются динамическими моделями, позволяет прогнозировать выходное качество и решать задачи управления этим параметром в процессе формообразования.

Изучение характера рассеяния размеров во времени проводилось на АО "АВТРАМАТ" (г. Харьков) при обработке поршней ДВС. Изучалась точность обработки при продольном точении наружных цилиндрических поверхностей. Информация о ходе технологического процесса была представлена 30 реализациями процесса, каждая из которых содержала 50 измерений. Измерения выполнялись индикаторной скобой с ценой деления 0.002 мм. В качестве режущего инструмента использовался эльборовый резец. Графически результаты экспериментов были представлены в виде

точечных диаграмм.

Анализ диаграмм показал, что процесс рассеяния размеров во времени можно считать стационарным случайным процессом (дрейф центров группирования незначителен и не имеет ярко выраженной направленности) (рис.1).

Как видно из рис. 1 колебания размеров являются случайными и не линейными. Если рассмотреть значения центров группирования расположенных в порядке их получения ($\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i$), то картина качественно меняется. Колебание размеров в этом случае характеризуется резонансной волной (рис.2). Данная кривая является кусочно-монотонной функцией, имеет верхнюю $x^{(m)}$ и нижнюю $x^{(k)}$ асимптоты и описывается системой уравнений

$$f(n) = \begin{cases} n^2 \sin \frac{1}{\bar{x}_i} + n, n \neq 0 \\ 0, n = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Для стационарных случайных процессов (частный случай) угол направления волны ρ равен нулю.

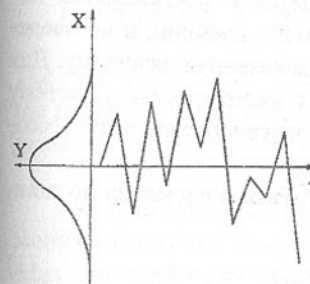


Рис.1. Точечная диаграмма рассеяния размеров во времени.

характеризуется резонансной волной (рис.2). Данная кривая является кусочно-монотонной функцией, имеет верхнюю $x^{(m)}$ и нижнюю $x^{(k)}$ асимптоты и описывается системой уравнений

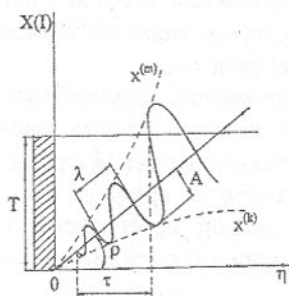


Рис.2. Характеристика технологической волны.

плотности $S_x(\omega)$ составило 0.083 мкм. Суммарное среднее квадратическое отклонение S_x равно 3.95 мкм. при общей дисперсии $D_x=16$ мкм. Дисперсия случайной составляющей составила

$$D_z = 2\pi S_x(\omega) D_x = 8 \text{ мкм.}, \quad (2)$$

что соответствует 50% общей дисперсии.

Управление точностью обработки заключается в предсказании погрешности обработки, ожидаемой в данный момент времени, и во введении коррекции в положение инструмента на предсказанную величину. Для коррекции положения инструмента предлагается вмонтировать в систему управления перемещением рабочего органа станка генератора частот, создающего компенсационную гармоническую волну.

Амплитуда компенсационной волны может быть определена по зависимости:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}, \quad (3)$$

где A - амплитуда итоговой волны; A_1 - амплитуда исходной волны; A_2 - амплитуда компенсационной волны; φ_1, φ_2 - фазовые состояния соответствующих волн.

Амплитуда компенсационной гармонической волны должна быть такой, чтобы амплитуда итоговой волны была наименьшей, а в идеале стремилась к нулю. Сдвиг волн A_1 и A_2 по фазе относительно друг друга составляет $\varphi_2 = \frac{\pi}{2}$.

Уравнение гармонической компенсационной волны имеет вид

$$S_A = A \cos\left(\frac{\pi(3t - 2 + 2\tau)}{3\tau}\right), \quad (4)$$

где τ - такт выпуска деталей, мин.; t - время существования волны, мин.; A - амплитуда, мм.

По статистическим данным, полученным в ходе описываемого эксперимента, методом компьютерного перебора было получено значение амплитуды компенсационной волны для гидрокопировального станка модели 1Н713 при $\tau=1.47$ мин. Она описывается следующим уравнением

$$S_A = 7.6 \times 10^{-3} \cos(2.14t + 0.67), (5)$$

Как показывают расчеты положение компенсирующей волны позволит уменьшить поле рассеяния размеров на 30-40 %.

Список литературы: 1. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. - Л.: Машиностроение. Ленингр.отд-ние, 1982. - 184с. 2. Шахалис В.В. Моделирование технологических процессов. - М.: Машиностроение, 1993. - 136с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

Горкуша А.Е., Гуня А.П., Гусев В.В. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The friction units hydrodynamic pressures measuring methods are examined in the paper. The controller design which makes it possible record hydrodynamic pressures without expensive strain increasing facilities is proposed.

В практике экспериментальных исследований подшипников скольжения важное место занимает измерение распределения гидродинамических давлений в рабочей зоне, позволяющее с высокой точностью определять ее протяженность, а также максимальные и средние нагрузки.

Способы измерения гидродинамических давлений, разработанные Снеговским Ф.П. и Зоммером Э.Ф. [1] получили широкое распространение в практике экспериментальных исследований благодаря своей простоте и надежности.

В качестве преобразователя давлений в основном использовались проволоочные датчики сопротивления. Отличаясь большими габаритами (диаметр чувствительного элемента 12 мм), они требовали применения сложной дорогостоящей тензоусилительной аппаратуры, что приводило к значительным погрешностям измерения, связанных с большой площадью рабочей поверхности датчика и повышенной погрешностью лампового усилителя [2]. Для устранения этих недостатков была разработана конструкция датчика, показанная на рис. 1.

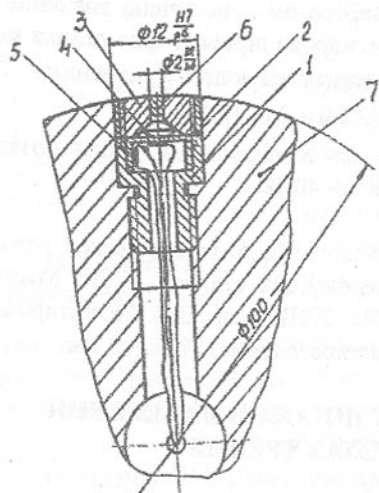


Рис. 1. Конструкция датчика измерения давления с полупроводниковым тензорезистором Ю12А-55.

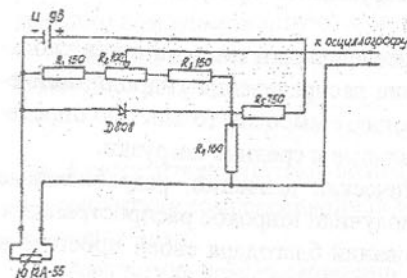


Рис. 2. Схема измерительного моста. передавалось на чувствительный элемент (дно стакана 2) через плунжер 6, наружная поверхность которого заделана заподлицо с валом 7, а внутренняя, выполненная в форме сферической головки, упиралась в наружную стенку дна стакана.

Диаметр чувствительного элемента удалось уменьшить в 6 раз, что значительно снизило погрешность измерения величины давления, связанную с усреднением. Датчик состоит из корпуса 1, в отверстие которого помещен стакан 2, изготовленный из стали 60С2, который поджат ко дну корпуса гайкой 3. На внутренних поверхностях стакана наклеен полумост в виде полупроводниковых тензорезисторов Ю12А-55 с электрическим сопротивлением 520 Ом и базой 5 мм: на плоскость - рабочий 4, а на цилиндрическую поверхность - компенсационный 5. Толщина дна стакана составляла 0,5 мм. Давление, возникающее в слое смазки подшипника,

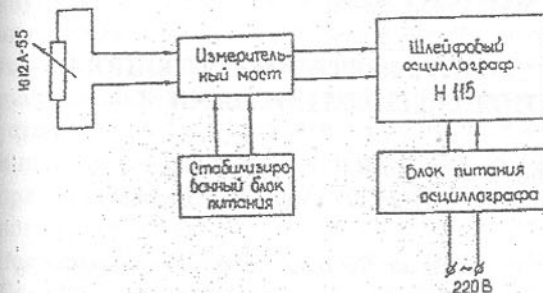


Рис. 3. Блок схема измерения давления.

при работе преобразователя датчиков со стандартной тензометрической аппаратурой 8АНЧ-7М обнаружилась нестабильность положения луча гальванометра на экране осциллографа [3]. Для обеспечения нормальной работы преобразователя был разработан и изготовлен измерительный мост на базе стабилитрона Д808, схема которого приведена на рис. 2, а блок схема измерения давлений в подшипнике - на рис. 3. При возникновении избыточного давления на плунжере 6 (рис. 1) происходит рассогласование измерительного полумоста из-за изменения сопротивления кремниевого тензорезистора Ю-12А-55 под воздействием упругих деформаций чувствительного элемента (дно стакана 2). Питание моста осуществлялось стабилизированным напряжением 9 вольт.

Использование стабилитрона Д-808 в измерительной схеме моста обеспечивает гашение избыточного напряжения на резисторе R5. Резистором R2 производилась балансировка плечей моста. Под воздействием усилия изменяется сопротивление тензорезистора и происходит разбалансировка моста, избыточное напряжение которого поступает на гальванометр осциллографа, вызывая отклонения луча. Такая измерительная схема обеспечивает надежность работы, высокую точность и не требует обязательного применения дорогостоящей аппаратуры. Погрешность измерений давлений, включающая погрешность образцового манометра, тензорезисторов (разброс чувствительности), осциллографа, нагружающего устройства, тарифовочных кривых и осциллограмм, составила 3%, что вполне приемлемо при экспериментальном исследовании реальных подшипников скольжения жидкостного трения.

Список литературы: 1. А.С. № 106637 СССР. Способ замера гидродинамических давлений, развивающихся в масляном слое трущихся поверхностей/ Снеговский Ф.П., Зоммер Э.Ф./ опубл. в Б.И. №5, 1957. 2. Снеговский Ф.П. Опоры скольжения тяжелых машин.- М.: Машиностроение, 1969.-223с. 3. Снеговский Ф.П., Горкуша А.Е., Гуня А.П. Непрерыв-

ное измерение давлений и толщин смазочного слоя в узлах трения.-В кн.: Детали машин. К.: Техника, №41, 1985.С.93-96.

О ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ ТОНКОСТЕННОГО ВКЛАДЫША С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Горкуша А.Е., Стеблянка В.Г., Пикин В.А.

(ДонГТУ, ДГКИ, г. Донецк, "ЭНЕРГОРЕМОНТ", г. Луганск)

The given work presents testing results as for operational characteristics of metalphthorplast slide bearings.

В машиностроении, как отечественном, так и зарубежном широкое развитие получили подшипники из многослойного комбинированного материала, в том числе металлофторопластовой ленты, из-за простой технологии массового производства и их высоких эксплуатационных свойств.

Исследования металлофторопластовых подшипников, показали возможность использования их взамен бронзовых и баббитовых с сохранением, а в некоторых случаях и увеличением их срока службы в широком диапазоне частот вращения и нагрузок в режиме жидкостного трения.

Бронзофторопластовый материал, полученный спеканием оловянистой бронзы, нанесенный на стальную основу вкладыша, с последующей пропиткой фторопластом, обладает высокой несущей способностью при смазывании маловязкими жидкостями, включая воду, что в ряде случаев улучшает экологическое состояние окружающей среды. Небольшая толщина полимерного покрытия (0,3...0,4мм) способствует хорошему отводу тепла в корпус и окружающую среду, что улучшает эксплуатационные показатели подшипника в сравнении с баббитовым и бронзовым антифрикционным материалом [1].

С целью определения возможности использования вкладышей, изготовленных из металлофторопластовой ленты методом холодного прессования, были проведены сравнительные испытания подшипников с баббитовым антифрикционным слоем и металлофторопластовых в зависимости от скорости скольжения и нагрузки.

Исследования выполнялись на специальном стенде Донецкого государственного технического университета, Стенд, оснастка и аппаратура позволяли определить все основные рабочие параметры подшипников, необходимые для анализа и объективной оценки их работоспособности. В соответствии с методикой экспериментальных исследований разработаны и изготовлены модели опытных подшипников из баббитового и металло-

фторопластового антифрикционного материала. Параметр шероховатости внутренней поверхности баббитовой поверхности R_a был равен 1,25 мкм, а внутренняя поверхность металлофторопластового подшипника не обрабатывалась. Скорости скольжения и нагрузки соответствовали подшипникам шпиндельных узлов металлорежущих станков, торгового оборудования, установок средств пылеподавления, энергетическим машинам с кольцевой и принудительной смазкой, которые находились в диапазоне от 2...12 м/с, при нагрузках $P_{ср}=0,63...3$ МПа, т.е. когда соблюдались условия жидкостного трения. Известно, что несущая способность металлофторопластовых подшипников зависит от толщины верхней полимерной прослойки [1]. Для корректировки данного слоя необходимо определить влияние мягкого верхнего полимерного покрытия на рабочие параметры подшипника.

Учитывая, что модуль упругости при сжатии фторопластовой композиции приработочного слоя значительно меньше, чем у баббита и бронзы, то у металлофторопластовых подшипниках значительно лучшее прилегание трущихся поверхностей по сравнению с металлическими и уменьшается угол α масляного клина в плоском зазоре, что ведет к увеличению h_{min} .

Испытания металлических и металлофторопластовых подшипников с определением величины зазора показали сходный характер в численной величине минимальной толщины смазочного слоя (h_{min}) до 12 м/с. Однако, минимальная толщина смазочного слоя (h_{min}) у металлофторопластового подшипника в среднем в 1,5 раза выше, чем у баббитового. Эта разница становится более очевидной с увеличением скорости скольжения, когда прирост толщины слоя у баббитового подшипника приостанавливается, а у металлофторопластового продолжает расти, снижая величину максимальных давлений (P_{max}). Данное явление можно объяснить тем, что с ростом скорости скольжения увеличивается протяженность рабочей зоны в 1,5...1,7 раза в сравнении с баббитовым подшипником за счет гидродинамического эффекта, который согласно [2] создается большей податливостью верхнего слоя и уменьшением угла α масляного клина.

Использование подшипников с тонкостенными вкладышами в узлах трения позволяет:

- увеличить в 3...5 раз срок службы подшипников;
- сохранить высокие антифрикционные свойства при снижении качества смазки;
- иметь высокие виброгасящие свойства и бесшумность в процессе работы;
- снизить трудоемкость ремонта изделий в 20 и более раз в сравнении с баббитом;

- снизить в 5...6 раз затраты на техническое обслуживание подшипниковых узлов технологического оборудования.

Список литературы: 1. Воронцов П.А., Семенов А.П., Кацура А.А. Об изнашивании металлофторопластовых подшипников в гидродинамических опорах скольжения высокооборотных машин. - Трение и износ. Т.12.1991, С.56-62. 2. Розенберг Ю.А. Влияние смазочных масел на долговечность и надежность деталей машин. М.: Машиностроение, 1970. - 313с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НЕЖЕСТКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ИМПУЛЬСНОЙ МИКРО - ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Горленко А.О., Сухарев С.О.
(БГТУ, АО НИИ "Изотерм", г. Брянск, Россия)

This article is devoted to items of technological ensuring of quality and longevity of unhard cylindrical details by the method of impulse mikro-electromechanical treatment.

Проблема обеспечения износостойкости нежестких цилиндрических деталей типа длинных ступенчатых валов, ходовых валов станков, нежестких цилиндрических направляющих качения и т. д. продолжает оставаться актуальной задачей, увязывающейся с необходимостью повышения качества, надежности и конкуренции продукции. Решение этой задачи, в частности при работе в условиях контактного взаимодействия, связывают с физико-механическим состоянием поверхностных слоёв сопряженных деталей, их качественными характеристиками (отклонением формы, волнистостью, шероховатостью, микротвердостью, глубиной упрочнения, остаточными напряжениями и др.), называемыми параметрами состояния поверхностного слоя. Они являются следствием и зависят от технологических методов формирования поверхностных структур, влияния технологической наследственности.

Важнейшими методами формирования параметров состояния поверхностных слоёв нежестких цилиндрических деталей с целью повышения их износостойкости являются упрочняющие технологии. Одним из путей технологического воздействия на поверхностный слой является применение комбинированной обработки, соединяющей преимущества упрочняющей и отделочной обработок. При этом на стадии упрочняющей обработки формируются необходимые физико-механические свойства по-

верхностных слоёв, а на стадии отделочной обработки - необходимые геометрические параметры качества.

В этой связи предпочтительно применение импульсного электро-механического упрочнения, основанного на одновременном термосиловом воздействии на поверхность обрабатываемых деталей, в сочетании с лепестковым шлифованием. Это приводит к изменению физико-механических и геометрических показателей поверхностного слоя и, как следствие, к повышению эксплуатационных характеристик нежестких цилиндрических деталей.

В настоящее время электро-механическая обработка проводится, в основном, с использованием морально устаревших установок и приборов, значительно ограничивающих возможности и эффективность исследований. Поэтому для дальнейшего совершенствования импульсной ЭМО перспективным является переход к реализации принципов импульсной микро-электро-механической обработки с применением новых аппаратных средств. Для решения данной задачи была изготовлена установка для микро-ЭМО, основными принципами при разработке которой являлись: электробезопасность, низкая материалоемкость, экономия электроэнергии, мобильность и удобство в эксплуатации, широкий диапазон регулирования силы тока и продолжительности импульсов и пауз. Установка представляет собой мобильный автономный комплекс, отличительными особенностями и преимуществами которого являются:

- малый (30 - 50 мм) диаметр роликов, позволяющий обрабатывать практически все типоразмеры деталей и получать высокую плотность тока в месте контакта;
- отказ от трансформаторной схемы и применение вместо неё схемы на тиристорных преобразователях, что значительно снижает массу устройства и его стоимость;
- применение высокочастотных преобразователей для минимизации габаритов электрического блока;
- конструктивное исполнение в мобильном варианте (устройство переносное), позволяющее эксплуатировать установку с различным технологическим оборудованием (на разных участках производства);
- возможность использования легирующих обмазок для получения химико-термического эффекта при микро-ЭМО;
- универсальность головки, быстросменные ролики с возможностью переналадки на различные типы деталей;
- возможность получения нового микрорельефа поверхности регулярной структуры без доработок технологического оборудования (с целью уменьшения скорости вращения) и другие.

В целях реализации одной из задач совершенствования импульсного ЭМО был проведен поиск соответствующего осуществляемым процессам материала инструмента, являющегося наиболее критичным элементом технологической установки, работающим в жестких условиях - высоких температурных и силовых нагрузках. При этом необходима высокая электрическая проводимость материала и достаточная износостойкость контактной поверхности.

Для обработки нежестких цилиндрических деталей обычная оснастка является неприемлемой ввиду упругих отжатию заготовки, что может привести к ухудшению параметров состояния поверхностного слоя. В связи с этим было предложено в качестве оснастки использовать приспособление, напоминающее люнет. В нем закреплены три подпружиненных, симметрично расположенных ролика, к которым подводится электрический ток. Это позволяет, во-первых, избежать деформации нежестких цилиндрических деталей в процессе импульсной микро-ЭМО, а, во-вторых, повысить производительность процесса за счет трехзаходной схемы упрочнения, т. к. в продольном сечении контактные поверхности роликов смещены друг относительно друга.

Для нежестких цилиндрических деталей с высокими требованиями к качеству поверхности типа направляющих качения после импульсной микро-электрохимической обработки необходимо производить шлифование упрочненных поверхностей лепестковыми кругами. При этом практически не изменяется глубина упрочнения и формируются геометрические параметры поверхностного слоя.

В целях достижения требуемых показателей износостойкости нежестких цилиндрических деталей на основе проведения экспериментальных исследований необходимым является установление функциональной взаимосвязи между эксплуатационными показателями, параметрами качества поверхностных слоев и режимами обработки. Научно обоснованный выбор и нормирование режимов упрочняющей и отделочной обработок может осуществляться на основе математического моделирования процесса формирования состояния поверхностного слоя и эксплуатационных свойств деталей в процессе импульсной микро-электрохимической обработки и лепесткового шлифования упрочненных поверхностей.

Список литературы: 1. Сулов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. - М.: "Машиностроение", 1987. - 208 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЛИНИИ ЗАЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСНО-РЕЕЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Городец И.А., Новикова О.Н., Белоконов О.М.
(ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The problem of optimization of engagement line of the batten gearing had been considered in this article. The work of the friction force had been choose as an optimization criterion. Under the assumption made, it had been worked out the program for obtaining the optimum profile of gear-wheel and batten of open gear transmission.

В настоящее время колесно-реечные передачи широко применяются в качестве исполнительных механизмов многих машин. Одной из актуальных задач дальнейшего совершенствования передач является повышение их нагрузочной способности. Вместе с тем, в процессе эксплуатации машин происходит износ зубьев передачи, что приводит к ухудшению силовых и кинематических характеристик механизма, снижению КПД зацепления, нагрузочной способности колесно-реечной передачи.

С целью увеличения нагрузочной способности колесно-реечных передач авторами была определена энергетически оптимальная линия зацепления передачи. В качестве критерия оптимизации была выбрана работа сил трения. При расчетах были сделаны следующие допущения: потери мощности от перекачивания профилей зубьев передачи пренебрежимо малы, по сравнению с потерями при скольжении; коэффициент трения скольжения мало зависит от скорости скольжения и равен $f = 0,3$; податливость зубьев элементов движителя незначима, флуктуации момента, реализуемого зубчатым колесом, отсутствуют; поле допуска межцентрового расстояния A_w и шага зубьев рейки P_r , возникающие в процессе изготовления и эксплуатации, находятся в пределах 3% от номинальной их величины.

Аналитически была определена для однопарного зацепления зубьев колесно-реечной передачи оптимальная линия зацепления.

Для нахождения оптимального профиля зубьев колеса и рейки была разработана математическая модель. По специально разработанным программам на персональной ЭВМ был построен оптимальный профиль колеса и рейки.

Данные теоретических исследований подтверждены результатами эксперимента на натурном стенде.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СБОРНЫМИ ДИСКОВЫМИ ФРЕЗАМИ, ОСНАЩЕННЫМИ СМЕННЫМИ МНОГОГРАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Горохов А.А., Емельянов С.Г. (КГТУ, г. Курск, Россия)

It's the consideration of the geometrical model of the formation of the surfaces by the combined disk cutters. The logical connution of the parameters is expressed by the folmula of the tool.

Режущий инструмент при формировании поверхности на заготовке выполняет одновременно две функции: придает поверхности требуемую форму и послойно срезает с нее припуск. Первая функция касается вопросов контакта инструмента с формируемой поверхностью, вторая функция - вопросов его контакта с припуском. На основе принципов общей геометрической теории формирования поверхностей режущими инструментами [1], в пределах выполнения инструментом обеих функций определим и формализуем логическую и аналитическую связь между параметрами инструмента, охватывающую способы формирования поверхностей, виды, типы и конструкцию сборной дисковой фрезы, оснащенной сменными многогранными пластинами.

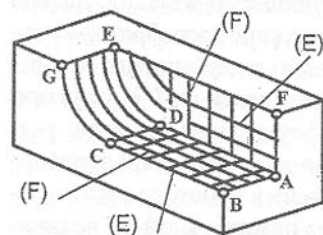


Рис. 1. Параметры фрезеруемой поверхности.

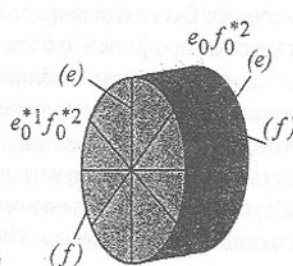


Рис. 2. Производящие поверхности сборных фрез.

Сборную дисковую фрезу будем рассматривать как комбинированный инструмент.

При фрезеровании дисковой фрезой будет формироваться две поверхности - первая

расположена вдоль дна обрабатываемого паза, вторая вдоль стенки паза (см. рис.1). Дисковая фреза будет иметь главное движение резания D_f и движение D_S подачи инструмента для участка ABCD (рис.1.) по направляющей (F) формируемой поверхности; для участка ADEF - движение подачи D_Σ по образующей (E) формируемой поверхности; для участка CDEG - движение подачи D_i , то есть движение подачи сближения инстру-

мента с формируемой поверхностью (E, F), после достижения их контакта. Главное движение инструмента будет обеспечивать послойное срезание припуска с формируемой поверхности, а движения подачи будут обеспечивать придание формируемой поверхности требуемой формы, при этом осуществляя контакт инструмента последовательно со всеми точками формируемой поверхности. Движения D_S , D_Σ осуществляются при условии контакта инструмента с формируемой поверхностью и являются зависимыми от одного из параметров формируемой поверхности (E, F) и будут иметь вид - S_1^{*1}, Σ_1^{*1} .

В общем случае у дисковой фрезы будет три производящих поверхности (рис.2); одна - в виде цилиндрической поверхности $e_0 f_0^{*2}$ и две поверхности вращения с образующей в виде прямой линии - $e_0^{*1} f_0^{*2}$, перпендикулярной оси вращения (обработка паза трехсторонней фрезой). В частных случаях может быть одна производящая поверхность в виде цилиндрической поверхности (если ширина обрабатываемой детали меньше ширины дисковой фрезы) или две другие - в виде цилиндрической поверхности и поверхности вращения с образующей в виде прямой линии, перпендикулярной оси вращения (фрезерование уступов).

Суммарное движение инструмента будем обозначать - D_v . При этом одно и то же движение подачи D_v для разных участков формируемой поверхности используется как разные движения подачи. При фрезеровании дисковой фрезой для участка ABCD формируемой поверхности (см. рис.1) движение D_v является движением подачи D_S , для участка ADEF - движением подачи D_Σ , для участка CDEG - движением подачи D_i . Если инструменту придать вращательное главное движение $D_{f^{*2}}$, то на первом

участке он будет осуществлять фасонное фрезерование, на втором - копировальное (построчное) протягивание, на третьем - фасонное протягивание.

Определим формулу вида инструмента как совокупность формулы способа формирования поверхности, формулы вида производящей поверхности и формулы вида производящей линии (линий).

Формула типа режущего инструмента описывается в виде конструктивной подачи - S_k . Формулу конструкции лезвия сменной неперетачиваемой пластины представим как вариант сочетания независимых геометрических параметров поверхностей лезвия - $e_\gamma e_\alpha$.

Форма режущей кромки (K) у дисковой фрезы предопределяется параметром K_0 производящей линии, т.е. является зависимой (K_1). Формула вида схемы срезания припуска определяется перечнем параметров движений инструмента в порядке их очередности (рис.3).

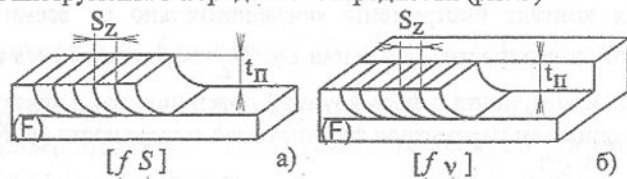


Рис.3. Виды схем срезания припуска.

Формула сборной дисковой фрезы, оснащенной СМП, в общем случае имеет вид:

$$\left\{ f_2^{*2} v^* (S_1^{*1}) \cdot 0 \right\}_{ABCD} \left[e_0 f_0^{*2} [K'_{01}] \right] + \left\{ f_2^{*2} v^* (\Sigma_1^{*1}) \cdot 0 \right\}_{ADEF} \left[e_0^* f_0^{*2} [K'_{02}] \right] + \\ + \left\{ f_1^{*2} \cdot 0 \right\}_{CDEG} \left[e_0 f_0^{*2} [K'_{01}] \right] \cdot [S_k] \cdot [K_1 \cdot e_\gamma e_\alpha] \cdot [f v]$$

В частном случае, когда ширина фрезеруемой детали меньше ширины фрезы (односторонняя фреза), формула инструмента имеет вид:

$$\left\{ f_2^{*2} v^* (S_1^{*1}) \cdot 0 \right\}_{ABCD} \left[e_0 f_0^{*2} [K'_{01}] \right] + \left\{ f_1^{*2} \cdot 0 \right\}_{CDEG} \left[e_0 f_0^{*2} [K'_{01}] \right] \cdot [S_k] \cdot [K_1 \cdot e_\gamma e_\alpha] \cdot [f S].$$

Список литературы: 1. Лашнев С.И, Борисов А.Н., Емельянов С.Г. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами: Монография / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1997. 391 с.

ЗАСТОСУВАННЯ ПРУЖНОГО ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА З ПРОГРАМОВАНИМ РОЗМІЩЕННЯМ АБРАЗИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Грінер І.М., Морозов В.О., Мазуренко О.Ю.
(УАД, м. Львів, Україна)

It is described the construction of the plate grinding instrument with the programmed accommodation on a working surface of abrasive elements, an

intervals between of which are fill up with an elastic mass of substance. It is showed that the programmed accommodation provides for favorable conditions of machining and raises capacity for work of instrument.

Одним із ефективних напрямків при шліфуванні різних матеріалів є використання шліфувальних стрічок з програмованим розміщенням робочого шару, який дає можливість створити оптимальні умови для обробки [1,2]. Однак шліфувальні стрічки мають суттєвий недолік – шліфувальний матеріал розміщений на робочій поверхні в один шар, товщина якого визначається розміром абразивного зерна, тому такий інструмент має обмежені знос і стійкість. Цей недолік відсутній у пружному інструменті з програмованим розміщенням на робочій поверхні абразивних елементів (ПРАЕ).

Пружні круги – інструменти, конструкція і властивості яких допускають зміщення елементів під час роботи від статичного положення в напрямку нормальної складової сили різання. Такі інструменти не встановлюються на певну глибину різання, необхідні умови для роботи створюються, за рахунок їх притиску до робочої поверхні. При цьому деформується обід інструмента, що дає можливість збільшити робочу площу контакту круга з поверхнею заготовки. Ця деформація зберігається і під час роботи інструмента, хоча її величину можна змінювати. Розміри, форма зерен і кількість елементів в межах зони контакту повинні

забезпечувати максимальну продуктивність і формувати необхідну шорсткість оброблюваної поверхні.

На робочій поверхні інструмента (рис.1) за певною програмою розміщуються абразивні елементи 1 з проміжками, які заповнюються еластичним композитом 2, що не приймає участі в різанні і є проміжною пружною ланкою між елементами. Абразивні елементи з'єднуються з маточиною 3 інструмента стяжками 4. Конструкція інструмента нагадує колесо зі спицями, які призначені для

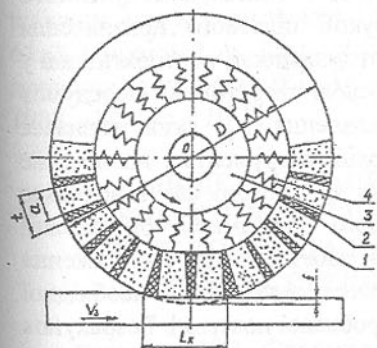


Рис. 1. Схема шліфування пружним інструментом з ПРАЕ.

передачі крутного моменту від маточини до абразивного пружного обода, в якого пружні абразивні елементи переміщуються в радіальному напрямку за рахунок еластичності стяжок. На стадії проєктування конструкції інструмента закладена можливість керування шорсткістю

обробленої поверхні за рахунок забезпечення певного фракційного складу і геометрії шліфматеріалу та розміщення за програмою абразивних елементів на поверхні круга.

Пружний інструмент з ПРАЕ наділений властивостями шліфувальної стрічки і дає можливість врахувати оптимальні режими обробки, підвищити ріжучу здатність, розмістити необхідну кількість абразивних елементів і створити їм сприятливі умови роботи, збільшити кількість ріжучих зерен на поверхні інструмента, зменшити засалювання робочої поверхні, зменшити сили, температуру і потужність різання. Закріплення абразивних елементів в пружному середовищі змінює характер його взаємодії з оброблюваним матеріалом, що дозволяє: амортизувати удар елементів об матеріал, підвищуючи цим його стійкість; усунути різновисотність ріжучих профілей, тобто примусити працювати одночасно більшу кількість зерен; створити умови для самоочищення інструмента; збільшити час взаємодії зерен з оброблюваною поверхнею; врахувати оброблюваність різних матеріалів. Сумарна дія всіх цих переваг сприяє підвищенню продуктивності та якості обробки.

Програмоване розташування абразивних елементів характеризується довжиною абразивного елемента a та кроком t . Їх різниця визначає величину проміжка, заповненого безабразивним пружним матеріалом і призначеного для видалення продуктів обробки і зносу. Параметри a і t між собою пов'язані умовами обробки і на їх величину впливає напружено-деформований стан в зоні мікрорізання і величина допустимого зносу зерна [3]. Для розрахунку конструкції цільового призначення необхідно встановити загальний критерій оптимальності, перспективний у використанні для більшості операцій. На основі теоретичних передумов [1,2], таким критерієм є коефіцієнт заповнення K_z , який визначає розміщення абразивних елементів на поверхні інструмента і впливає не лише на його конструктивні і технологічні параметри, але і враховує витрати на виготовлення. Тому, основним напрямком оптимізації конструкції є розрахунок K_z , який повинен забезпечувати знаходження раціональної кількості зерен в зоні контакту, виходячи з необхідної продуктивності інструмента і шорсткості обробленої поверхні. Розрахунок інструмента проводиться в залежності від коефіцієнта заповнення K_z , який визначається за формулою:

$$K_z = K_{zn} K_p V_{nk} / V_{no}$$

де K_{zn} – коефіцієнт запасу (1 ... 1.15); K_p – коефіцієнт, який враховує перекриття зон різання зерен (0.5...0.1); V_{nk} – загальний об'єм, який знімається за один оберт круга всіма його умовно ріжучими зернами, мм³,

V_{no} – загальний об'єм, який знімається з заготовки за один оберт круга, мм³. K_z повинен знаходитись в межах 0.5...0.8.

Довжина зони контакту інструмента з заготовкою визначається за формулою:

$$L_k = (1 \pm V_z / V_k) \sqrt{2Df}$$

де V_z , V_k – швидкість заготовки і круга відповідно, м/с; D – діаметр інструмента, мм; f – величина деформації інструмента, мм.

Для визначення параметрів абразивних елементів на поверхні круга, рельєфу поверхні деталі після обробки в заданих режимах, розроблено комплект програм на IBM-сумісних ПЕОМ-486, в середовищі Windows в прикладному пакеті Microsoft Excel 5.0.

Таким чином, застосування пружного інструменту показало, що розміщення абразивних елементів за програмою дає можливість врахувати особливості шліфування і оптимальні режими обробки, розмістити необхідну кількість зерен в елементі, зекономити шліфматеріали за рахунок зменшення кількості непрацюючих зерен, створити сприятливі умови для обробки, зменшити температуру і потужність різання, що свідчить про перспективність такого інструмента.

Список літератури: 1. Морозов В.А. Ресурсосберегающий инструмент // Машиностроитель.-1988.- №6.- с.17-18. 2. Морозов В.А. Оптимизация контактного взаимодействия шкурки с рельефным рабочим слоем и заготовки // Вестник машиностроения.-1990.- №1.- с.59-62. 3. Морозов В.А., Ладик В.А. Подсистема автоматизированного расчета процесса микрорезания // Автоматизация производственных процессов. - 1988. - №27 - с. 110-114.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛАНЕТАРНОЙ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ С ЦЕЛЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЯТЕН КОНТАКТА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДА ИЗНОСА В ЯЧЕЙКАХ ПРЕЦЕССИОННОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Громыко П.Н., Стаценко А.А., Пусков О.М. (ММИ, г. Могилев, Республика Беларусь)

The modeling of operation of planetary precessional transmission in order to determine the contact areas and type of wearing in the cells of the precessional gearing has been considered in this paper. A method for determination the contact areas has been presented and a program for calculation of very has been developed.

В Могилевском машиностроительном институте проводятся исследования планетарной прецессионной передачи. Был проведен большой объем исследований. Однако в связи со сложностью структуры и многопарностью зацепления часто возникали трудности с определением силовых взаимодействий в системе. В связи с этим возникла необходимость в создании модели, которая позволяла бы моделировать работу прецессионной планетарной передачи с определением пятен контакта. Процесс моделирования осуществлялся с помощью разработанной программы.

Основой для данной программы послужила программа построения теоретических профилей зубчатых колес планетарного прецессионного зацепления. Если базовая программа позволяет только численно определить геометрические параметры колес прецессионного зацепления [1], то разработанная программа позволяет выявить пятна контакта при работе прецессионного зацепления, что является мощным инструментом для дальнейшего исследования планетарной прецессионной передачи, а именно для оценки распределения по зубьям колес контактных напряжений в зацеплении планетарной прецессионной передачи, а также для изучения ресурса работы передачи с точки зрения исследования износов в зацеплении передачи, их степени и скорости.

Кроме построения теоретических профилей зубчатых колес результатом работы базовой программы является также список координат точек, определяющих профиль зуба прецессионного колеса. Данный список служит исходными данными для разработанной программы.

Программа состоит из трех основных модулей. В результате работы первого модуля путем пересчета исходного списка координат образуется список координат точек всех зубьев прецессионного колеса, находящихся во взаимодействии с неподвижным колесом и строится его профиль по пересчитанным координатам.

Второй модуль программы служит для геометрического определения тех точек прецессионного колеса, которые контактируют с зубьями неподвижного колеса.

А в результате осуществления третьего модуля вышеуказанные точки контакта неподвижного и прецессионного непосредственно визуализируются на дисплее монитора.

Следует также отметить, что вышеизложенный алгоритм работы данных модулей был воплощен в программу определения пятен контакта в планетарном прецессионном зацеплении, написанную на языке программирования AUTOLISP системы автоматизированного проектирования AUTOCAD компании AUTODESK, причем процесс визуализации резуль-

татов работы разработанной программы осуществляется в среде системы AUTOCAD.

В результате работы программы была получена модель прецессионного зацепления (рис.1) и пятна контакта (рис.2).

При разработке программы заложена возможность варьирования та-

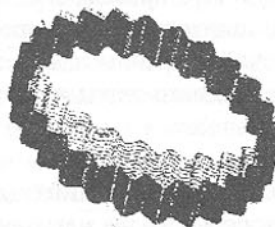


Рис.1. Модель прецессионного зацепления.

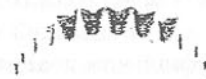


Рис.2. Пятна контакта в прецессионном зацеплении.

кими исходными данными как числа зубьев колес прецессионной зубчатой планетарной передачи, угол профиля зубьев, угол прецессии и др. С помощью изменения этих параметров представляется возможным получение ряда моделей планетарного прецессионного зацепления с целью проведения анализа влияния того или иного параметра на площадь пятна контакта и на распределение контактирующих точек между зубьями. Проведение такого анализа позволяет оптимизировать планетарную зубчатую передачу по ряду параметров.

В результате работы программы получается пространственная модель отображения точек контакта зубьев путем попеременного присвоения различных значений размеру рамки, служащей для геометрического определения контактирующих точек. При этом точки, полученные при разных значениях рамки, отображаются разными цветами, что способствует облегчению визуального анализа пятен контакта, а также численному определению площадей контакта, что используется при анализе силовых взаимодействий в ячейках прецессионного зацепления, при прочностных расчетах планетарной прецессионной передачи и также при теоретическом определении износа в процессе работы планетарной прецессионной передачи.

Анализ полученной модели позволяет сделать вывод о количестве зубьев прецессионного колеса одновременно находящихся во взаимодействии с зубьями неподвижного колеса и о распределении пятен контакта. При исследовании было определено что, от 20 до 30% зубьев прецессионного колеса находится в зацеплении при работе передачи в зависимости от ряда геометрических и конструктивных параметров, что является фак-

тором, определяющим плавность и высокую надежность планетарной прецессионной передачи

Кроме того данная модель позволила определить пятна контакта, а следовательно, и вид износа в зацеплении передачи. Износ происходит по боковым сторонам зубьев прецессионного колеса, что подтверждается экспериментальными исследованиями. В результате проведенных теоретических и практических исследований было подтверждено предположение, что при достижении некоторой критической величины износа значение коэффициента полезного действия падает, однако передача остается работоспособной.

Список литературы: 1. Громыко П.Н. Способы минимизации механических потерь в зацеплении при создании новых видов механических передач//Трение и износ. - 1995. - Т.16 -№3. - С.568-573.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННОГО ИНСТРУМЕНТА

Гузенко В. С., Миранцов С. Л. (ДГМА, г. Краматорск, Украина)
Федоров В. Л. (РУДН, г. Москва, Россия)

The mathematical model of dynamic condition of combined cutting-off tools in cutting process is produced. The conduct of tool in cutting process is described by system of differential equation. The decision of system of differential equation is adduced.

При проектировании сборного металлорежущего инструмента необходимо оценивать динамические характеристики проектируемой конструкции. Наиболее тяжело нагруженными инструментами являются прорезные резцы, работа которых всегда сопровождается наличием значительных колебаний, что оказывает существенное влияние на прочность и стойкость режущей части инструмента [1,2]. Оценку динамических характеристик подобных инструментов можно производить аналитическими методами, построив соответствующую математическую модель.

Динамическая модель представлена трехмассовой системой, элементами которой являются: суппортная группа станка массой m_1 , подсистема режущего инструмента массой m_2 и обрабатываемая на станке деталь массой m_3 .

Суппортная группа станка массой m_1 и жесткостью K_0 , обладает одной поступательной степенью при допущении о достаточно большой жесткости резцедержателя тяжелого станка.

Сборный прорезной резец представляется в виде массы m_2 , относящейся к режущей части и имеющей одну поступательную степень свободы. Под режущей частью резца понимается режущая и опорная (если таковая присутствует в конструкции) пластины и детали механического крепления, связанные с державкой упругой связью K_1 . Перечисленные элементы имеют соизмеримые массы, а следовательно должны иметь близкие частоты и амплитуды колебаний, поэтому они и заменяются одной массой и степенью свободы. При этом жесткости режущей части K_1 рассчитывается как комбинация последовательных, параллельных или последовательно-параллельных (в зависимости от конструкции механического крепления режущей пластинки на державке) соединений упругих характеристик звеньев реального механического крепления.

Режущая часть инструмента связана с обрабатываемой на станке деталью посредством процесса резания. Процесс резания представляется упругим элементом с коэффициентом жесткости K_2 . Величина этого параметра зависит от условий протекания процесса резания, геометрии режущей части инструмента и определяются экспериментальными зависимостями, приведенными в работе [3].

Обрабатываемая на станке деталь массой m_3 , рассматривается абсолютно жесткой, поскольку речь идет об обработке на тяжелых станках. С одной стороны она связана с инструментом, с другой с несущей системой станка посредством упругого элемента K_3 , который является приведенным значением коэффициента жесткости передней бабки токарного станка и центра задней бабки (при обработке детали в центрах).

Математической моделью рассматриваемой системы сборного инструмента является система линейных однородных дифференциальных уравнений, описывающих движение тел системы:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + K_{01} x_1 - K_1 x_2 = 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 + K_{12} x_2 - K_1 x_1 - K_2 x_3 = 0; \\ m_3 \ddot{x}_3 + K_{23} x_3 - K_2 x_2 = 0; \end{cases} \quad (1)$$

где x_1, x_2, x_3 - обобщенные координаты системы, которые определяют упругие перемещения ее элементов.

$$K_{01} = K_0 + K_1; \quad K_{12} = K_1 + K_2; \quad K_{23} = K_2 + K_3;$$

Решение системы уравнений (1) представляет собой выражение:

$$x = \mu_1 r^{(1)} e^{p_1 t} + \mu_2 r^{(2)} e^{p_2 t} + \dots + \mu_6 r^{(6)} e^{p_6 t};$$

где X - матрица столбец решения неоднородной системы дифференциальных уравнений (1);

$p_1, p_2, \dots, p_6$ - комплексные амплитуды колебаний системы, представляющие собой частоты собственных колебаний тел. (определяются из характеристического уравнения);

$r^{(1)}, r^{(2)}, \dots, r^{(6)}$ - нормированные собственные векторы характеристического уравнения однородной системы уравнений;

$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_6$ - произвольные комплексные числа, определяемые начальными условиями колебаний рассматриваемой модели;

Характеристическое уравнение представляет собой выражение:

$$(C - M \cdot p_r) \cdot A = 0;$$

где M - матрица масс системы, элементами которой являются инерционные постоянные;

C - матрица жесткости системы, элементами которой являются упругие постоянные.

$$A = \mu_k r^{(k)}, k = 1, 2, \dots, 6.$$

На рисунке представлено дискретное преобразование Фурье решения математической модели. Модель решалась применительно к обработке на токарном станке с высотой центров 400мм. Анализ полученного решения показывает, что колебания детали и суппортной группы станка происходят с частотами 142Гц и 136Гц, а колебания режущей части инструмента составляют 2316Гц. Полученные результаты решения согласуются с экспериментальными данными.

Список литературы: 1. Теория проектирования инструмента и его информационное обеспечение: маркетинг, квалиметрия, надежность и оптимизация/ Г. Л. Хае, В. С. Гузенко, Л. Г. Хае и др.: Под общ. ред. Г. Л. Хае. - Краматорск: ДГМА, 1994 - 370 с. 2. Хае Г. Л., Гах В. М., Гузенко В. С. и др. Сборный твердосплавный инструмент. - М.: Машиностроение. - 1989. - 256 с. 3. Кудинов В. А. Динамика станков. - М.: Машиностроение, 1967. - 360с.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Гусев Е.Л. (ЯНЦ СО РАН, г. Якутск, Россия)

The problems of optimal synthesis of inhomogeneous structures at wave effect of different physical nature (electromagnetic, acoustic, temperature, elastic) are

considered. It is stated that there is some symmetry in the parameters interrelation in structures with the limiting possibilities of wave field parameters control.

В последние десятилетия значительное внимание уделяется вопросам оптимального проектирования композиционных конструкций при волновых воздействиях различной физической природы (электромагнитных, акустических, температурных, упругих). Распространение нестационарных возмущений в композиционных структурах является объектом изучения многих разделов естествознания, таких как механика, электродинамика, теплофизика и др. Велика роль композиционных структур, применяемых для управления энергетикой волновых процессов. Композиционные структуры применяются в акустике, радиофизике, оптике, солнечной энергетике, космической технике, квантовой электронике, теплофизике. Упругие слоистые среды применяются в качестве фильтров продольных и поперечных волн, для решения задач вибрационной защиты, для создания эффективных демпфирующих устройств. В физике твердого тела значительное внимание уделяется изучению волновых процессов в периодических структурах.

При изучении волновых процессов в композиционных структурах одной из центральных является проблема исследования предельных возможностей неоднородных структур по управлению параметрами волнового поля. Данная проблема заключается в таком выборе структуры композиционной конструкции, при котором ее энергетические характеристики будут наиболее близки к заданным зависимостям. Для исследования потенциальных возможностей композиционных структур по управлению параметрами волнового поля необходимо рассматривать в качестве варьируемых совокупность

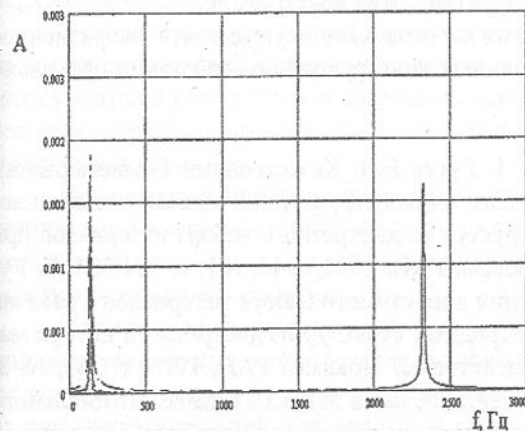


Рис. Дискретное преобразование Фурье динамического состояния сборного тяжелонагруженного инструмента.

всех переменных, определяющих структуру конструкции, а именно:

физические свойства материалов слоев, толщины слоев, число слоев, а также порядок взаимного расположения слоев с различными физическими свойствами в конструкции. При этом часть варьируемых переменных таких, как физические свойства материалов слоев, имеет дискретную область задания, т.к. набор материалов, используемых при проектировании конечен. Поэтому в вариационной постановке рассматриваемые задачи оптимального проектирования могут быть сформулированы как задачи оптимального управления комбинаторного типа специальной структуры с дискретно-непрерывными управляющими параметрами.

Получено качественное описание закономерностей структуры оптимальных конструкций в волновых задачах синтеза. Установлено, что конструкции, реализующие предельные возможности, обладают рядом уникальных свойств своей структуры, отличающих их от множества неоптимальных конструкций. Знание таких свойств позволяет осуществлять эффективное проектирование композиционных конструкций, реализующих предельные возможности, минуя громоздкий полный перебор всех допустимых вариантов.

Разработанная методология, например, позволяет осуществлять предварительный отбор материалов, включение которых в состав конструкции не может приводить к улучшению их характеристик, осуществлять направленный поиск материалов, включение которых в состав композиционной конструкции может привести к существенному улучшению ее свойств. разработана методика, позволяющая предварительно установить качественные особенности структуры этих конструкций.

Разработанная методология позволяет осуществлять направленное конструирование композиционных конструкций со свойствами предельно близкими к требуемым.

Список литературы: 1. Гусев Е.Л. Качественные закономерности взаимосвязи параметров в оптимальных структурах в задачах оптимального синтеза неоднородных структур из дискретного набора материалов при волновых воздействиях// Доклады РАН, 1996, т.346, №3, с. 324-326. 2. Гусев Е.Л. Об априорном сужении допустимого набора материалов в задачах оптимального синтеза неоднородных структур из дискретного набора материалов при волновых воздействиях// Доклады РАН, 1996, т. 349, № 3, с.329-331. 3. Гусев Е.Л. О сужении области поиска в задачах оптимального синтеза слоистых структур с заданным комплексом свойств// Прикладная механика и техническая физика, 1997, т. 38, N 5, с. 129-135. 4. Gusev E.L. On optimization of synthesis of acoustical structures//Acoustical physics, 1997, v. 43, N 2, p. 211-214. 5. Gusev E.L. Qualitative relationship in structures

of optimal design with reference to optimal synthesis of acoustical systems// Acoustical physics, 1997, v. 43, № 5, p. 612-615.

ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОЦЕССА ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ

Гусейнов Г. А. (Аз ТУ, г. Баку, Азербайджан),
Багиров С. А. (Нах ГУ, г. Нахичевань, Азербайджан)

It was determined laws showing change of current size of normal force of cutting on length of processing at internal grinding

Шлифование является процессом массового сверхскоростного микропорознения. Обобщая многочисленные динамические, тепловые и физико-химические явления происходящие в процессе шлифования можно отметить, что взаимодействие абразивного зерна и материала связки с обрабатываемой поверхностью детали, в основном, приводит к диспергированию металла обрабатываемой детали; диспергированию абразивных зерен и материала связки, упруго-пластическому деформированию металла и к трению. Косвенными проявлениями такого взаимодействия являются высокая температура и мгновенно действующие (10^{-4} - 10^{-5}) силы микропорознения, которые в свою очередь играют решающую роль при формировании точности геометрических параметров и физико-механических свойств поверхностного слоя обрабатываемой детали.

При исследовании механизма образования погрешностей очень важным фактором является установление основного уравнения для определения суммарной нормальной силы резания всеми фактически работающими зёрнами в пределах площади контакта и плеча ее приложения относительно опор шпинделя.

Поскольку величина суммарной радиальной силы резания зависит от количества фактически работающих абразивных зерен, следовательно интенсивность микропорознений в зоне контакта так же будет рассеяна по соответствующей закономерности.

При этом можно полагать, что величина равнодействующей суммарной нормальной силы микропорознения и плечо его приложения будут изменяться в зависимости от текущего значения продольной координаты. Характер закономерностей при прямом и обратном ходах будет отличаться друг от друга. Изменение силы резания по длине обработки при соответствующей жесткости вызывает изменения упругих отжатий технологической

системы и тем самым приводит к образованию погрешностей формы в продольных сечениях.

Равнодействующая этих сил в пределах площади контакта будет представлять текущее значение радиальной составляющей силы резания, закономерность изменения которой, представлена системой уравнений для схемы шлифования с исходным контактом.

$$P_{yi} = \begin{cases} \frac{MU\rho}{V} \left[\frac{1-q}{1-q} \frac{X_i^n}{U} + q \frac{X_i^n}{U} \left(\frac{an-U}{U} \right) \right] \sqrt{\left(1 \pm \frac{V}{60 V_K} \right)^2 + \left(\frac{U}{60 V_K} \right)^2} \sqrt{\frac{D dt}{d-D}} & \text{если } 0 \leq X_i \leq H-a \\ \frac{MU\rho}{V} \left[\frac{1-q}{1-q} \frac{X_i^n}{U} + q \frac{X_i^n}{U} \left(\frac{Hn-X_i^n-U}{U} \right) \right] \sqrt{\left(1 \pm \frac{V}{60 V_K} \right)^2 + \left(\frac{U}{60 V_K} \right)^2} \sqrt{\frac{D dt}{d-D}} & \text{если } H-a \leq X_i \leq H \\ \frac{MU\rho}{V} \left(\frac{1-q}{1-q} \right) \sqrt{\left(1 \pm \frac{V}{60 V_K} \right)^2 + \left(\frac{U}{60 V_K} \right)^2} \sqrt{\frac{D dt}{d-D}} & \text{если } H \leq X_i \leq L_1-a+H \\ \frac{MU\rho}{V} \left[\frac{q}{1-q} \frac{n(X_i-L+q)}{U} \left(1-q \frac{H-X_i+L-a}{U} \right) \right] \sqrt{\left(1 \pm \frac{V}{60 V_K} \right)^2 + \left(\frac{U}{60 V_K} \right)^2} \sqrt{\frac{D dt}{d-D}} & \text{если } L-a+H \leq X_i \leq L \end{cases}$$

где

$$M = \frac{60 \cdot V_K \cdot Z_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{n_K}$$

Z_0 - число зерен на 1мм^2 рабочей поверхности круга, K_1 - относительный коэффициент показывающий процент зерен, участвующих в работе, V_K - окружная скорость шлифовального круга в м/сек, D - диаметр отверстия в мм, U - скорость продольного перемещения детали или круга, м/мин, V_d - окружная скорость детали в м/мин, H - высота круга в мм, t - глубина резания в мм, d - диаметр шлифовального круга в мм, ρ - нормальная состав-

ляющая силы микрорезания в Н, L - длина обрабатываемой поверхности в мм, a - величина перебега в мм, q - коэффициент попадания режущих зерен на имеющие срезы при каждой повторной встрече [1], n - частота вращения детали, об/мин, X_i - текущее значение координат по оси ОХ в мм. K_2 - коэффициент полноты контакта поверхности детали с рабочей поверхностью инструмента, зависящей от макрогеометрии, как детали, так и инструмента. K_3 - коэффициент заполнения материалом в пределах срезаемой шероховатости детали [2].

Анализ систем уравнений показывает, что нормальная составляющая силы резания при внутреннем шлифовании зависит от всех элементов режима резания и условий шлифования. Установленные закономерности свидетельствуют о изменении текущей величины нормальной силы резания в зависимости от продольной координаты X . Причем характер изменения на каждой из рассматриваемых схем и участков различен.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно прийти к выводу, что нестабильность упругих отжатий технологической системы происходит, как от изменения текущего значения нормальной составляющей силы резания по длине обработки, так и от изменения плеча ее приложения относительно опор шпинделя станка. Можно утверждать, что между интенсивностью распределения сил микрорезания, их равнодействующей в виде нормальной составляющей силы резания и плечом ее приложения относительно опор шпинделя имеются практически значимые дифференциальные зависимости, которые в конечном итоге определяют изменения упругих отжатий технологической системы.

Список литературы: 1. Лурье Г.Б. Шлифование металлов.- М.: Машиностроение, 1969. 2. Маслов Е.Н. Основы теории шлифования металлов.-М.: Машгиз, 1951

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Гущин В.М. (ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Various types of pneumatic conveying are summarised. The main results of theoretical and experimental research of pneumatic conveying are reviewed consenting plug-flow conveying with secondary air injection, pulse air controller, wave-like plug flow and rotary-vortex movement of air mixtures for transport of loose materials.

Для доставки сыпучих материалов в различных сферах производственной деятельности одним из наиболее перспективных видов является пневматический транспорт.

Подход к созданию нетрадиционных способов пневматического транспорта для перемещения сыпучих материалов, характеризующихся широким спектром физико-механических свойств базируется на исследованиях фазовых состояний и превращений аэросмесей, условий их формирования и сохранения на различных участках транспортного трубопровода. Области нестабильного движения аэросмесей, традиционно считавшиеся нерабочими и аварийными, представляют значительный научный и практический интерес. Движение аэросмесей в транспортном трубопроводе сопровождается сложными процессами, являющимися следствием многообразия комбинаций фаз, структурных и взаимофазных воздействий, своеобразных волновых течений и воздействия дополнительных воздушных или вибрационных импульсов.

Как показали экспериментальные исследования, в трубопроводах круглой формы, при условии их загрузки предварительно флюидизированным сыпучим материалом в виде непрерывного потока, имеет место переход от ламинарного к устойчивому турбулентному режиму движения частиц "в полете", проходящий последовательно все промежуточные неустойчивые состояния [1,2]. В пневмотранспортной установке с дополнительным воздухоподводящим каналом воздействие дополнительных воздушных импульсов на флюидизированный поток приводит к его расчленению на отдельные объемы, чередующиеся с воздушными прослойками. Дальнейшее движение этих дискретных объемов (порций) аэрированного материала отличается стабильностью. Общее устойчивое поступательное перемещение сопровождается местным внутрипорционным волновым движением, с одновременным возникновением местных вихрей. Порции в процессе движения разрушаются, с тем, чтобы сформироваться и самовосстановиться вновь. Процесс повторяется многократно, сыпучий материал в трубе не залегают. Происходит взаимное упорядочение ламинарных и различных турбулентных течений. В общем сохраняется динамическая неустойчивость, наблюдается самовосстановление и самоорганизация заданного дискретного режима движения аэросмеси. С точки зрения синергетики [3], оптимизация поиска упорядоченного состояния и режимов движения аэросмесей в транспортном трубопроводе через управляющие параметры позволит регулировать и направлять развивающиеся процессы массопереноса. В качестве управляющих параметров к условиям пневмотранспорта сыпучих материалов целесообразно применить числа Рейнольдса, Релсея,

Фруда и Тейлора. Устойчивость течения предположительно можно охарактеризовать показателем Ляпунова [4].

Дано теоретическое обоснование, предложены, экспериментально исследованы и частично апробированы в промышленных условиях новые конструктивные разновидности пневмотранспортных установок с порционным поступательным управляемым и неуправляемым и волновым режимами движения аэросмесей, с вихревым непрерывным и вихревым дискретным движением хорошо сыпучих материалов, пневмовибрационные установки для перемещения увлажненных и влажных материалов. Рекомендованы их основные технические параметры: скорости и режимы движения аэросмесей, производительность, дальность транспортирования, энергетические показатели, геометрические параметры материалопровода, воздухопровода и воздухоподводящих патрубков. Хорошие технико-энергетические показатели пневмотранспортных установок с порционным режимом движения достигаются снижением рабочих скоростей перемещения аэросмеси до 3-8 м/с в сравнении с традиционными 15-35 м/с, снижением давления в транспортном трубопроводе до 0,2-0,3 МПа вместо 0,4-0,6 МПа, при одновременно резком повышении массовой концентрации. Отличительной конструктивной особенностью установок с порционным и волновым движением аэросмесей является наличие двух трубопроводов - материалопровода и воздухопровода, соединенных воздухоподводящими патрубками.

Расширяются технологические возможности пневмотранспортного трубопровода, оборудованного управляемыми воздухоподводящими патрубками. Угол ввода дополнительной струи несущего газа в транспортный трубопровод ориентирован в зависимости от физико-механических свойств перемещаемых материалов и давления в трубопроводе. Лабораторные исследования подтвердили гипотезу влияния угла атаки воздушной струи на сыпучий материал, расположенный в трубопроводе, на работоспособность пневмотранспортной установки. Исследования выполнены на сухом кварцевом песке плотностью $\rho = 1,45 \text{ г/см}^3$ при избыточном давлении 0,1-0,3 МПа.

Исследования пневмотранспортной установки с волновым движением показали ее высокую эффективность при перемещении тонкодисперсных легкоподвижных материалов относительно невысокой плотности с малым коэффициентом внутреннего трения.

Особую группу составляют пневмотранспортные установки с вращательным движением сыпучего материала сплошным потоком и в дискретном режиме. Дополнительное воздействие на сыпучий материал осуществляется импульсами сжатого воздуха на всей длине транспортного тру-

бопровода по винтовой линии касательно к поверхности трубы. На основе математической модели выполнен машинный эксперимент и определены ожидаемые параметры установок данного типа. При скоростях движения несущей среды 25-60 м/с создаются условия движения сыпучего материала по поперечному сечению трубы в форме кольца без его соприкосновения с внутренней поверхностью трубопровода. Высокоскоростные пневмотранспортные установки данного типа открывают возможность использования газопроводов для доставки сыпучих материалов на большие расстояния при больших грузопотоках.

Обоснован способ транспортирования сыпучих материалов в смеси с воздушным потоком, заключающийся в том, что аэросмесь загрузочным устройством специального типа вводится в материалопровод и перемещается по трубопроводу на небольшое расстояние. По достижении достаточно высокой скорости поток газоматериальной смеси выводится из трубопровода. Далее по трассе с определенным шагом установлены воздухоподводящие элементы, посредством которых дополнительно подводится сжатый воздух, воздействующий на газоматериальную смесь и придающий ей вращательное движение. Разработано пневмотранспортное устройство и в лабораторных условиях проведен физический эксперимент, подтвердивший его работоспособность.

На основе явления сверхтекучести сыпучих материалов разработан ряд специальных загрузочных устройств непрерывного действия: аэрационные камерные питатели с аэраторами клапанного и трубчатого типов, питатели с дополнительными воздушными и импульсными побудителями, питатели роторного и комбинированного типов.

Список литературы: 1. Смолдырев А.В. Трубопроводный транспорт. - М.: Недра, 1980. - 293с. 2. Гушин В.М. О применении пневматического транспорта в литейных цехах. // Литейное производство. - 1978. - №12. с.23-24. 3. Хакен Г. Информация и самоорганизация. - М.: Мир, 1991. - 240с. 4. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса. - М.: Наука, 1990. - 320с.

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Гушин В.И., Бучкин Ю.В.

(НИИ ПМ с ОП, г. Минск, Республика Беларусь)

The data about technologies of deposition by flame spraying of double - layer rustproofed coatings by special equipment are given. The examples of application of technologies are given.

В НИИ порошковой металлургии разработана высокоэффективная универсальная технология нанесения двухслойного металл-полимерного покрытия для защиты от коррозии. Данная технология реализуется методом газопламенного напыления с использованием проволоочных металлических и порошковых полимерных материалов.

Высокая производительность газопламенных процессов нанесения металлических и полимерных покрытий, возможность регулирования тепловых режимов напыления, получение покрытий толщиной от десятков микрон до нескольких миллиметров, как на ограниченных участках изделий, так и на больших поверхностях, практически без ограничения размеров, обуславливают высокую универсальность газопламенного напыления, обеспечивая надежную защиту от воздействия промышленной и атмосферной коррозии, требуя относительно незначительных затрат..

Предварительная подготовка поверхности - струйно-абразивная обработка.

Газопламенное защитно-декоративное покрытие состоит из двух слоев: металлического (Zn или Al) и полимерного (полиэтилен, полиамид, полипропилен и др.). В зависимости от условий эксплуатации изделий и агрессивности сред разработан ряд технологических процессов и необходимое для их реализации оборудование, которое позволяет использование в качестве напыляемого материала широкой гаммы полимерных порошков.

Для реализации данных технологий используется следующее оборудование:

- пистолет для газопламенного напыления проволоочных материалов "ТЕНА-Пр";
- пистолет для газопламенного напыления порошковых материалов "ТЕНА-П", оборудованный модулем для нанесения полимерных покрытий;
- горелка пропано-воздушная для предварительного подогрева основы;
- пульт управления рабочими газами "ТЕНА - ПУГ";
- установки струйно-абразивной обработки (УСАО-БП, УСАО-БП-МГ), или установка термоабразивноструйной очистки поверхности - ГВП.

Примерами использования предлагаемой технологии нанесения покрытий могут быть: защита стальных конструкций мостов, опор, шлюзов, судов, резервуаров для хранения воды, трубопроводов, крепей и других изделий шахтового оборудования, газовых емкостей, моечных устройств, воздуходувок, насосов, кузовов легковых и грузовых автомобилей, оборудования пищевой промышленности и многое другое.

По данной технологии в Республике Беларусь проведены работы по нанесению покрытий (Зп - полиамид 11) на 16 бункеров для разбрасывания солепесчаной смеси, общей площадью $\sim 240 \text{ м}^2$ для ПО "Белкоммунмаш" (г. Минск), и 3-х комплектов (3 бункера + 18 бачков) для ПО "Белдор-техника" (г. Минск), используемых для работы с концентрированными (порядка 20%) соляными растворами. Общая площадь покрытий, нанесенных для ПО "Белдортехника" 147 м^2 . Бункера переданы в эксплуатацию, рекламаций в течении 2-х лет эксплуатации - нет. Вышеупомянутые предприятия заинтересованы в продолжении работ по защите этих изделий по данной технологии, кроме того, планируется расширение гаммы деталей, нуждающихся в защите от коррозии.

Срок службы изделий с указанными покрытиями зависит от условий эксплуатации, толщину металлического и полимерного слоя покрытия и составляет 20-40 лет.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ВИБРАЦИОННЫМИ КАТКАМИ

Дворников В.И., Манакин А.П., Савенков В.В., Манакин Е.А.
(ДонГАСА, г. Макеевка, Украина)

Уплотнение грунтов и дорожных покрытий при строительстве различных земляных сооружений является одной из основных операций, от качества которой в значительной степени зависит их долговечность. Технологические и технико-эксплуатационные требования, предъявляемые к уплотняющим машинам, определяются видами, объемами и способами организации работ, геометрическими размерами и формами земляных сооружений, физико-механическими свойствами уплотняемых материалов и другими факторами.

Машины и оборудование для уплотнения грунтов, дорожных оснований и покрытий можно разделить по принципу действия на три группы: вибрационного, статического и ударного действия. Наиболее широкое применение получили машины вибрационного действия.

Состоят эти катки из базовой машины, представленной тягачом, который имеет двигатель и гидромотор. К базовой машине при помощи шарниров присоединяется рама, в которой закреплен вибровалец, внутри последнего на оси расположен центробежный вибровозбудитель с круговой вынужденной силой, состоящий из нескольких, расположенных в ряд неуравновешенных масс. Привод вибровозбудителя осуществляется гидромотором и редуктором, которые установлены на раме катка. В зависи-

мости от величин неуравновешенных масс устанавливается амплитуда колебаний вальца, а частота колебаний зависит от угловой частоты вращения оси центробежного возбудителя.

Величина амплитуды и частота колебаний устанавливаются в зависимости от физико-механических свойств уплотняющей среды.

Предлагается новая кинематическая схема вибрационного катка. На раме катка имеется дополнительная рама с вибровозбудителем, которая установлена в вертикальных направляющих и передает колебания через основную раму на вибровалец. Данная конструкция описывается математической системой со многими степенями свободы, представляющей собой совокупность основных взаимодействующих элементов: каток, рама, гидропривод и др. Упруго-пластические свойства уплотняемого грунта описаны в рамках модели Прандтля с использованием контактной теории Герца. Моделирование динамических процессов уплотнения грунта позволило установить рациональные соотношения масс подвижных элементов катка, возможность использования резонансных режимов вибровозбудителя.

Исследованы вопросы виброактивности рассматриваемого агрегата в целом, вопросы виброизоляции привода и защиты рабочего места машиниста. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании и эксплуатации вибрационных катков.

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЗЦОВ ИЗ КНБ В ПЕРИОД ПРИРАБОТКИ

Девин Л.Н., Шляев Д.В. (ИСМ им. В.М. Бакуля, г. Киев, Украина)

The results of study of cBN cutting tools reliability are described. The reliability of cutters was increased from first wear period to period of normal wear.

Исследование процесса разрушения резцов из КНБ показало, что в начальный период работы острого резца ($h_z < 0.1$) количество вышедших из строя инструментов больше, чем на стадии установившегося износа. Этот период (от нескольких секунд до 1-2 минут) называется периодом приработки и характеризуется повышенной интенсивностью износа [1]. Поведение инструмента на этапе приработки аналогично его поведению на стадии катастрофического разрушения, что заставило уделить повышенное внимание этим двум интервалам работы.

Для более подробного изучения данных периодов работы инструмента были проведены эксперименты при точении легированной стали ШХ-15 термообработанной до твердости 62-65 HRC резцами из КНБ. Ре-

жимы резания: $V=100\text{м/мин}$; $t=0,2\text{мм}$; $S=0,1\text{мм/об}$. Геометрические параметры реза: $\gamma=0^\circ$; $\alpha=\alpha_1=10^\circ$; $\varphi=60^\circ$; $\varphi_1=30^\circ$. В ходе эксперимента проводилась запись действующих сил и амплитуды акустической эмиссии.

Для определения надежности инструмента из полученных данных был использован метод оценки и прогнозирования работоспособности режущего инструмента, основанный на математических расчетах надежности режущего инструмента [2].

Обозначим эквивалентные напряжения, возникающие в резе при течении S_r , а прочность инструментального материала при растяжении и сжатии - S_p и S_c соответственно. В процессе резания за счет неоднородности свойств материала детали и нестационарности процесса стружкообразования величина силы резания изменяется. Для учета разброса величин напряжений, возникающие в процессе резания, введем среднее значение

напряжений S_r и их среднеквадратическое отклонение σ_{S_r} , предполагая, что распределение их не противоречит нормальному закону.

Прочность материала также характеризуется средним значением предела прочности при растяжении S_p и сжатии S_c , а также их среднеквадратическими отклонениями σ_{S_p} , σ_{S_c} . Для упрощения расчетов на первом этапе допустили, что распределения прочности S_p и S_c не противоречат усеченно-нормальному закону.

На рис.1 показаны кривые, описывающие дифференциальные функции распределения S_p и S_r . Из [3] известно, что вероятность разрушения резца P в этом случае будет равна площади фигуры, образованной пересечением кривых этих функций (на рис.1 заштрихована). Тогда:

$$P = \int_0^{S_a} f(S_p) dS + \int_{S_a}^{\infty} f(S_r) dS$$

где S_a - напряжение, соответствующее точке пересечения дифференциальных функций $f(S_p)$ и $f(S_r)$.

Влиянии пределов прочности при растяжении и сжатии, их среднеквадратических отклонений на вероятность разрушения при обработке материалов с различной прочностью и твердостью позволили предложить

формулы для расчета вероятностей разрушения инструментов, которые можно записать в общем виде:

$$\begin{cases} P_p = \int_0^{S_a} f(S_p) dS + \int_{S_a}^{\infty} f(S_r) dS; \\ P_c = \int_{-\infty}^{S_a} f(S_r) dS + \int_{S_a}^{\infty} f(S_c) dS, \end{cases} \quad (1)$$

где P_p и P_c - вероятность разрушения резца соответственно от растягивающих и сжимающих напряжений.

Обработка полученных в процессе эксперимента данных велась в среде Excel, по программе для расчета надежности для приведенных формул (1).

Средние значения пределов прочности для КНБ при растяжении $S_p=3500\text{МПа}$ и сжатии $S_c=3000\text{МПа}$, а также их среднеквадратическими от-

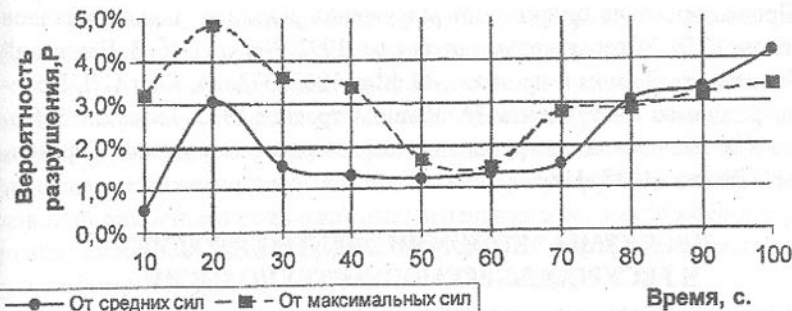


Рис. 2. Зависимость вероятности разрушения резца от времени.

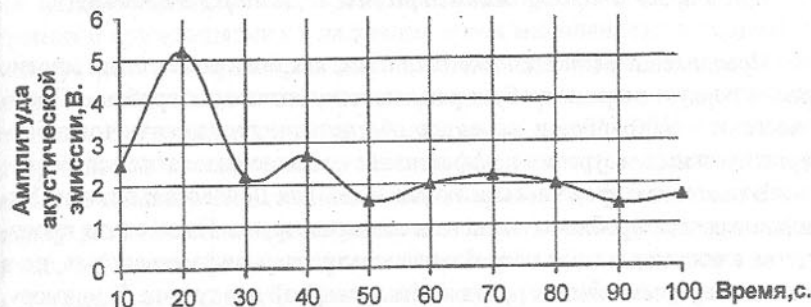


Рис. 3. Изменение амплитуды акустической эмиссии с течением времени.

клонениями $\sigma_{S_p}=70\text{МПа}$, $\sigma_{S_c}=600\text{МПа}$ [5]. Значения действующих в про-

цессе приработки сил резания, измеряемых с интервалом в 10 секунд. Общее время эксперимента в период приработки 100 секунд. Результаты обработки полученных данных изображены на рис.2. На нем видно как с течением времени изменяется вероятность разрушения от средних и максимальных действующих сил.

При рассмотрении графика (рис.2) видно, что процесс приработки длится около 60 секунд. В это время наблюдается резкий скачок вероятности разрушения. В стадии нормального износа наблюдается монотонное ее возрастание. Приведенный на рисунке 3 график изменения амплитуды акустической эмиссии так же в интервале до 70-80 секунд имеет максимум, что говорит о не стационарности процесса износа и о повышенной вероятности разрушения резца в период приработки.

Список литературы: 1. Макаров А.Д. Износ и стойкость режущих инструментов.-М:Машиностроение,1986.-263с. 2. Девин Л.Н., Вильгельм М. Прогнозирование вероятности разрушения резцов из поликристаллов на основе КНБ. //Сверхтвердые материалы.-1992.-№6-с.41-46. 3. Базовский И. Надежность. Теория и практика.-М.:Мир,1965.-373с. 4. Хает Г.Л. Прочность режущего инструмента.-М.:Машиностроение,1975.-168с.:ил. 5. Новиков Н.В. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов. Справочник.-К.:Тэхника,1988.-118с.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Демин В.П., Ширнин И.Г.

(Донецкая облгосадминистрация, г. Донецк, Украина)

Преодоление экономического кризиса, как показывает опыт многих стран, в первую очередь требует решения энергетических проблем. Прежде всего это постоянное и надежное обеспечение государства топливно-энергетическими ресурсами и эффективное использование этих ресурсов.

В настоящее время весьма актуальными для Донбасса и в целом Украины являются проблемы экономии электроэнергии. Из-за спада производства в последние годы потребление электроэнергии уменьшилось, но в меньшей мере, чем объемы производства товарной продукции. К примеру, в машиностроении в 1997 году удельные затраты на единицу продукции составляли 0,684 кВт.час на 1 грн. готовой продукции, а в 1-м квартале 1998 года они возросли до 0,892 кВт.часа.

Следует отметить, что удельные затраты энергоресурсов, которые характеризуют энергоемкость товарной продукции, превышают на 20-25 процентов мировые показатели. Большинство энергетического оборудования энергозатратное, значительная часть технологических линий устарела. В неудовлетворительном состоянии находится система учета и контроля за расходом энергоресурсов. Более того, ни энергоснабжающие организации, ни потребители не заинтересованы в сбережении и рациональном использовании энергии. Практически отсутствуют действенные механизмы стимулирования энергосбережения.

Для коренного решения существующих проблем необходима структурная перестройка промышленности в целом, в ходе которой предстоит существующие энергозатратные технологии заменить на современные ресурсосберегающие и получить таким образом возможность направлять на нужды промышленности и социальной сферы достаточное количество энергоресурсов.

Некоторые направления работ по энергосбережению и возможные способы экономии электроэнергии изложены далее.

1. Большое количество производственных установок практически всех отраслей промышленности, в том числе и со взрывоопасными условиями производства, а также предприятий коммунального хозяйства по условиям технологии требуют применения регулируемых электроприводов. Это различного рода насосные, вентиляторные, компрессорные установки, смесители, мешалки, дозаторы, центрифуги, транспортные системы, подъемники, манипуляторы и другие механизмы.

Оснащение их современными регулируемыми электроприводами на основе преобразователей частоты в сочетании с надежными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором взамен нерегулируемых и применяемых в настоящее время механических и гидравлических устройств (вариаторы, гидроприводы, турбомуфты, индукционные муфты скольжения, а также электроприводы постоянного тока) позволяют получить существенную экономию электроэнергии (25 - 30% от величины, потребляемой за год), снизить эксплуатационные затраты, автоматизировать и оптимизировать технологические процессы, что, в свою очередь, может дать дополнительную экономию сырья или энергоресурсов (пар, уголь, газ) и способствовать решению проблем энергосбережения.

Длительный опыт работы (с 1986 г.) Украинского научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (УкрНИИВЭ, г. Донецк) с фирмой ABB Industry (Финляндия), в результате которого был совместно разработан и внедрен ряд комплектных частотно-регулируемых

электроприводов мощностью от 0,25 до 315 кВт для предприятий со взрывоопасными условиями производства, подтвердил их высокий уровень технологии, простоту обслуживания, а главное, высокую надежность.

Это также подтверждено опытом промышленной эксплуатации таких электроприводов на Лисичанском и Кременчугском нефтеперерабатывающих заводах, АО "Стирол" (г. Горловка), Горловском химическом заводе, Одесском припортовом заводе, АО "Норд" (г. Донецк), Донецком маргариновом заводе и других предприятиях.

Как показали расчеты, подтвержденные реальными условиями промышленной эксплуатации, срок окупаемости таких систем электропривода составляет от 0,5 года до 2-х лет и постоянно снижается в связи с ростом цен на электроэнергию и энергоносители.

2. Существенную экономию электроэнергии обеспечивает широкое внедрение на промышленных предприятиях устройств компенсации реактивной мощности в высоковольтных и низковольтных сетях.

Так, в настоящее время компенсация реактивной мощности на угольных и рудных шахтах осуществляется только на ГПП, т.е. на границе раздела энергосистемы и системы электроснабжения шахты.

Взрывобезопасные конденсаторные установки на напряжение 6,3 кВ мощностью от 200 до 600 квар с микропроцессорной системой автоматического дискретного управления могут обеспечить автоматическую ступенчатую компенсацию реактивной мощности в шахтных распределительных сетях напряжением 6 кВ в зависимости от реактивной мощности нагрузки шахтных токоприемников, включенных за конденсаторной установкой

Применение одной конденсаторной установки мощностью 450 квар за счет снижения потерь мощности в сети обеспечит экономию 150...200 тыс. кВт. ч. электроэнергии в год, позволит уменьшить заявленную активную мощность на 15...30 кВт. При оптимальной степени компенсации в системе подземного электроснабжения шахты возможно сокращение ствольных кабелей на 1 - 2 шт. (экономию 600 - 3000 м кабельной продукции) или уменьшение на одну ступень их сечения. Использование конденсаторных установок улучшает также уровень и стабильность напряжения на зажимах токоприемников добычных и транспортных машин, что приводит к увеличению их производительности не менее чем на 0,5% и соответственно к увеличению суточной производительности одной шахты в целом, как минимум, на 10...20 тонн.

3. Важным направлением развития работ по энергосбережению является также применение современных технических средств учета расхода электроэнергии.

Применение перечисленных энергосберегающих мероприятий позволит значительно уменьшить удельную энергоемкость выпускаемой в Донецкой области, а также в Украине продукции, повысить ее конкурентоспособность как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ Г-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Деркач А.В., Лукичев А.В., Аушев Ю.В. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

Method of the form of loading's identification by means of methods of the information's theory of distribution in this article is presented. Regression equations for definition of identification parameters are designed.

Метод топографической классификации [1] распределений случайных величин обладает определенными достоинствами по сравнению с использованием критериев согласия ввиду наглядности результата и его более высокой степени определенности. Эффективность этого метода зависит от наполненности базы данных о топографических характеристиках различных распределений. Для симметричных распределений эта задача вполне решена: топографические характеристики: контрэксцесс k и коэффициент энтропии Ke найдены для нормального, равновероятного, треугольного, Лапласа и др. распределений, часто используемых при оценке погрешностей средств измерения. Для асимметричных распределений, описывающих эксплуатационные режимы нагрузки (ЭРН) технологического оборудования, эта задача требует решения. В [2] были предложены зависимости для расчета Ke ряда распределений: нормального, Г-распределения, распределения Вейбулла, логнормального. Использование только одного этого параметра не позволяет однозначно судить о целесообразности описания реального ЭРН одним из указанных законов, поскольку не снимает неоднозначности, поскольку даже симметричные распределения характеризуются двумя параметрами Ke , k [1].

Каждый из законов распределения случайной величины имеет определенное место в пространстве (As , k , Ke) и различие в асимптотических свойствах и моментных характеристиках реальных ЭРН соответствующим образом отражаются на величинах указанных факторов. При описании реального ЭРН с помощью ряда законов распределения подбирается такой из них, чтобы погрешность прогнозирования эквивалентной и максимальной нагрузок была минимальной. Одним из используемых при прочностных расчетах законов распределений является Г-распределение:

$$p(Q) = \frac{\beta^\alpha Q^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} e^{-\beta Q}. \quad (1)$$

В настоящей работе приведены результаты исследований его топографических характеристик. Между параметрами распределения (α, β) с одной стороны и математическим ожиданием M и средним квадратическим отклонением S имеется зависимость [2]:

$$M = \frac{\alpha}{\beta}, S = \frac{\alpha}{\beta^2}$$

Отсюда, после преобразований, параметры Γ -распределения:

$$\alpha = \frac{M^2}{S}, \beta = \frac{M}{S}.$$

Известны из [2] аналитические зависимости для определения коэффициента асимметрии и эксцесса E Γ -распределения:

$$As = \frac{\mu_3}{S^3} = 2\nu, \quad (2)$$

$$E = \frac{\mu_4}{S^4} - 3 = 6\nu^2. \quad (3)$$

Из (2) следует: Γ -распределение может применяться для идентификации ЭРН, соответствующих легким режимам нагружения (т.к. коэффициент асимметрии положителен). Из (3) можно определить коэффициент контрэксцесса как:

$$\kappa = \frac{1}{\sqrt{6\nu^2 + 3}}. \quad (4)$$

Опытным путем установлено, что для режимов нагружения прокатных станов коэффициенты вариации V находятся в пределах 0.05..0.25, следовательно, коэффициент контрэксцесса κ находится в пределах 0.3..0.5, что обуславливает большую островершинность Γ -распределения по сравнению с нормальным, а следовательно, замена Γ -распределений нормальными требует обоснования, поскольку она вносит погрешность в расчет эквивалентной и, особенно, максимальной нагрузок, значение которых следует оценивать, поскольку у островершинных распределений квантильный коэффициент $t > 3$ при вероятности появления нагрузок Q , $p=0.9986$, соответствующей квантильному коэффициенту $t=3$ нормального распределения.

Коэффициент энтропии зависит от параметров распределения и его формула имеет достаточно громоздкую структуру [2], причем определение Γ -функции от действительного числа при больших значениях аргумента

встречает трудности чисто вычислительного плана. Поэтому предлагается достаточно простая эмпирическая зависимость указанного фактора от оценок M и S , позволяющая оценить возможность описания реального ЭРН Γ -распределением.

$$Ke = 2.103 + 0.068 M^{0.5} \ln(M) - 0.666 \nu^2 \quad (5)$$

Поскольку (2) и (3) являются функциями от ν , то в пространстве (As, κ, Ke) зависимость между этими параметрами однозначна и при постоянном значении одного из них (плоскость $As=Const$, например) оставшиеся величины дают точку, что облегчает проверку гипотезы о виде теоретического ЭРН.

$$Ke = 1.955 - 0.292 As^2 - 0.066 \ln(\kappa) / \kappa^2. \quad (6)$$

Эквивалентные нагрузки порядка $m=3, 6, 9$ могут быть найдены с использованием коэффициента переменности режима нагружения K_{Qm} :

$$K_{Q3} = 0.0235 + 0.9305M + 3.070S^2; \quad (7)$$

$$K_{Q6} = 0.0394 + 0.831M + 3.00S^{1.5}; \quad (8)$$

$$K_{Q9} = 0.0090 + 0.740M + 2.028S; \quad (9)$$

Максимальная нагрузка ЭРН с вероятностью появления $p=0.9986$, определяется с использованием квантильного коэффициента:

$$t = (0.33 - 0.261S - 0.048S \ln S)^{-1}. \quad (10)$$

Качество аппроксимации характеризуют показатели таблицы:

	$t=f_1(M, S)$	$Ke=f_2(M, S)$	$Ke=f_4(As, \kappa)$	$K_{Q3}=f_3(M, S)$	$K_{Q6}=f_6(M, S)$	$K_{Q9}=f_9(M, S)$
Γ^2 -коэф.	0.995	0.998	0.995	0.998	0.991	0.981
СКО	0.016	0.003	0.006	0.004	0.008	0.012

С учетом найденных зависимостей идентификации ЭРН с проверкой гипотезы об описании его Γ -распределением может проводится в следующей последовательности:

1. Определение оценок M, S, κ, Ke, As эмпирического распределения.
2. Определение параметров κ, Ke, As для Γ -распределения, описывающего ЭРН и сравнение их с расчетными по п. 1.
3. В случае достаточной близости значений определяются максимальная нагрузка $Q_{p=0.9986}$ с нахождением t по (10) и коэффициентов переменности режима нагружения K_{Qm} по (7)-(9).

Предложенная методика позволяет идентифицировать эмпирическое распределение, найдя его топографические характеристики и сравнив их с расчетными, принадлежащими заменяющему Γ -распределению.

Список литературы: 1. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений.-2-е изд., перераб. и доп.-Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991.-304 с. 2. Гребеник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности): Справочник. -М.: Металлургия, 1989. 592 с.

О МЕХАНИЗМЕ ЗАТУПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННОГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Диденко Г.П. (СПИИ, г. Славянск, Украина)

Wear curve of cutting tool can be approximated with lump-exponential dependence. The experimental data of research of the stage step-wearing mechanism are presented.

Режущий инструмент является наиболее уязвимым звеном технологических систем механической обработки ввиду постоянного снижения его работоспособности в процессе эксплуатации. Способы повышения надежности режущего инструмента основываются на закономерностях природы отказа. Исследования кинетики износа твердосплавных резцов выявили двойственный механизм отказа инструмента. Наряду с изнашиванием, интенсивность которого колеблется в пределах 0,01...0,50 мм/мин, присутствует процесс с интенсивностью 0,1...1,0 мм/мин. Первый достаточно точно описывается линейным уравнением, а второй - экспоненциальным и может быть условно назван дискретным. Очевидно, механизм изнашивания для указанных случаев имеет различную природу. Доказательством служит тот факт, что плотность распределения приращений износа описывается только суперпозицией нормального (для линейного участка) и экспоненциального (для переходного участка) законов. Установлена зависимость интенсивности изнашивания на линейном участке от скорости резания, которая отражает действие, в основном, температурного фактора.

Характер дискретного (скачкообразного) изнашивания изучали в зависимости от различных факторов (режимов резания, жесткости технологической системы). Исследовали пластины ВК8 в исходном состоянии и с карбонитридным покрытием при точении чугуна в диапазоне скоростей резания 2...10 м/с и подач 0,07...0,78 мм/об.

Если описать процесс изнашивания инструмента случайными функциями, то параметры гармоник (амплитуду и период) можно использовать как показатели дискретного изнашивания. Анализ зависимостей этих

параметров от режимов резания свидетельствует о следующем. С ростом скорости резания величина скачков уменьшается, т. е. преобладает установившийся этап изнашивания. При этом растет частота этих скачков. Для пластин с покрытием, ввиду их хрупкости, зависимость противоположная: с увеличением величины скачков этап установившегося изнашивания затягивается. С ростом толщины среза проявляется снижение величины показателей. Т.е. величина скачков и их частота связаны обратной зависимостью. Чем больше величина скачка, тем больше времени необходимо на его "подготовку".

Для уточнения механизма дискретного изнашивания исследовали влияние жесткости технологической системы на протяженность цикла изнашивания. Вероятность дискретного изнашивания максимальна в наименее устойчивой точке заготовки; положение точки максимума смещается при увеличении нагрузки (скорости резания или толщины среза). Зависимость вероятности от скорости резания имеет экстремум, который не позволяет объяснить ее действием температурного фактора. Сравнительный анализ зависимостей и карты виброустойчивости станка свидетельствует о явлении резонанса в процессе резания при некотором сочетании режимов резания. Тогда, скорость резания влияет на частоту колебания заготовки через частоту вращения.

Взаимосвязь величины и частоты скачков, влияние частоты колебаний системы на дискретное изнашивание говорит в пользу хрупкой природы процесса. Вместе с тем, известно, что наложение колебаний, в частности ультразвуковых, облегчает пластическую деформацию при резании и поверхностном пластическом деформировании [2]. Под действием вибраций, видимо, возможна активизация дополнительных плоскостей скольжения в поверхностном слое инструментального материала.

Для проверки гипотезы хрупкого разрушения сравнивали двумерные зависимости вероятности выкрашивания режущего элемента и актов дискретного изнашивания от режимов резания. Расположение максимума и общая тенденция зависимости идентична для обеих величин. Однако, влияние режимов резания на исследуемые величины противоречит воздействию покрытия на износостойкость через механические свойства. При нанесении покрытия наблюдается более сильное влияние скорости резания, чем толщины среза, и смещение областей дискретности в сторону меньших скоростей и больших толщин. Это объяснимо с учетом ослабления силы трения для пластин с покрытием [1], то есть смещением частоты собственных колебаний материала поверхностного слоя инструмента. Таким образом проявляется влияние покрытия на динамические колебательные свойства технологической системы. Это также коррелирует с доста-

точно сильным влиянием жесткости технологической системы, описанной выше.

Анализ полученных результатов позволяет предложить схему изнашивания инструмента как отделение частиц инструментального материала определенного размера. Тогда дискретное изнашивание является следствием трех возможных элементов изнашивания: слияния износа передней и задней поверхностей при интенсивном лункообразовании; микроразрушения типа сколов, отслоений, выкрашиваний; смена механизма отказа. В практике имеют место все три случая. Проведенные исследования позволили уточнить механизмы изнашивания тяжелонагруженного твердосплавного инструмента и разработать рекомендации по повышению его износостойкости.

Список литературы: 1. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. - М.: Машиностроение, 1986. - 192 с. 2. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Пер. с яп. С.Л.Масленикова; Под ред. И.И. Портнова, В.В. Беляева. - М.: Мир, 1985. - 424 с.

РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРАКТИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Дубинин С. И. (АО «НОРД», г. Донецк, Украина)

It has been opened the main problem, which arise with the machine- building enterprises while exporting the production from Ukraine. It has been given the recommendation in overcoming the negative tendencies in the foreign economic sphere.

В последние годы состояние экономики Украины последовательно ухудшается. Причем, общие показатели в денежном выражении не отражают всей опасности создавшегося положения. Качественные и структурные параметры ухудшаются более быстрыми темпами, чем чисто количественные. Негативные структурные изменения в промышленности весьма опасны, исправить их через несколько лет будет практически невозможно. Так, например, суммарный удельный вес электроэнергетики, топливной промышленности, черной и цветной металлургии в общем объеме промышленной продукции постоянно увеличивается и достиг в I квартале 1998 года 55% (в первом квартале 1991 года он составлял около 22%).

Удельный вес продукции машиностроения за тот же период уменьшился более, чем вдвое.

Негативная тенденция не только не переломлена, но и продолжает прогрессировать. В первом квартале текущего года спад производства в машиностроении составил 3,8 %, а в черной металлургии объем производства вырос на 4,1%.

В этой ситуации естественной выглядит постановка вопроса о необходимости преодоления структурного кризиса в развитии, в первую очередь, высокотехнологичных, наукоемких производств. Ведь именно они определяют возможности и перспективы промышленности, а в конечном счете, и государства в XXI веке. Все это - аксиома, признанная всеми крупными экономистами, предпринимателями, политиками.

Ускоренное развитие базовых и сырьевых отраслей промышленности и стагнация (в лучшем случае) отраслей переработки, машиностроения говорит о болезни экономики государства. Если не принимать адекватных, иногда решительных мер, то Украина окончательно и бесповоротно превратится в страну третьего мира.

Указанные меры достаточно хорошо известны и теоретически обоснованы. Но одна из плохих традиций исполнительной власти Украины - это принятие решений без совета с практическими работниками, без апробации этих решений в условиях реально функционирующих хозяйственных субъектов. Поэтому автором было предпринято исследование проблем, возникающих в процессе осуществления внешнеэкономической деятельности Акционерного общества «НОРД», которое выбрано в качестве типичного экспортоориентированного производителя по следующим причинам.

Акционерное общество «НОРД» является крупнейшим (а в последнее время - фактически единственным) отечественным предприятием электробытового машиностроения. Холодильники и морозильники под торговой маркой «НОРД» реализуются на рынках Украины (около 35% выпуска или 145 тыс. штук), стран СНГ (около 40% выпуска или 165 тыс. штук), Западной Европы (около 25% выпуска или 105 тыс. штук).

Предприятие по объему реализации продукции занимает 72-е место среди всех производителей Украины, 5-е - среди машиностроительных предприятий. АО «НОРД» получило право реализовывать свою продукцию под торговыми марками известнейших в Европе производителей бытовой техники «Ocean», «Candy». Последний факт лучше всяких прочих аргументов говорит о высоком уровне качества украинской продукции.

АО «НОРД» осуществляет деятельность в весьма специфическом секторе потребительского рынка, характеризующегося крайне высокой сте-

пению монополизации, наличием весьма значительных препятствий при вступлении в него производителей. По сути, предприятие ведет тяжелую, изнурительную борьбу за свое будущее. Поражение в этой борьбе означает только гибель. Подтверждение этому - судьба Васильковского завода холодильников и Днепропетровского машиностроительного завода, которые навсегда ушли с рынка холодильной техники.

В данной ситуации поддержка государством подобного «НОРДу» производителя в любой стране является делом предрешенным. Однако, в Украине действует странный принцип уравниловки, когда условия, в которых работают экспортоориентированные машиностроительные предприятия, ничем не отличаются от условий, ориентированных на специфику сырьевых, базовых отраслей.

Руководство АО «НОРД» никогда не выдвигало особых претензий на предоставление эксклюзивных льгот и привилегий предприятию во внешнеэкономической деятельности. Но не учитывать объективную специфику деятельности такого предприятия представляется по меньшей мере нерациональным с точки зрения долгосрочных интересов именно государства. Поэтому коротко остановимся на тезисной постановке проблем, возникающих в процессе осуществления внешнеэкономической деятельности Акционерным обществом «НОРД», а также предложим возможные методы их решения.

1. Для производства конкурентоспособного товара и проникновения на новые рынки за пределы Украины у машиностроительных предприятий существует острая необходимость в применении в производстве высококачественного сырья и материалов, получение которых часто возможно только посредством импорта. Предприятия, занимающиеся электробытовым машиностроением, нуждаются в ослаблении жесткой системы высоких таможенных пошлин на основные импортируемые для производства конечной продукции товарно-материальные ценности (см. Таблицу 1.).

Таблица 1 - Перечень основных импортируемых материалов, используемых для производства продукции АО «НОРД», облагаемых таможенными пошлинами при импорте.

Код ТН ВЭД	Наименование материалов	ставка а пошлин льгот.	Примечание	Месячный расход		Сумма пошлин ы
				нат.	тыс. \$	тыс.\$/мес
390319000	Полистирол	10	Произв.	475	610	61

	ударопрочн		"Стирол", качество не соответств.	т		
390950000	Полиуретаны	5	В Украине не произ- вод.	223 т	465	23
850440990	Термисторы	5	В Украине не произ- вод.	45 000 шт	24	1
903210910	Термостаты	2	В Украине не произ- вод.	45 000 шт.	115	2
320610900	Пигмент для порош. крас- ки	5	В Украине не произ- вод.	35 т	97	5
320820100	Эмаль акри- ловая	5	В Украине не произ- вод.	8 т	32	2
284190900	Магнитный состав	5	В Украине не произ- вод.	52 т	74	3
340399100	Масло смаз. (фреоновое)	10	В Украине не произ- вод.	16 т	44	4
	Прочие ТМЦ		В Украине не произ- вод.			9
	ИТОГО					110

АО "НОРД" вынуждено закупать полистролы ударопрочные у фирм "BASF" (Германия), "DOW Chemical" (Голландия), "EniChem" (Италия), "Elf Atochem" (Франция), по нижеуказанным причинам:

а) Ни одна марка полистиролов, производимых АК "Стирол" (Горловка) и ПО "Азот" (Днепродзержинск) не удовлетворяет требованию совместимости со вспенивателем R 141b, что приводит к разрушению внутренних камер холодильника;

б) Недостаточная ударная вязкость отечественных марок полистирола (максимальная отечественных марок - 8кГс/кг см. кв.; необходимая для производства продукции "НОРД" - не менее 10кГс/кг см. кв.) ведет к снижению прочности и образованию трещин на деталях холодильных приборов.

Справка: Совокупная сумма, уплаченных таможенных пошлин на импортное сырье и материалы, используемые в производстве холодильников, составляет свыше 1,6% себестоимости продукции (свыше 110 тыс. \$ в месяц).

Справка: Иногда логику установления ставок таможенной пошлины понять очень сложно. Так, например, порошковая краска до 1996г. в Украине не производилась. Но на ввоз ее существует пошлина 2% (КОД ТН ВЭД 320810900). В 1996 году АО "НОРД" освоило производство порошковой краски (впервые в Украине). За рубежом "НОРД" закупает первичное сырье (его в Украине просто нет). Однако, на это сырье ввозная пошлина - 5% (КОД ТН ВЭД 320610900).

Таким образом, отечественный производитель даже на внутреннем рынке оказывается в заведомо проигрышном положении по сравнению с производителем турецким, итальянским, голландским.

2. Обязательный возврат валютных средств в течение 90 дней за экспортированную продукцию часто невозможен из-за особенностей работы на монополизированных конкурентами рынках сбыта бытовой холодильной техники. Обычной практикой конкурентов является широкое использование рассрочки платежа в 180 дней при реализации.

Также необходимо упростить систему получения лицензии Национального банка Украины на продление сроков возврата валютных средств по задолженности, превышающей 90 дней, за отгруженную на экспорт машиностроительную продукцию.

Особенную актуальность проблема возврата валютных средств в столь короткий срок приобретает в случае поставки на экспорт комплектующих изделий для сборки продукции. Так, например, АО «НОРД» принадлежит более 70% акций СП «НОРД» (г. Амман, Иордания). Донецкое предприятие поставляет по сути своему структурному подразделению машинокомплекты, из которых СП собирает холодильники, реализуемые в странах Ближнего Востока. С момента пересечения украинской границы и до момента поставки холодильника в торговлю проходит минимум полтора-два месяца. Минимальная розничная (!) рассрочка оплаты холодильников «Samsung» и «LG» составляет в Иордании 3-6 месяцев. АО «НОРД» поставлено перед выбором: или, выполняя отечественное законодательство, оставить с таким трудом завоеванную долю рынка Ближнего Востока, или удерживаться на весьма перспективном рынке, постоянно рискуя попасть в число нарушителей валютного законодательства.

Такая позиция государства, как минимум, нерациональна. Конечно же, куда проще сориентировать всю экспортную политику в расчете на вывоз сырья, металла и химии. Только простота эта оборачивается поваль-

ными антидемпинговыми процедурами и вытеснением с рынков. Регулировать экспорт машиностроительной продукции намного более сложно. Но и результат, пусть не сразу, будет намного более действенным.

3. МВЭС необходимо продолжить работу по проблеме отмены (или возможности зачета) российского НДС при импорте в Украину российского сырья, материалов и комплектующих изделий. Это, по сути, - двойной НДС, что ведет к неоправданному увеличению себестоимости конечной продукции.

Справка: Сумма "двойного" НДС в себестоимости продукции АО "НОРД" составляет 266 тыс. \$/месяц или 4.0% себестоимости.

4. Одной из причин кризисного состояния экономики Украины является непомерное налогообложение Фонда оплаты труда предприятия. При этом в наиболее сложном положении оказываются производители машиностроительной отрасли. Необходимо рассмотреть возможность принятия предложения об уменьшении в 2 раза начислений на Фонд оплаты труда при экспорте готовой (машиностроительной) продукции, т.е. с 47,5% до 23%, в целях стимулирования экспорта сложной машиностроительной продукции украинских предприятий. Это также приведет к значительному повышению конкурентоспособности продукции.

Справка: Начисления на ФОТ в себестоимости продукции АО "НОРД" составляют 407 тыс. \$/месяц или 6,1% себестоимости. Предлагаемое уменьшение начислений составит порядка 122 тыс. \$ или 1,8% себестоимости.

5. Специфика машиностроения требует хотя бы минимального учета при определении порядка и объема выполнения таможенных процедур, при применении некоторых нормативных документов ГНА. Необходимо рассмотреть возможность введения упрощенных таможенных процедур, упрощенной налоговой отчетности по оформлению гарантийных запасных частей при экспорте сложной электробытовой техники.

Новые нормативные акты ГНА, объективно, ставят любого отечественного экспортера сложной машиностроительной (массовой) продукции в заведомо проигрышное положение по сравнению с конкурентами. А ведь общеизвестно, что производитель, который не может обеспечить гарантийный сервис проданной продукции - обречен.

6. Тотальная бартеризация хозяйственных связей в странах СНГ произошла не только и не столько по вине предприятий. Очень большой вклад в этот процесс внесла исполнительная и законодательная власть. Поэтому, необходимо рассмотреть возможность реализации предложения о разрешении зачета входного НДС, уплаченного при закупке украинских

товароматериальных ценностей, используемых в производстве, при экспорте готовой продукции по бартерным операциям.

Справка: За 9-ть месяцев 1997 г. АО "НОРД" реализовало на экспорт по бартеру 15,2 тыс. штук холодильников, отнеся при этом на себестоимость 143 тыс. \$ входного НДС, что составляет приблизительно 5% себестоимости бартерного холодильника и приводит к увеличению себестоимости всей продукции до 0,5%.

В результате всего вышеизложенного, можно сделать следующий вывод:

В случае, если все перечисленные предложения будут приняты, то себестоимость продукции АО "НОРД" снизится на 7,7% (или на 514 тыс. \$/месяц). Это позволит очень резко повысить конкурентоспособность украинской электробытовой техники на зарубежных рынках сбыта. При этом (с учетом увеличения суммы налога на прибыль) потери бюджета составят всего 94 тыс. \$/месяц.

В том состоянии, в котором находится украинская экономика, любые решения - болезненные, любые решения ведут к жертвам. Минимально поддерживая отечественное экспортоориентированное машиностроение, государство закладывает основы своего благополучия. Продолжая относиться к машиностроению, как к придачку базовых отраслей, государство рискует в перспективе потерять все.

Весьма нерационально сначала с безразличием наблюдать за гибелью единственного отечественного производителя, а потом предоставлять все мыслимые и немыслимые льготы зарубежным инвесторам.

Пример АвтоЗАЗа - отнюдь не свидетельство высокого профессионализма исполнительной власти, это свидетельство обратного. Нельзя допустить, чтобы такое же развитие получили события, связанные с единственным украинским представителем отрасли бытового машиностроения - Акционерным обществом «НОРД» (г. Донецк).

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ НАТЯЖЕНИЯ ВОЛОКОН В СЛОЯХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЛИННОМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

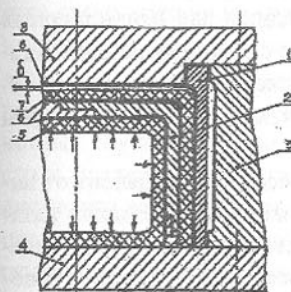
Дудченко А.А., Резниченко В.И. (МАИ, г. Москва, Россия)

It is a description of the mode which u permits to realizes a tension of the fiber in the long-dimensional composite detail.

В настоящее время повышение качества длинномерных силовых композиционных деталей в основном связано с обеспечением натяжения волокон в технологическом процессе изготовления многослойных изде-

лий. Это позволяет, прежде всего, приблизить механические свойства материала в каждом слое к их паспортным данным. Однако это трудно осуществить для плоскостных деталей, изготавливаемых современными методами укладки с последующим прессованием. Здесь представлен способ изготовления и технологическая оснастка, обеспечивающие необходимое натяжение волокон и плотность структуры. Эта работа является развитием общей технологической проблемы улучшения свойств и повышения надежности композиционных изделий, рассмотренной в работе [1].

На рисунке дана схема возможного варианта технологической оснастки, в которой реализуется предлагаемый способ натяжения волокон. Цифрами на рисунке обозначены:



1- внешняя часть пресс-формы; 2- внутренняя подвижная часть пресс-формы; 3- опора пресс-формы; 4- основание; 5- резиновый мешок; 6- фторопластовая прослойка; 7- изготавливаемая композиционная деталь; 8- крышка.

Из рисунка видно, что резиновый мешок 5 создает необходимое давление на композиционную деталь 7, расположенную между подвижными металлическими частями пресс-формы: внутренней 2 и внешней 1. Как видно из рисунка элемент 2 является подвижным за счет разрезов и имеет возможность при прессовании перемещаться, увеличивая как свою высоту, так и ширину. Благодаря этому стенка 2 своим давлением прессует вертикальную стенку детали, имея возможность перемещаться в сторону внешней части пресс-формы 1. В это же время за счет расчетного зазора между композитной деталью и крышкой 8 при создании давления образуется вертикальное перемещение подвижной части 2 и производится натяжение волокон, уложенных под углами $\pm \varphi$ и $\pi/2$. При этом видно, что нижняя часть детали 7 после создания давления закрепляется от вертикального перемещения. Зазор δ можно рассчитать, зная длину детали 7, величину натяжения волокон в ней и давление в резиновом мешке 5.

Натяжение волокон, расположенных по направлению длины детали 7, происходит за счет определенного перемещения по длине внешней и внутренней подвижных частей пресс-формы 1 и 2 вместе с изготавливаемой деталью. Для этого детали 1 и 2 разрезаются через определенный интервал, т.е. являются составными, а для создания перемещения элементов деталей пресс-формы вдоль длины между ними располагается вакуумная резина, приклеенная только к одной стороне элемента. В этом случае при

нагревании пресс-формы за счет расширения резины произойдет перемещение прижимных деталей 1 и 2 вдоль композиционной детали, создавая растяжение в ней, что обеспечит натяжение в продольных волокнах. В соответствии с чертежом приспособления продольные волокна изготавливаемой детали находятся между элементами деталей 1 и 2. Для согласования контактных усилий на границе композиционная деталь – прижимные части пресс-формы, и создания необходимых усилий натяжения проводится соответствующий расчет с учетом коэффициентов трения на контактных поверхностях, размеров металлических и резиновых элементов 1, 2 и механических характеристик материалов. При этом необходимо обеспечить возможность удлинения детали или в одну сторону, если деталь не слишком длинная, или в обе стороны от ее середины для длинномерных деталей. При охлаждении приспособления вместе с композиционной деталью, но в присутствии давления в резиновом мешке, удлинение детали сохраняется за счет отсутствия связи между элементами 1 и 2 в продольном направлении.

Необходимо отметить, что конструкция пресс-формы зависит от вида поперечного сечения и длины изделия. Однако способ создания натяжения сохраняется. Кроме того, если толщина стенок композитного изделия существенно меняется по длине, то для обеспечения температурно-временного режима процесса полимеризации используется фиктивный материал с изменяющейся толщиной, которая вместе с толщиной стенки изделия образуют суммарную толщину постоянную по длине. Реализация этого способа описана в патенте [2]. Его использование позволяет обеспечить одновременность прогрева внутренней поверхности изделия.

Список литературы: 1. Дудченко А.А., Резниченко В.И. Разработка технологической оснастки, повышающей прочностные и упругие характеристики элементов конструкций из композиционных материалов /Тезисы докладов н.-т. конф.: Физико-химические и механические процессы в композиционных материалах и конструкциях. М.: ВИМИ, 1996.-С. 70-71. 2. Способ прессования конструкции из композиционного материала переменной толщины. Патент №2043925 от 20.09.1995.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТИПА КЕССОНОВ КРЫЛА

Дудченко А.А., Щербakov Ю.В. (МГАИ, г. Москва, Россия)

The original approach is applied for the load-bearing, thin-walled, stiffened composite design. It develops a two-step design, which substantially reduce a

quantity of the parameters by ever step and isn't lower a exactness of the results. It examines the examples of calculation of the plane's wings.

Построим методику проектирования многозамкнутых оболочечных конструкций кессонного типа. Примерами таких изделий являются агрегаты самолетов в виде крыльев, стабилизаторов, килей, а также других конструкций различного назначения. При проектировании многослойного материала по конструкции с учетом выполнения требований прочности агрегата, общей крутильной и изгибной жесткости, устойчивости, надежности, живучести, конструктивных и технологических ограничений и других условий. При этом определяется силовая схема всей конструкции. Выбирается схема крепления изделия, а также размещение по нему узлов подвески дополнительных и сопутствующих агрегатов. Для крыла такими являются узлы подвески элеронов, закрылков, рулей. Считается известными поверхностная и все массовые нагрузки и сосредоточенные силы для расчетных случаев. Заданы ограничения на изгибную и крутильную жесткости и предельно-допустимые углы закручивания поперечных сечений по длине, что важно для крыльев самолетов. Эти данные обычно получены из предварительных расчетов упругих крыльев на статическую и динамическую неустойчивости различных форм деформаций. Более точные характеристики динамического и статического упругого поведения самолета и его агрегатов получают в результате аэродинамической продувки и динамических испытаний моделей будущего летательного аппарата. Эти данные затем и служат теми ограничениями на жесткостные характеристики крыла при его проектировании.

Для высоконагруженных агрегатов самолета, которыми являются крылья, проектирование связано с нахождением большого количества параметров, при удовлетворении различных ограничений в виде неравенств. При этом необходимо учесть особенности свойств и поведения в конструкции волокнистых материалов, а также конструктивно-технологические ограничения. Для таких конструкций разработан оригинальный двухэтапный подход к проектированию, что позволяет существенно упростить саму процедуру определения параметров, не снижая точности расчетов. При окончательном определении структуры материала в конструкции можно учесть рекомендации по расположению в этой структуре, так называемых стопперов, полученных за счет перераспределения жесткостных свойств материала, которые позволяют предотвратить распространение местных повреждений материала и не допустить разрушение конструкции. Полученное таким образом распределение материала в агрегате с учетом всех ограничений и требований, накладываемых на материал и конструкцию,

можно считать рациональным. На первом этапе проектирования определяется распределение материала по силовой части кессона при обеспечении прочности в каждой точке, а также необходимой крутильно-изгибной жесткости по длине крыла. Однако найденная в процессе проектирования и распределенная по элементам структура материала пока состоит из определенного количества слоев с толщинами h_i и углами укладки φ_i . Конкретное формирование слоев в пакете зависит от вида работы элемента конструкции, от его расположения в ней и предназначения. При этом необходимо учитывать конструктивно-технологические требования и ограничения. Для окончательного распределения материала по элементам агрегата, найденного на первом этапе проектирования, на втором этапе он перераспределяется по конструкции кессона так, чтобы без увеличения его массы были обеспечены общая и местная потеря устойчивости панелей поверхностей крыла, стенок лонжерона и нервюр, определены оптимальные параметры люков, вырезов и подкрепляющих продольных элементов панелей с сохранением их прочности.

Методика проектирования основана на применении, довольно известного, но модифицированного варианта метода штрафных функций, а также с помощью простых подходов, разработанных авторами и используемых для конкретных элементов конструкций.

В ограничениях по статической прочности, крутильной и изгибной жесткостям кессона крыла применяются точные аналитические методы определения напряженного состояния и перемещений, изложенные в [1, 2] и других работах. Кроме того, используются конструктивные ограничения, связанные с оптимизацией числа контуров поперечного сечения в многозамкнутых кессонах, с конструктивно-технологическими особенностями. Это очень важно на начальном этапе создания конструкции, так как позволяет избежать больших погрешностей в рациональном распределении массы в планере самолета и существенно снизить затраты на проектирование.

К конструктивно-технологическим особенностям относятся:

- ограничение по толщине композитного материала, зависящего от толщины монослоя;

- округление суммарной толщины пакета слоев до величин, кратным толщинам монослоя;

- для ортотропных структур толщины слоев с углами укладки $\pm\varphi$ приравниваются большей из них на каждом шаге оптимизации, независимо от найденных расчетных значений толщин слоев определенного ориентирования;

- для многозамкнутых сечений крыла и подкрепленных панелей материал продольной ориентации частично может распределяться в пазах с

известной технологической площадью, образуемых из-за особенностей технологии изготовления в местах присоединения вертикальных стенок и обшивки;

- введение в композитную структуру слоя с ориентацией $\varphi=\pi/2$ определенной толщины, исходя из конструктивных условий и требований на жесткость контура, так как чаще всего в кессонах крыла и стабилизатора величина усилия контурного усилия мала и не определяет необходимую толщину этого слоя.

Применение метода оптимизации на стадии проектирования с учетом перечисленных требований позволяет сразу получать композитную конструкцию, близкую к оптимальной по массе. Справедливость подхода была подтверждена расчетом с использованием известных программ проектирования оптимальных конструкций.

Рассмотрены примеры проектирования авиационных конструкций, в том числе крыльев для самолетов разного назначения. Показано, что использование композиционного материала существенно снижает массу конструкции, увеличивает ее прочность, жесткость, живучесть и надежность.

Список литературы: 1. Дудченко А.А. Использование полубезмоментной теории для расчета многозамкнутых цилиндрических оболочек из армированного пластика. // Механика композитных материалов. 1987.-Т.23, №4. —С.635-641. 2. Дудченко А.А. Общая устойчивость композитной панели, подкрепленной стержнями с деформируемым контуром, с учетом граничных условий на поперечных краях. // Механика композитных материалов. —Т. 30, №4. —С. 540-545.

О ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ РЕЗОНАНСНОГО ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО АППАРАТА

Дьяченко В.А., Дьяченко О.В. Афанасьев Н.И., Костюченко В.В.
(ИНДМАШ НАНБ, г. Минск, НПО «Машиностроитель», г. Гомель, Беларусь)

Принципиальной особенностью измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна резонансного типа (рис.1) является то, что противорезающий брус 5 его консольно закреплен на плоских пружинах 6, расположенных между блоками роликов 8, имеющих ходовой винт 7, связанный с электродвигателем 9. При резании технологической массы барабаном 1 отклоняется противорезающий брус 5, а затем под действием сил упругости

пружин 6 возвращается в исходное положение и движется вверх, навстречу следующему ножу. В результате возрастает суммарная скорость резания, улучшается качество измельчения. Энергоемкость процесса снижается за счет введения системы в резонанс. Это осуществляется при помощи датчиков 3, блока сравнения 4 и исполнительного механизма.

Для аналитического исследования процесса резания технологической массы резонансным измельчающим аппаратом была разработана динамическая схема (рис.1, б), математическая модель, создана программа выбора его основных параметров и режимов работы.

Математическая модель включает следующие параметры: φ_d - угловая скорость привода измельчающего аппарата; φ_b - угловая скорость самого барабана; X_n - поступательная скорость ножа; $X_{бр}$ - поступательная скорость противорезающего бруса; J_d - момент инерции механизма привода; J_b - момент инерции барабана; m_n - масса ножа; $m_{бр}$ - масса бруса; e_{db} - податливость привода барабана; e_n - податливость крепления ножа; $e_{бр}$ - податливость крепления противорезающего бруса (плоских пружин); K_{db} - коэффициент демпфирования привода; K_n - коэффициент демпфирования

перерезаемой массы; r_b - радиус барабана; M_d - движущий момент; F_p - усилие резания массы; P_n - движущая сила, приложенная к ножу со стороны измельчающего барабана; $P_{бр}$ - движущая сила, приложенная к брусу со стороны опоры.

Исследованиями установлено, что максимальный эффект, т.е. снижение ди-

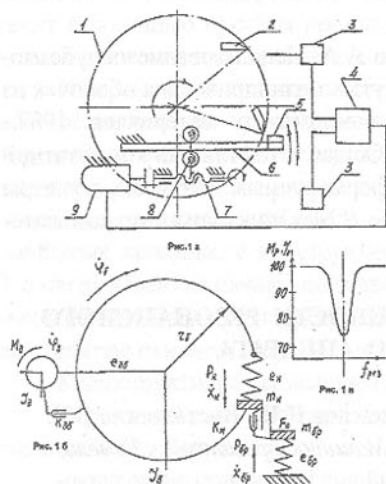


Рис. 1. Моделирование динамической нагруженности резонансного измельчающего аппарата: а - принципиальная схема; б - динамическая модель; в - изменение момента резания при резонансе; (по А.с. № 1540721). 1 - барабан; 2 - нож; 3 - датчик; 4 - блок сравнения; 5 - противорезающий брус; 6 - плоская пружина; 7 - ходовой винт; 8 - блок роликов; 9 - электродвигатель.

намической нагруженности на 25...30 % (рис.1, в), достигается при снижении частоты вращения барабана до 700 мин, уменьшения числа ножей последнего до 3 шт., резко 35...60 мм. При этом снижается мощность на привод барабана и сохраняется качество резки.

Авторами разработана методика определения параметров системы, включающая упругую однородную балку постоянного сечения, заделан-

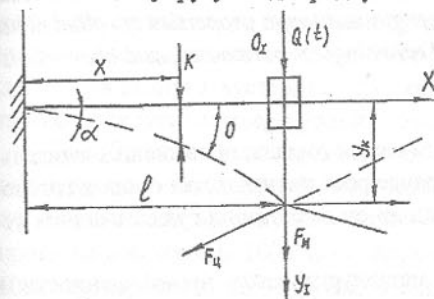


Рис. 2. К определению параметров системы противорезающий брус - упругая балка.

ную одним концом, и совершающую изгибные колебания в плоскости чертежа (рис.2). Длина балки равна L , E - модуль упругости; J - момент инерции площади постоянного поперечного сечения. Рассматриваемая упругая балка представляет собой материальную систему с распределенными параметрами.

Собственную частоту колебаний системы определяем с учетом массы балки и момента инерции противорезающего бруса. При исследовании упругих колебаний системы с распределенными параметрами использовали приближенный метод, основанный на задании конфигурации при ее движении. Конфигурация задавалась с точностью до одного, зависящего только от времени, параметра. При этом механическая модель обладает одной степенью свободы (метод Рэлея) [1].

После проведения математических преобразований, с определением кинетической и потенциальной энергии системы, получаем уравнение для определения критической угловой скорости резонансного измельчающего аппарата.

Таким образом, авторами разработаны основы теории и созданы конструкции принципиально новых измельчающих аппаратов - резонансного типа, которые обеспечивают качественное измельчение технологической массы и значительно снижают энергоемкость процесса. Предложена методика определения основных параметров и режимов работы этих аппаратов.

Список литературы: 1. Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Наука, 1968. - 559 с. 2. А.с. 1540721 СССР, МКИ А 01 Г 20/00. Измельчающий аппарат / В.А. Дьяченко, А.И. Стефанович, Л.И. Бойко, Н.И. Афанасьев, И.А. Долгов (СССР) - 4382415/30-15. Заявлено 23.08.88. Оpubл. 07.02.90. Бюл. № 5 - 3 с.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОЛСТОЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Егоров Н.Т. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

New technologies of deformational heat treatment of thick steel are described. These technologies let to improve strength and tough properties of rolled metal when energy losses are minimized. Technological parameters and characteristics are adduced.

В последние годы в металлургической отрасли произошли значительные изменения. Прогнозируемый ранее рост производства стали и готового проката не оправдался, да и вряд ли он возможен в существующих условиях.

Первоочередными задачами металлургической промышленности в настоящее время являются снижение энергоемкости производства и стоимости металлопродукции. Этим проблемам сегодня уделяется гораздо больше внимания, чем вопросам улучшения качества металла.

В этой связи традиционные способы улучшения комплекса свойств металлопроката, какими являются легирование и термическая обработка, в частности закалка с высоким отпускком, сегодня уже не удовлетворяют ни производителей, ни потребителей из-за значительных материальных и энергетических затрат на их реализацию.

Перспективно и экономически выгодно с точки зрения трудозатрат, качества проката и экологии формировать необходимую структуру металла, а следовательно и его свойства в ходе деформационно-термической обработки непосредственно в потоке прокатных станов, используя при этом обычные низколегированные стали массового назначения.

В практике производства толстолистового проката для достижения наиболее благоприятного комплекса свойств широкое развитие получила контролируемая прокатка в сочетании с ускоренным охлаждением. Для получения мелкозернистой структуры контролируемую прокатку стремятся завершить в двухфазной $\gamma + \alpha$ -области, что не всегда возможно, оправдано и научно обосновано.

Исследованиями с применением компьютерного моделирования установлено, что эффективное измельчение зерна аустенита в низколегированных сталях, не содержащих карбидообразующих элементов, может быть достигнуто в ходе высокотемпературной деформации благодаря управляемому протеканию процесса рекристаллизации.

Показано, что путем одновременного ограничения температуры деформации, суммарной и разовой степени обжатия, а также скорости охлаждения в процессе деформации и после ее завершения можно в низколегированных сталях массового назначения, таких как 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1 и 10ХСНД, не только получить, но и сохранить к моменту начала $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения достаточно мелкое (15-20 мкм) зерно аустенита. При такой величине аустенитного зерна размер получаемого зерна феррита практически одинаков как при распаде полностью рекристаллизованного, так и деформированного аустенита, что, свидетельствует о необязательности применения низкотемпературной прокатки [1].

Разработана и предложена для промышленного использования технология высокотемпературной деформационно-термической обработки, предусматривающая проведение рекристаллизационной регламентированной прокатки в интервале 1000°C - т. Аг₃ с суммарным обжатием не менее 40-60% и ускоренного регулируемого охлаждения со скоростями 3-20 °C/с, конкретные параметры которого определяются химическим составом стали и режимом предшествующей горячей деформации.

Опробование разработанной технологии на станах 3000 Мариупольского меткомбината им.Ильича, а также 2800 и 800 ОХМК показало, что ускоренное прерванное охлаждение листов до 670-730°C со скоростями 15-17 °C/с после регламентированной прокатки ($t_{кл.} = 850 - 870^\circ\text{C}$) приводит к повышению временного сопротивления разрыву и предела текучести сталей не менее, чем на 50 и 70 Н/мм² соответственно, ударная вязкость при температурах испытания -40 и -70°C при этом возрастает почти вдвое.

Совмещение процессов высокотемпературной прокатки и термообработки в потоке стана с промежуточной перекристаллизацией позволяет эффективно использовать тепло прокатного нагрева и обеспечивает формирование более высокого комплекса механических и эксплуатационных свойств проката по сравнению с обычной термообработкой за счет проявления эффекта наследственности. Установлено, что влияние наследственности может быть весьма существенным. Благоприятное влияние на ускорение процессов структурной и фазовой перекристаллизации при термообработке оказывает предварительная деформация в субкритическом интервале температур.

Прогрессивным направлением развития деформационно-термической обработки толстолистовой стали является ее осуществление с использованием знакопеременной деформации многократным изгибом [2].

Особенность и привлекательность такой обработки заключается в том, что она может осуществляться вне линии прокатных станов не ос-

ложняя их работу, а деформационное воздействие на листовой прокат производится без изменения его формы путем циклического изгиба.

Основными параметрами технологии, требующими контроля и регулирования, являются разовая степень деформации за цикл изгиба, числа циклов изгиба, условия охлаждения и температура обработки.

Наиболее высокие прочностные и вязкие свойства при сохранении высокой пластичности достигаются при деформационном воздействии в интервале 900-500°C с максимальной степенью разовой деформации на цикл изгиба 3-4% и числом циклов изгиба не менее 7. Скорость охлаждения в процессе деформации выбирается и регулируется в пределах 5 - 80°C/с в зависимости от марки стали и толщины обрабатываемых листов.

Реализация технологии возможна в агрегатах роликового типа, состоящих из правильно-охлаждающих и охлаждающих секций, содержащих типовые элементы роликовых закалочных и правильных машин.

Оснащение толстолистовых станов агрегатами совмещенной термопластической обработки позволяет с минимальными затратами подвергать деформационно-термической обработки практически весь толстолистовой прокат, обеспечивая при этом значительную экономию энергозатрат (до 50-70%), повышение прочностных характеристик стали на 25-30%, ударной вязкости в 1.5-1.8 раза при одновременном снижении содержания легирующих элементов.

Внедрение новых технологий деформационно-термической обработки позволяет получить толстолистовой прокат с высоким комплексом свойств и исключить необходимость проведения энергоемких видов термической обработки.

Список литературы: 1. Kozasu I. Hot Rolling as a High Temperature Thermo-Mechanical Process // Proceedings Microalloying - 75. N.Y., 1977. P.136 - 150. 2. Долженков Ф.С., Подгайский М.С., Следнев В.П. Возможности и пути реализации совмещенной обработки толстолистового проката // Сталь, 1987, № 4. - С. 81-85.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СБОРНЫМИ ОСЕВЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ, ОСНАЩЕННЫМИ СМП

Емельянов С.Г., Сорокина О.С. (КГТУ, г. Курск, Россия)

It's consideration of the geometrical model of the formation of the surfaces by the combined borers. The logical connection of the parameters is expressed by the formula of the tool.

Все существующие методики расчета инструмента используют в качестве исходных данных параметры детали. Однако использование приближенных методов расчета, уже на стадии проектирования приводит к появлению погрешности, неизбежно влияющей на качество обработки. Появление быстродействующих ЭВМ позволяет использовать более точные методы расчета, но требует более жесткой формализации существующих параметров. При создании единой геометрической модели формирования поверхностей режущими инструментами необходимо приведение методик расчета различных классов инструментов в систему, обладающую логической и аналитической связью параметров и охватывающую все способы формирования поверхности режущими инструментами. Такая задача была решена в работе [1]. Режущий инструмент при формировании поверхности выполняет две функции: формирования поверхности и срезания припуска. В пределах выполнения этих двух функций логическая связь параметров модели наглядно представляется формулой инструмента. Геометрическая модель формирования поверхностей сборными осевыми металлорежущими инструментами является частным случаем общей геометрической модели и имеет свои особенности рассматриваемые в данной статье. Формула сборного осевого инструмента имеет вид:

$$\left[f_1^{*2} \Sigma_1^{*1} \left[e_0^{*1} f_0^{*2} \left[K'_{02} \left[S_k \Sigma_k t_k \right] \sum_{n=1}^N \left[K_2 \cdot e_\gamma e_a \right]_n \left[f_1^{*2} \Sigma_1^{*1} \right] \right] \right]$$

Рассмотрим подробнее ее структуру.

Поверхность, формируемая сборными осевыми инструментами является круглым цилиндром, образующей которого является прямая линия, а направляющей - окружность. Формула движения, необходимого для получения такой поверхности сборным осевым инструментом $\left[f_1^{*2} \Sigma_1^{*1} \right]$ где f_1^{*2} - формула вида резания; f - параметр главного движения резания, в данном случае направленного по направляющей; *2 - движение является вращательным; 1 - является зависимым от формы направляющей; Σ_1^{*1} - формула вида профилирования; Σ - параметр движения по образующей; *1 - движения является прямолинейным; 1 - зависимым от формы образующей;

— - движения выполняются одновременно при сохранении за каждым из них своего цикла.

По классификации приведенной в источнике [1] способом формирования поверхности является копировальное точение.

При выполнении этих движений сборный осевой инструмент формирует производящую поверхность представленную формулой $\left[e_0^{*1} f_0^{*2} \right]$ где e - параметр образующей производящей поверхности;

f - параметр направляющей производящей поверхности;

*1 - координатная линия допускает движение самой по себе и является прямой;

*2 - координатная линия допускает движение самой по себе и является дугой окружности.

Для сборных осевых инструментов производящая поверхность совпадает с номинальной поверхностью детали.

Формирование номинальной поверхности детали происходит точкой лежащей на производящей линии: $[K'_{02}]$

где K_0 - параметр производящей линии;

2 - параметр производящей линии является независимым;

K'_{02} - положение формообразующей точки определяется значением K'_{02} производящей линии.

Формула движения, формула производящей поверхности и формула производящей линии составляет формулу вида инструмента:

$$[f_1^{*2} \Sigma_1^{*1}][e_0^{*1} f_0^{*2}][K'_{02}]$$

Один вид инструмента может содержать несколько типов. Тип инструмента данного вида - это система режущих кромок, принятая для выполнения инструментом второй своей функции - функции срезания припуска.

Для сборных осевых инструментов в общем виде формула типа инструмента выглядит следующим образом:

$$[f_1^{*2} \Sigma_1^{*1}][e_0^{*1} f_0^{*2}][K'_{02}][S_k \Sigma_k t_k]$$

где S_k - конструктивная подача по направляющей;

Σ_k - конструктивная подача по образующей;

t_k - конструктивная подача сближения.

Для сборных сверл необходимы все перечисленные подачи, для сборных зенкеров и разверток достаточно конструктивной подачи по направляющей S_k .

Для описания лезвий инструмента используют в общем случае пять параметров геометрической модели - K , e_γ , f_γ , e_α , f_α . Формула типа лез-

вия для сборных осевых инструментов имеет вид $\sum_{n=1}^N [K_2 \cdot e_\gamma e_\alpha]_n$

где K - параметр режущей кромки; 2 - независимый;

e_γ - параметр образующей передней поверхности;

e_α - параметр образующей задней поверхности.

Режущая кромка является направляющей передней (f_γ) и задней поверхности (f_α).

Формула схемы срезания припуска содержит движения необходимые для срезания припуска. Как в случае сверления, так и в случае зенкерования функция срезания припуска реализуется двумя движениями D_f и D_Σ , а формула вида схемы срезания припуска выглядит следующим образом:

$$[f_2 \Sigma_1]$$

Список литературы: 1. Лашнев С.И., Борисов А.Н., Емельянов С.Г. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами: Монография / Курск. 1997. 391 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

Енин В. Н., Марков И. Е., Скрибанов Е. В.

(МГТУ им. Н.Э. Баумана, АОЗТ "АЗР", МАСИ, г. Москва, Россия)

Some results of the experimental investigation projected by the authors of the high capacity precision device for control of geometrical parameters of gear-wheels are described in this paper.

Принцип действия рассматриваемого устройства контроля основан на предложенном авторами [1,2] бесконтактного контроля окружного шага и накопленной погрешности зубчатых колёс путем измерения кольцевым лазерным интерферометром (КЛ) углового расстояния между зубьями контролируемого вращающегося колеса.

Устройство содержит шпиндельный узел с закрепленными КЛ и контролируемым зубчатым колесом, оптико-электронный датчик (ОЭД), вырабатывающий опорные импульсы при повороте колеса на величину окружного шага каждого зуба, отметчик одного оборота (ОО), стабилизированный безредукторный электропривод, электронный блок и ПЭВМ.

Исследование работоспособности и точностных характеристик было проведено на лабораторном макете устройства, собранном по вышеописанной схеме. В макете были использованы разработанные авторами схемы фиксации угла, построенные на двухплощадочном фотоприёмнике

(ФП). ОЭД построен по дифференциальной схеме, формирующей выходной опорный импульс при равенстве мгновенных значений сигналов, вырабатываемых каждым каналом ФП. Среднеквадратическое значение погрешности срабатывания экспериментальных образцов ОЭД составило 1,6 дуг. сек. ОО построен по схеме с амплитудной модуляцией, в которой на выходах двухплощадочного ФП вырабатываются две последовательности импульсов, модулированные по амплитуде Гауссовыми импульсами, а фиксация углового положения осуществляется по привязке к центру тяжести второго Гауссова импульса. Среднеквадратическая погрешность экспериментальных образцов ОО составляла 0,16 дуг. сек. Цена импульса КЛ равнялась 1,2657 дуг. сек./имп., а относительная погрешность масштабного коэффициента - не хуже 10^{-5} . Скорость вращения шпиндельного узла равнялась 1/3 об. сек. при нестабильности не хуже $\pm 0,3\%$, радиальное биение вала шпиндельного узла не более 1,5 мкм.

Экспериментально исследовались погрешности измерения окружного шага и накопленной погрешности цилиндрических колёс разного класса точности, с разным числом зубьев и модулем.

Основные выводы, полученные на основе обработки результатов эксперимента:

Среднеквадратическая погрешность определения отклонения окружного шага для колеса с $Z = 26$ и $m = 5$ мм, изготовленного по третьему классу точности, составила 0,4 мкм, а погрешность определения накопленной погрешности колеса составила 1,37 мкм при времени измерения 3 с.

Характер распределения случайных погрешностей окружного шага и накопленной погрешности имеют нормальный закон.

Случайная погрешность измерения увеличивается с увеличением шероховатости поверхности зуба, при этом, погрешность измерения шлифованных колёс в 5...10 раз меньше погрешности измерения нешлифованных колёс может быть снижена в 3...5 раз при увеличении времени измерения до 30 с. Случайные погрешности схем фиксации (ОЭД и ОО) составляют (90...95)% случайной составляющей погрешности измерения.

Систематические погрешности КЛ и других элементов устройства пренебрежимо малы по сравнению со случайными.

Таким образом экспериментально подтверждены высокая точность и производительность устройства контроля погрешностей зубчатых колёс.

Список литературы: 1. Авт. свид. № 1719980 (СССР). Устройство для контроля окружного шага и накопленной погрешности зубчатых колёс / В. Н. Енин, И. Е. Марков, Е. В. Скрибанов. Опублик. в БИ № 10, 1992. 2.

Авт. свид. № 1742619 (СССР). Устройство для контроля окружного шага зубчатых колёс / Е.В.Скрибанов, В.Н.Енин, В.Н.Курятов и др. Опублик. в БИ № 23, 1992.

ОРГАНИЗАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В АО "НОРД"

Жидков В.В., Горин А.Н., Скляренко Н.А., Райкис И.П.
(АО "НОРД", ЗАО "ДИХТ", г. Донецк, Украина)

Description of the used technics and software for design preparation of production at SC "NORD".

Традиционная конструкторская подготовка производства, включающая проектирование изделий, оснастки и изготовление оснастки, которой располагают большинство предприятий электробытового машиностроения имеет существенные недостатки:

1. Высокая трудоемкость и длительные сроки проектирования изделий и оснастки со сложными поверхностями.
2. Технологическая проработка изделия возможна только после предоставления чертежей изделия.
3. Детали оснастки изготавливаются на универсальных станках с ручной доводкой, что приводит к низкой взаимозаменяемости деталей, полученных в разных гнездах литформ и на разных дублерах.

Для решения перечисленных проблем конструкторская подготовка производства на АО "НОРД" в настоящее время располагает современной компьютерной техникой: компьютеры Pentium -166, струйные плоттеры, принтеры, сканеры, локальная сеть, соединяющая компьютеры конструкторской подготовки с инструментальным производством. При разработке документации а основном используются пакеты AutoCAD версий 12 и 14.

Современная техника и, созданные в АО, условия для ИТР привлекают в службу подготовки производства квалифицированных специалистов, быстро адаптирующихся к местным условиям.

Однако, несмотря на наличие перечисленных условий, для сохранения своего места на рынке товаров народного потребления, необходимо дальнейшее развитие системы подготовки производства.

С этой целью АО "НОРД" была приобретена интегрированная система автоматизированного сквозного проектирования Pro/ENGINEER, а также в дополнение к имеющемуся оборудованию, электроимпульсный (ROBOFORM) и электроэрозионный (ROBOFIL) станки с ЧПУ фирмы SHARMILL (Швейцария).

Эта система включает три, оснащенных необходимыми программами, компьютеризированных рабочих места, объединенных локальной сетью.

Внедрение системы Pro/ENGINEER позволяет:

1. Сократить сроки подготовки производства, так как эта система допускает параллельное (одновременное) проектирование изделия и оснастки при наличии локальной компьютерной сети. Оснастка проектируется с использованием библиотеки стандартных элементов, которая является составной частью пакета.

2. Проектировать и изготавливать изделия со сложной геометрией и получать объемные светотеневые изображения математической модели изделия, причем имеется возможность рассматривать его под разными углами зрения и в любом масштабе.

3. Обеспечить идентичность изделий, получаемых на разных дублирах оснастки, так как рабочие части изготавливаются на станках с ЧПУ на основании программы, получаемой непосредственно из электронной модели изделия.

4. Повышается качество изделия. Устраняются ошибки при проектировании изделий, оснастки и изготовлении ее, так как и оснастка и программы для ЧПУ получаются из одной модели.

5. Снижается материалоемкость изделий, так как в пакете Pro/ENGINEER имеются программы, позволяющие анализировать прочность, заполнение формы и другие характеристики изделий. На основе этого анализа могут быть получены изделия с оптимальной геометрией.

6. Сокращаются расходы на доводку оснастки, так как в пакете имеется программа, позволяющая получить картину распределения температур и давлений при заполнении литейной формы. Кроме того имеется программа, позволяющая получать развертки изделий из листового металла.

7. Выполняются высококачественные чертежи изделия и оснастки на основании математической модели изделия и оснастки.

8. Сокращаются сроки внесения изменений в чертежи, так как получаемые модели являются параметризованными, то есть при изменении любого размера детали происходит его соответствующее автоматическое перечерчивание. По этой же причине возможно быстрое проектирование гаммы аналогичных изделий, отличающихся друг от друга некоторым количеством размеров. Корректировка размеров в математической модели изделия приводит к автоматическому изменению размеров в чертежах изделия и оснастки и управляющих программ для станков с ЧПУ.

9. Имеется возможность управления всем проектом, так как в пакете есть соответствующая программа.

Фирма PTC, поставляющая этот пакет, предоставляет также оборудование и программное обеспечение для лазерной стереолитографии изделий.

Такое оборудование позволяет быстро получать образцы изделий без дорогостоящего изготовления оснастки.

Эффективность системы достигается применением локальной сети, объединяющей три рабочих места на базе рабочих станций Silicon Graphics:

1. Рабочее место конструктора по проектированию изделий,
2. Рабочее место конструктора по проектированию оснастки,
3. Рабочее место программиста станков с ЧПУ.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭПОКСИ-ПОЛИЭФИРНОЙ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ П-ЭПЭ-2010

Жидков В.В., Филиппов С.Н., Скляренко Н.А., Демин Л.Г.
(ЗАО "ДИХТ", АО "НОРД", г. Донецк, Украина)

Powder (hybrid-type polyester-epoxy) coating produced by SC "NORD" pertains to wide used up-to-date technologies of plating.

В последние годы получили распространение антикоррозионные покрытия из синтетических полимеров, наносимые на изделия в виде порошков. Это позволило упростить технологический процесс окраски, повысить экономическую эффективность и качество отделки, значительно расширить ассортимент пленкообразующих веществ, уменьшить (или исключить полностью) применение органических растворителей. В результате удалось получить более долговечные и экономичные покрытия, уменьшить вредное воздействие на окружающую среду, улучшить санитарно-гигиенические условия труда, снизить производственные затраты.

Получение покрытий из порошков - перспективное направление, о чем свидетельствует быстрый рост в большинстве индустриально-развитых стран мира производства полимерных материалов для окраски. В Украине не многие заводы освоили промышленное получение покрытий с применением порошковых материалов.

Для получения качественных защитно-декоративных покрытий порошковые краски должны удовлетворять определенным требованиям, таким как сыпучесть, неслеживаемость при хранении, оптимальная степень дисперсности, способность к псевдооживлению и т.д. На свойства покрытий ока-

зывает влияние способ приготовления порошковых композиций. Действие модифицирующих добавок наиболее полно проявляется при приготовлении композиции смешением в расплаве, приводящем к однородному распределению в массе компонентов. Для приготовления порошковых красок используются как совместимые, так и несовместимые друг с другом полимеры.

Эпокси-полиэфирная композиция П-ЭПЭ-201 - гомогенизированная смесь эпоксидной и полиэфирной смол, пигмента и наполнителей, представляет собой тонкодисперсный порошок белого цвета.

Производство композиции проводится способом смешения компонентов в расплаве. В начале производственного процесса отдельные компоненты рецептуры например, смолы, пигмент, добавки в соответствии с необходимым количеством смешивают в смесителе по типу быстрого смешения. Готовая смесь загружается в экструдер где проходит три технологических этапа:

1. Втягивание и сгущение.
2. Пластификация.
3. Гомогенизация и диспергирование.

Полученный продукт подается к мельнице, где происходит измельчение крошки до состояния порошка в соответствии с предварительно заданными размерами частиц \ не более 100 мкм \. Одновременно с процессом дробления мельница с помощью вентилятора отсасывает большие количества воздуха. Воздушный поток передает измельченный порошок к циклону, куда поступает для дальнейшего использования приблизительно 98% продукта. Остальные 2% в виде мельчайшей пыли отделяется от воздуха в находящемся в установке-фильтре. Через питатель циклона порошок попадает к установке засыпки порошка в полиэтиленовые мешки. Дозирование продукта весовое, в количестве 20 кг на каждую единицу упаковки. Мешок герметично затягивается полиэтиленовой защелкой-замком и упаковывается в коробку из гофрокартона.

Производство порошковой композиции осуществляется на оборудовании Швейцарской фирмы BUSS. После освоения в производстве АО "НОРД" порошковой композиции П-ЭПЭ-201 стало возможным обеспечить собственное производство качественной краской. Производственная мощность линии по изготовлению порошковых красок может обеспечить не только собственную потребность, но и выйти на европейский рынок.

Порошковая композиция П-ЭПЭ-201 предназначена для нанесения на корпуса бытовых холодильников и других изделий общего назначения. Порошковая композиция не может наноситься на окрашиваемую поверхность ни одним из обычных методов нанесения лакокрасочных материа-

лов, содержащих органические растворители, а также вододисперсионных красок. Композиция предназначена для нанесения трибостатическим методом. Установка напыления состоит из распылителя порошка предназначенного непосредственно для распыления порошковой краски ТРИБО, и системы регенерации порошка. Трибометод в отличие от общепринятого электростатического метода распыления порошковых красок не использует внешнего источника энергии высокого напряжения. АО "Норд" имеет опыт изготовления промышленных установок для трибостатического напыления порошковых красок с использованием переносных ручных, стационарных и автоматизированных распылительных устройств.

СТАТИЧЕСКИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫЙ РАСЧЁТ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ

Жилякова Н.Ю. (АГТУ, г. Астрахань, РСФСР)

The report is devoted to the development of the statistical deformably calculation of the space metal design of the port cranes with the method usage of the last elements and the theory of the thin cove.

В докладе показан опыт изучения многочисленных работ ЛИВТа (г. Санкт-Петербург) по исследованию порталных кранов, откуда следует, что расчётно - аналитическое определение максимальных нагрузок и, как следствие, предельных параметров значений напряженно - деформированного состояния (НДС) кранов при экстремальных воздействиях, как минимальной несущей способности, не имеют достаточного теоретического и экспериментального обоснования. Связано это не только с тем, что порталные краны работают в весьма разнообразных условиях эксплуатации с различным географическим расположением портов и проходящих через них грузопотоков, но и с недостаточно развитыми подходами точного деформационного расчётного анализа пространственных металлоконструкций (м/к) порталных кранов при экстремальных эксплуатационных статическом и динамическом нагружениях:

- 1) ураганных ветрах до 180 км/час, например, имевших место в январе 1998 г. в г. Новороссийске (КП №7 (21751) от 29.01.1998 г.);
- 2) при интенсивной работе на рельсовых подкрановых путях с неровностями [2];
- 3) при наездах порталных кранов на тупиковые упоры, в т.ч. для случаев наезда на тупиковые упоры безударного типа, разработанные

ЦНИИОМТП [3], - для кранов с диаметром ходовых колес до 500 мм и нагрузкой на рельс до 325 кН (32,5 т);

- 4) при соударениях кранов работающих на одной нитке рельсовых путей;
- 5) при работе двух порталных кранов на один груз и др.

Исследования [4] показывают, что при фактической частоте возникновения риска аварии порталных кранов $3,8 \cdot 10^{-4}$ (полученного по результатам обработки данных Госгортехнадзора (ГГТН) РФ) при количестве в стране порталных кранов (табл. 1), находящихся на учёте в ГГТН РФ,

Таблица 1 - Численность порталных кранов в России в 1991 - 96 гг. [4].

Портальные краны	Численность по годам					
	1991	1992	1993	1994	1995	1996
	4542	4481	4481	4532	4534	4403

статистически более чем один кран в год может оказаться в условиях аварийного разрушения. В частности, 29.02.96 г. в морском порту г. Туапсе потерпел аварию порталный кран „Альбатрос” (изготовленный в ГДР в 1975 г. заводом „Кранбау Эберсвальде”), в результате разрушения болтовых фланцевых креплений м/к портала.

В докладе, на основе проведённого анализа, предложена методика деформационного расчёта НДС м/к порталных кранов на экстремальные нагрузки на основе теории метода конечных элементов (МКЭ). Пространственная стержневая м/к порталного крана моделируется МКЭ с использованием теории тонкостенных стержней. Практическая методика разработана на примере порталного крана „Альбатрос”, расчётная динамическая модель (РДМ) которого состоит из 47 дискретных узлов и 75 континуальных стержневых конечных элементов (КЭ) (рис.1).

Скелетная схема РДМ крана на рис. 1 показана в общей системе координат (ОСК) OXYZ и является внешне статически определяемой системой.

Матричное уравнение статического равновесия МКЭ n порядка, где n -число степеней свободы РДМ, имеет вид:

$$([K] - [K(Q)])\{V\} - \{R_p\} = \{0\}, \quad (1)$$

где $n=7u$, u - число узлов РДМ м/к порталного крана (см.рис.1); $\{R\}$ - вектор нагрузок; $\{V\}$ - вектор неизвестных перемещений узлов РДМ крана в ОСК OXYZ.

Уравнение (1) включает матрицу жёсткости $[K]$ линейно-упругой системы м/к крана и матрицу геометрической жёсткости $[K(Q)]$ [5], зависящую, опосредованно, через внутренние усилия $\{Q\}_{jk}$ каждого jk КЭ системы от внешней нагрузки, причём

$$\{Q\}_{jk} = \begin{Bmatrix} ((Q_x Q_y Q_z N_z M_x M_y M_z B)^j)^T \\ ((Q_x Q_y Q_z N_z M_x M_y M_z B)^k)^T \end{Bmatrix}_{14 \times 1} \quad (2)$$

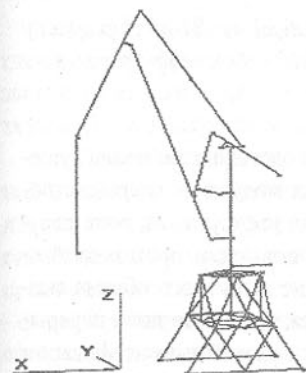


Рис. 1. Конечнo-элементная РДМ м/к порталного крана „Альбатрос» (узлов 47, КЭ 75).

где, кроме шести известных внутренних усилий, седьмая компонента B - бимомент тонкостенных стержней м/к крана; T - индекс транспонирования. Очевидно, что вектор неизвестных перемещений $\{V\}$ n порядка в уравнении (1) будет иметь поузловую структуру, аналогичную (2)

$$\{V\} = (\{V\}^1 \{V\}^2 \dots \{V\}^j \dots \{V\}^k \dots \{V\}^u)^T, \quad (3)$$

где $\{V\}^j = \{\delta_x \delta_y \delta_z \phi_x \phi_y \phi_z \theta\}^j$, состоит из 3-х линейных, 3-х угловых перемещений j узла и его деформации θ в ОСК OXYZ.

В докладе будет показан опыт практических деформационных (уточнённых) расчётов м/к порталных кранов и их сравнение с результатами экспериментальных исследований, полученных в ЛИВТе (С.-Пб.).

Список литературы: 1. Новицкий В.И. Оценка надёжности элементов опор порталов грейферных кранов. Труды ЛИВТа. Вып.149. Механизация и оборудование портов. Л.: Транспорт, 1974.-С.41-45. 2. РД 10-138-97. Комплексное обследование крановых путей грузоподъёмных машин. Часть 1. Общие положения. Методические указания. М.: Истек, 1997.-38 с. 3. Обследование тупиковых упоров грузоподъёмных кранов/ В.Н. Алексютин, Г.М. Банных, Ю.А. Гутарев и др. М.: ЦНИИОМТП, 1997.- 35 с. 4. Короткий А.А. Методические основы оценки, прогнозирования и управления промышленной безопасностью подъёмных сооружений. Автореферат диссерт. ... док. тех. наук. Новочеркасск: НГТУ, 1997. -39 с. 5. Панасенко Н.Н., Левин А.И., Юзиков В.П. Статический деформационный расчёт пространственных тонкостенных стержневых систем произвольного вида./Изв. СКНЦ ВШ. Техн. Науки. 1988. №4.-С.134-138.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СТРУЖКИ, ФОРМИРУЕМОЙ В ТОКАРНЫХ МОДУЛЯХ

Жохова В.В. (МГТУ "Станкин", Москва, Россия)

Quality of turning chip is very important. Mathematical model of chip quality estimation has been proposed. It takes into consideration chip parameters depending on the chip states.

Автоматизация машиностроительного производства потребовала существенного повышения надёжности технологических модулей. Совершенствование инструментальных материалов и конструкций инструмента, рост жесткости и виброустойчивости станков значительно повысили производительность обработки резанием. Это вызвало увеличение минутного объема снимаемой стружки, температуры, скорости ее разлета, снижение доли перерывов в резании. Перечисленные факторы привели к резкой интенсификации повреждающего воздействия стружки, обуславливающего производственный травматизм, повреждения инструмента, детали, датчиков, коммуникаций, системы охлаждения. В результате значительное место в структуре отказов технологических модулей стали занимать травмы оператора и отказы технологической системы, вызванные повреждениями стружкой, а также вынужденные незапланированные остановки для ее удаления [1].

Разработка мероприятий по повышению надёжности технологических модулей в связи с воздействием стружки требует разработки моделей и процедур оценки формирующейся стружки [2]. Интегральная оценка стружки, формируемой определенным инструментом $Q_{\text{шт}} = V_{\text{стр}} / C_{\text{эксп}}$, где $V_{\text{стр}}$ - объем припуска, удаленного этим инструментом за некоторый период времени ("объемная производительность" процесса резания); $C_{\text{эксп}}$ - расходы по эксплуатации технологического модуля, связанные со стружкой, за тот же период времени.

Структуру последних затрат выявили путем анализа возможных состояний стружки и классификации результатов ее воздействия. В технологическом модуле стружка может находиться в четырех состояниях: в виде пыли; в виде отдельных кусочков или клубков, летящих из зоны резания; в виде винта, изогнутой или путаной ленты, движущейся из зоны резания; в виде неподвижной массы на элементах модуля. Этим состояниям отвечают соответствующие группы отказов модуля.

Соответствие требованиям производства стружки, находящейся в каждом из ее состояний, оценивали парциальным коэффициентом, принимающим значения от нуля (для совершенно неприемлемой стружки) до единицы

(для стружки, практически не требующей дополнительных затрат). Затраты на эксплуатацию модуля, связанные с наличием в нем стружки во всех четырех состояниях, представляют собой сумму величин, обратных парциальным оценкам стружки в каждом из состояний. Использование этого допущения приводит к

$$Q_{\text{шт}} = K_{\text{эксп}} V_{\text{стр}} [(Q_n)^{-1} + (Q_l)^{-1} + (Q_d)^{-1} + (Q_s)^{-1}]^{-1}, \quad (1)$$

где $K_{\text{эксп}}$ - коэффициент, отражающий долю эксплуатационных расходов, связанных со стружкой; Q_n - оценка стружки в пылевидном состоянии; Q_l - в летящем; Q_d - в движущемся; Q_s - в неподвижном.

По данным производственных наблюдений и проведенной экспертной оценки, оценка пылевидной стружки определяется ее долей, составом, дисперсностью, температурой, скоростью и "объемной производительностью", летящей - массой отрезка, его температурой, начальной скоростью, направлением и углом разлета, "объемной производительностью", движущейся - формой в макрообъеме, радиусом кривизны, длиной отрезка, температурой, скоростью движения, прочностью, углом подъема витка, зазубренностью кромок и "объемной производительностью", неподвижной - объемным коэффициентом, температурой, зазубренностью кромок и "объемной производительностью".

Так как все виды эксплуатационных затрат пропорциональны "объемной" производительности процесса резания, то разделив все члены уравнения (1) на этот показатель (то есть получив показатели, отнесенные к 1 м^3 снятого припуска), а также пронормировав показатели, то есть придав им значения от нуля до единицы, получили в безразмерном виде

$$Q_{\text{шт}} = (q_n^{-1} + q_l^{-1} + q_d^{-1} + q_s^{-1})^{-1}, \quad (2)$$

где q_n, q_l, q_d, q_s - удельные парциальные оценки стружки в ее четырех возможных состояниях.

В первом приближении считали, что влияния отдельных параметров стружки $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ на оценки $q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n$ независимы, то есть, что взаимодействия параметров стружки в смысле их влияния на ее оценки по сравнению с их отдельными влияниями можно пренебречь:

$$q_i = q_i(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) = q_i[f_{i1}(x_1), f_{i2}(x_2), \dots, f_{ij}(x_j), \dots, f_{in}(x_n)], \quad (3)$$

где f_{ij} - функции, связывающие q_i с x_j . В качестве зависимости оценок q_i с функциями f_{ij} , связанными с каждым из параметров стружки x_j , приняли геометрическую: она предполагает аддитивность логарифмов отдельных функций, а также равную степень их влияния, что и наблюдается на производстве:

$$q_i = q_i[f_{i1}(x_1), f_{i2}(x_2), \dots, f_{ij}(x_j), \dots, f_{in}(x_n)] = [f_{i1}(x_1)]^{c_{i1}} * [f_{i2}(x_2)]^{c_{i2}} * \dots * [f_{ij}(x_j)]^{c_{ij}} * \dots * [f_{in}(x_n)]^{c_{in}}. \quad (4)$$

Вид функций f_{ij} , связанных с каждым из определяющих параметров стружки x_j , устанавливали с учетом того, что зависимость "полезности" (по

фон Нейману-Моргенштерну) или "желательности" (по Харрингтону) объекта от его параметров описывается S-образной кривой. Так, при изменении радиуса кривизны стружки от 0,3 до 3 мм её высокая оценка практически не меняется, при дальнейшем росте в диапазоне 3...300мм - резко ухудшается, а при увеличении от 0,3 до 3м остается неизменной (весьма плохой). Функцию "полезности" или "желательности" описывали обратной тангенсоидой:

$$f_{ij}(x_j) = \frac{1}{2} + \operatorname{arctg} \left(\frac{x_j - a_{ij}}{b_{ij}} \right), \quad (5)$$

где b_{ij} - коэффициент масштаба зависимости по оси x ; a_{ij} - значение параметра стружки x_j , при котором $f_{ij} = 0,5$. Подставляя (5) в (4), а получившийся результат - в (2), окончательно получили

$$Q_{\text{инт}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \left\{ \frac{1}{\prod_{j=1}^n \left[\frac{1}{2} + \operatorname{arctg} \left(\frac{x_j - a_{ij}}{b_{ij}} \right) \right]^{c_{ij}}} \right\}}, \quad \sum_{j=1}^n c_{ij} = 1, \quad c_{ij} > 0, \quad (6)$$

где c_{ij} - коэффициенты весомости j -го параметра стружки при определении её i -й парциальной оценки. Таким образом, влияние параметров стружки учитывается коэффициентами a_{ij} , b_{ij} , отражающими пределы влияния параметра на оценку, и показателем степени c_{ij} , отражающим силу влияния параметра на оценку. Располагая значениями коэффициентов уравнения (6), можно по величине параметров стружки x_j найти её интегральную оценку $Q_{\text{инт}}$. Ранжирование параметров стружки по силе влияния на каждую из оценок позволило определить значения коэффициентов a_{ij} , b_{ij} и c_{ij} . Разработанная математическая модель и методика её использования позволила более полно, чем ранее, оценить влияние геометрии инструмента, режимов и условий резания на надёжность технологического модуля, связанную с воздействием стружки на его элементы.

Список литературы: 1. Гречишников В.А., Жохова В.В. Стабильность формирования стружки как фактор обеспечения надёжности технологической системы // Вестник машиностроения, 1997, №7. - С.20-25. 2. Жохова В.В., Перепицаенко Е.К., Филипповский С.В. Интегральная оценка эффективности формирования стружки при точении // Прогрессивные технологии машиностроения и современность. - Донецк: ДонГУТУ, 1997. - С. 102-103.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ВИБРАЦИИ И КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ

Жук И.В., Драган А.В., Скороходов А.С., Александрова В.С.
(ИНДМАШ НАНБ, г. Минск, Беларусь)

The control-diagnostics complex for solving the problems of inspection and diagnostics of gearing technical condition with help of computer.

Неоптимальная геометрия зубчатого зацепления, ошибки изготовления и монтажа зубчатых колес, особенности процесса пересопряжения - далеко не полный перечень наиболее значимых причин, вызывающих увеличение динамических нагрузок и приводящих в итоге к ухудшению технических характеристик зубчатых передач и механизмов в целом. В первую очередь это относится к виброакустической активности механизма и его кинематической точности. В то же время указанные параметры являются важными источниками информации о техническом состоянии зубчатых механизмов и находят широкое применение в диагностике.

Эффективность использования указанных параметров часто сдерживается ограниченными функциональными возможностями используемых аппаратных и программных средств. Реализация комплексного подхода вызывает необходимость расширить перечень выполняемых ими функций и наполнить их новым качественным содержанием. Выполнению таких требований способствует использование в исследованиях указанных процессов современных ПЭВМ и технических средств обработки сигналов.

Для диагностики технического состояния зубчатых передач по параметрам вибрации и кинематической погрешности в ИНДМАШ НАН Беларуси создан контрольно-диагностический комплекс, который представляет собой измерительный блок и ПЭВМ, объединенные программной системой на базе WINDOWS 95. При создании комплекса основной упор производился на то, чтобы передать ПЭВМ максимально возможное число функций, предоставив измерительному блоку только непосредственное снятие данных с исследуемого объекта. Такое распределение функций обеспечивает более быстрое получение больших объемов информации, ее обработку, хранение и представление в удобном для пользователя виде при значительной экономии времени.

Комплекс позволяет производить измерение параметров вибрации (виброперемещение, виброскорость, виброускорение) исследуемого зубчатого механизма с помощью аналоговых вибродатчиков, а также кинемати-

ческой погрешности с использованием импульсных датчиков угловых перемещений. Замер вибрации может производиться по трем независимым каналам (в различных точках объекта или в одной точке по трем осям координат). Программные средства, используя специально разработанный алгоритм, позволяют выделять из общего сигнала составляющие, создаваемые отдельными элементами передачи.

Обработанная измерительная информация представляется в виде графиков процессов и позволяет оценить уровни вибраций в соответствующих точках и размах кинематической погрешности. Используя быстрое преобразование Фурье, информация может представляться в виде АЧХ для проведения спектрального анализа исследуемых процессов. АЧХ процессов строится с использованием цифровых октавных, третьоктавных или узкополосных фильтров, отличающихся более совершенными характеристиками по сравнению с широко используемыми аналоговыми фильтрами.

Комплекс позволяет реализовывать синхронный режим замера вибрации по трем каналам и кинематической погрешности механизма, что особенно важно при решении задач диагностики технического состояния. Совместный анализ указанных данных позволяет более эффективно обос-

новывать причины и природу динамических явлений, происходящих при работе зубчатых передач, оценивать точность их изготовления и монтажа, определять место расположения зарождающегося или уже имеющегося дефекта, устанавливать взаимосвязь между кинематической точностью и виброакустической нагруженностью объекта.

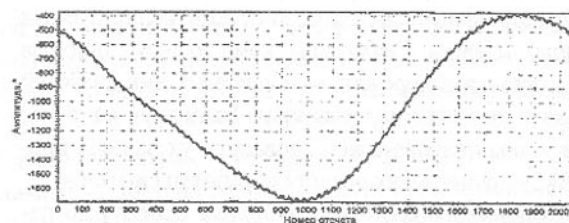


Рис. 1. Кинематическая погрешность зубчатого колеса.

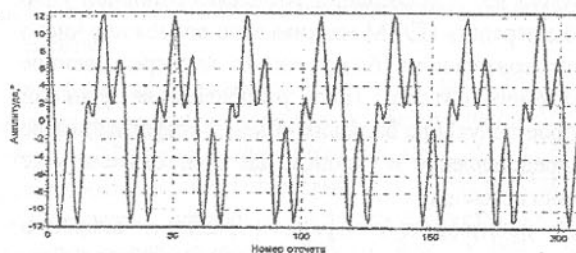


Рис. 2. Составляющая кинематической погрешности зубчатого колеса с частотами кратными частоте пересопределения зубьев.

При исследовании вибрации и кинематики часто имеется необходимость анализа отдельных частотных составляющих этих процессов. Разработанные программные средства представляют возможность получения синтезированных графиков процессов "вибрации" и "кинематической погрешности" с использованием любого набора частот (рис. 1 и 2.).

Эффективная диагностика может осуществляться только при наличии четко сформулированных диагностических признаков состояний объекта или конкретных дефектов, формирование которых происходит в ре-

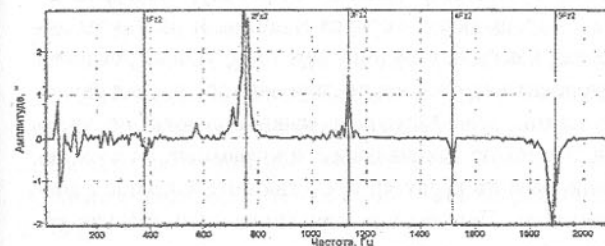


Рис. 3. Разность значений амплитуд соответствующих составляющих на двух режимах работы.

зультате сравнения и анализа исследуемых характеристик при различных режимах работы и состояниях объекта. Комплекс может значительно упростить решение этой достаточно сложной технической задачи - формирование диагностического признака (рис. 3.).

Он позволяет также, при необходимости, экспортировать измеренные данные в числовом виде в другие программы среды WINDOWS для любой иной обработки.

Важной особенностью комплекса является возможность его использования при проведении как стендовых, так и эксплуатационных исследований натуральных объектов.

МОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Заплетников И.Н., Павлов М.Я., Смирнов О.Р.
(ДГКИ, г. Донецк, Украина)

The methodology, results of research work and empirical models of work processes of some types of technological equipment of catering factories is presented.

С целью повышения технического уровня и конкурентоспособности оборудования пищевых производств, применяемого в сфере общественно-

го питания, в ДДКИ совместно с Белорусским ПО торгмаш проводятся комплексные исследования нагрузочной способности этого оборудования совместно с исследованием его виброакустических характеристик. Исследования ведутся на специальном стенде, включающем комплект тензометрической, вибро и шумоизмерительной аппаратуры, преобразователей мощности для регистрации расхода мощности электродвигателем машины, восьмиканальный аналого-цифровой преобразователь и персональный компьютер. Производится одновременная запись усилия резания на рабочем органе машины и (или) крутящего момента на его валу, расхода мощности электродвигателя, виброскорости корпуса машины и величины локальной вибрации в местах контакта с рукой оператора, уровня звуковой мощности в октавных полосах частот и скорректированного уровня звуковой мощности в память компьютера. Математическая обработка полученных осциллограмм выполняется по специальным программам, а их распечатка позволяет проанализировать характер протекающих в технологическом оборудовании процессов. Применение гармонического анализа осциллограмм позволяет не только выделить наиболее значительные гармоники колебательных и шумовых процессов в машинах, определить амплитудно-частотные их характеристики, но и идентифицировать основные источники шума и вибрации. Полученные модели виброакустических характеристик машин очистки картофеля при работе с продуктом имеют вид

МОК-150

$$L = 79,8 + 3,18 \sin(pt + 50,02) + 5,44 \sin(2pt - 4,09) + 3,08 \sin(6pt + 63,92) + 4,13 \sin(10pt - 29,43), \text{ дБА}; \quad (1)$$

$$V = 1,5 + 0,17 \sin(ft + 29,83) + 0,62 \sin(5ft - 72,55) + 0,39 \sin(7ft + 85,0) + 0,51 \sin(9ft + 32,24), \text{ мм/с}. \quad (2)$$

МОК-350

$$L = 79,6 + 5,48 \sin(pt + 31,9) + 6,77 \sin(2pt - 28,89) + 13,02 \sin(3pt + 70,9) + 13,34 \sin(4pt + 79,52) + 6,96 \sin(6pt + 50,68), \text{ дБА}; \quad (3)$$

$$V = 1,6 + 3,14 \sin(ft + 37,68) + 4,71 \sin(2ft - 69,69) + 3,15 \sin(3ft - 65,78) + 1,33 \sin(4ft - 1,85), \text{ мм/с}. \quad (4)$$

где p - круговая частота колебаний скорректированного уровня звуковой мощности; f - круговая частота колебаний корпуса машины; L - скорректированный уровень звуковой мощности; V - виброскорость корпуса картофелечистки.

Идентификация источников шумовых процессов в машинах показала, что основная частота соответствует частоте вращения рабочего органа,

третья частота соответствует частоте взаимодействия картофеля с волнами рабочего органа, четвертая частота - частоте вращения электродвигателя. Шумовые процессы связаны с четными гармониками. Влияние третьей гармоники для картофелечистки МОК-150 менее существенно, т.к. у этой машины волны на диске рабочего органа не столь выражены, т.е. имеют меньшую высоту. Значимые гармоники колебаний виброскорости корпуса машин, в основном, нечетные и соответствуют частоте ударов клубней картофеля по корпусу машины.

Следует отметить, что абсолютные значения скорректированного уровня звуковой мощности и уровни звуковой мощности машин МОК-150 и МОК-350 имеют близкие значения при работе с продуктом.

Эти машины имеют одинаковые кинематические параметры, принцип действия, но различаются конструктивно. Наиболее высокий уровень шума излучают машины на частотах 125 и 250 Гц, однако превышение допустимых норм по шуму лежит в более широком диапазоне частот 125-2000 Гц.

В результате экспериментального исследования нагрузок в овощерезке типа МРО-350 получены многофакторные регрессионные уравнения взаимосвязи ряда технологических параметров с этими нагрузками.

$$M = 8,1 + 0,61 X_1 + 0,662 X_2 + 0,675 X_3 + 1,927 X_4 + 0,41 X_1 X_4 + 0,48 X_3 X_4, \text{ Нм} \quad (5)$$

$$N = 457,55 + 34,43 X_1 + 34,43 X_2 + 38,16 X_3 + 108,88 X_4 + 23,26 X_1 X_4 + 27 X_3 X_4, \text{ Вт} \quad (6)$$

$$S = 278,62 + 27,98 X_1 + 24,42 X_2 + 18,65 X_3 + 34,66 X_4 + 21,32 X_2 X_4 + 22,68 X_3 X_4 + 25,68 X_1 X_3 X_4 + 30,65 X_2 X_3 X_4, \text{ Н} \quad (7)$$

где M - крутящий момент на валу рабочего органа; N - расход мощности электродвигателем; S - осевое усилие, создаваемое рабочим органом; X_1 - модуль упругости продукта; X_2 - усилие на толкателе; X_3 - поперечное сечение продукта; X_4 - толщина нарезки продукта.

Анализ моделей свидетельствует о том, что на нагружение машины наибольшее влияние оказывает толщина нарезаемого продукта, а остальные варьируемые факторы оказывают меньшее влияние и выделить их значимость между собой не представляется возможным. Обращает на себя внимание лишь влияние парного взаимодействия факторов на осевую нагрузку S .

Характер нагружения ножей мясорубки МИМ-600 выражает эмпирическая модель

$$M_n = 4,56 + 1,27 \sin(\omega t - 50,85) + 1,17 \sin(2\omega t - 4,63) + 1,4(5\omega t + 41,67), \text{ Нм}; \quad (8)$$

где M_n - изгибающий момент на перо ножа мясорубки; ω - круговая частота колебаний момента.

В данной модели основная частота идентифицируется частотой вращения электродвигателя, а пятая гармоника, соответствующая амплитуде нагрузки - частотой вращения рабочего органа.

На мясорубку МИМ-600 вместо серийных ножей были установлены ножи косоугольного резания конструкции Могилевского технологического института, причем варьировались 3-х и 4-х перые ножи. Исследования показали, что применение новых ножей приводит к снижению в 2 раза расхода мощности на измельчение мяса в случае установки вначале 3-х перого ножа, а потом 4-х перого в направлении движения продукта. Снижается и коэффициент динамичности нагрузки, величина которого составляет 1,2.

Модель расхода мощности на измельчение мяса N мясорубкой для лучшего варианта установки ножей

$$N = 1,064 + 0,1 \sin(\vartheta t - 74,58) + 0,05 \sin(3\vartheta t - 41,09) + 0,038 \sin(8\vartheta t - 50,06), \text{ кВт} \quad (9)$$

где ϑ - круговая частота колебаний расхода мощности.

Усиление резания F на 3-х пером ноже моделируется зависимостью $F = 68,95 + 4,95 \sin(\alpha + 39,45) + 6,03 \sin(3\alpha - 62,5) + 4,56 \sin(8\alpha - 87,46), \text{ Н}$ (10) где ρ - круговая частота колебания усилий на 3-х пером ноже.

На основании результатов мониторинга технологического оборудования, выпускаемого Белорусским ПО торгмап, для конкретных машин разработаны конструктивные мероприятия, позволяющие повысить их надежность, снизить энергоемкость и улучшить виброакустические характеристики.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭРОТЕНКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРКАСНЫХ АЭРАТОРОВ "ЭКОТОН"

Запорожец Т.В. (ГКП "Черниговводоканал", г. Чернигов, Украина)

This article deals with the comparison of the results of work of the frame aerator "Ekoton" and filter tile. An effective and economic regime of aeration was received as result of the usage frame aerator "Ekoton".

Одной из проблем, которая возникла на КОС г. Чернигова явилось то, что фактическое содержание растворенного кислорода составляет менее 2,0 мг/л. Вследствие чего потребление азота аммонийного идет только на поддержание обменных процессов биоценоза, то есть по минимуму (5,0 мг/л азота на 100,0 мг/л БПК). Так же, при рассмотрении динамики изменения форм азота (аммонийного, нитритного и нитратного) можно отметить, что процесс нитрификации в аэротенках проходит только начальную

стадию, так как концентрация азота аммонийного и фосфора уменьшалась, а количество нитратов и нитритов имело тенденцию к импульсному росту, что характерно для процесса нитрификации. Рост этих концентраций наблюдался по мере продвижения сточных вод с илом от начала аэротенка к выходу из него, это свидетельствует о том, что в последнем коридоре происходит минерализация активного ила в результате его частичного отмирания. Это объясняется тем, что уже в начале 3-го коридора наблюдается истощение субстрата гетеротрофных микроорганизмов активного ила, которые способны перерабатывать органические примеси, так как из-за недостатка растворенного кислорода биоциноз ила не может перестроиться для утилизации соединений азота при минимальном содержании органических примесей.

Неудовлетворительная работа активного ила, возникшая в следствии недостатка растворенного кислорода в иловой смеси из-за засорения и разрушения фильтросной плитки, обуславливается наличием участков коридоров с отсутствием аэрации или же сосредоточенным выходом воздуха.

Удельный расход воздуха очистке сточных вод в аэротенках диктуется нормативной интенсивностью аэрации. Обеспечение нормативной аэрации зависит от равномерности распределения воздуха во всем объеме иловой смеси. Для фиксации этого показателя Харьковским ООО "Экотон" была предложена новая разработка по замене фильтросной плитки на каркасный аэратор с диспергирующим слоем (покрытием), нанесенным непосредственно на полиэтиленовую перфорированную трубу.

После запуска в работу аэротенка №12 с аэраторами типа "Экотон" КОС в течении месяца (с 28.11.97г. по 25.12.97г.) проводились исследования его работы в сравнении с аэротенками, которые работают с использованием фильтросных плит. На основании проведенных исследований установлено:

- 1). Воздух по всем трем коридорам аэротенка №12 поступает равномерно, обеспечивая одинаковое перемешивание иловой смеси и содержание растворенного кислорода составляет 2,5...4,0 мг/л.
- 2). Стабилизировался иловый индекс с 261 до 120, в то время как в аэротенках, где используется фильтросная плитка он достигает 170...300.
- 3). Доза ила веществу и в среднем составляет 3,0 мг/л.
- 4). Концентрация на выходе азота аммонийного уменьшилась с 13,82 мг/л до 2,66 мг/л, а нитратов возросла с 18,45 мг/л до 29,0 мг/л. Следовательно, процесс нитрификации проходит полностью до конца с образованием нитратов.

5). Уже через неделю после начала работы улучшилась гидробиологическая характеристика активного ила. Ил стал более разнообразен своему видовому составу (18 видов простейших). Преобладают активные хорошо работающие организмы характерные для нормальной работы ила: брюхоресничные, кругоресничные, прикрепленные инфузории, зооглеи, раковины, амёбы, появились коловратки (в остальных аэротенках они отсутствуют). Встречаются цисты, мелкие жгутиковые, но их численность небольшая. Следовательно, ил работает удовлетворительно, надиловая жидкость прозрачная, коричневого цвета, хорошо оседает.

Необходимо отметить, что количество плетей, собираемых из аэро-торов в коридорах и секциях аэротенков, определяется компьютерным расчетом по специально разработанной методике, исходя из условия оптимального перемешивания иловой смеси с одновременным и достаточным насыщением ее растворенным кислородом.

На основании предварительных данных можно сделать вывод, что аэраторы "Экотон" обеспечивают эффективный аэрации.

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТЕРМОФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ПЛОСКОСТЕЙ

Зарубицкий Е.У., Покингелица Н.И., Кривобоков В.А.,
Плахотник В.А. (ВУГУ, г. Луганск, Украина)

It is submitted the application of metal disks for cutting rolled metal, machining and strengthening of planes. It is considered temperatures in the zone of cutting, the measures of disk, the efficiency of process. It is cited data by construction of disk, machines and conditions of machining for carrying out adducing technological processes.

Термофрикционное резание (ТФР) - высокопроизводительный метод обработки материалов, стабильно обеспечивающий, при нормальной установке режущего диска (РД), шероховатость обработанной поверхности в пределах $Rz40...Rz80$ в зависимости от степени допустимого износа РД. Это обуславливает рациональное использование ТФР на черновых операциях [1].

С целью значительного повышения стойкости РД при обработке заготовок с большими и неравномерными припусками осуществляют поворот его оси на некоторый угол α_y . При этом образующаяся неплоскостность обработанной поверхности H должна учитываться при назначении припуска на дальнейшую обработку.

Из геометрического анализа схемы работы РД (рис. 1)

$$H = K''P'' \cdot \sin \alpha_y$$

Величину $K''P''$ можно определить при рассмотрении треугольника $O''F''E''$

$$F''E'' = B/2 = \sqrt{R_0^2 - (R_0 - K''P'')^2}$$

Исключая из приведенного выражения $K''P''^2$ как малую величину второго порядка получим $K''P'' = B^2/(4D_0)$

Тогда

$$H = B^2 \cdot \sin \alpha_y / (4D_0)$$

Таким образом, величина неплоскостности зависит от ширины обрабатываемой поверхности B , диаметра РД D_0 и угла наклона оси РД α_y .

На практике, как правило, используются РД диаметром $D_0=500$ мм при значениях $B \leq 0,2D_0$ [2].

Действительную величину H можно определить по графику (рис. 2), а в случае жестких требований к обработанной поверхности - допустимый угол наклона РД α_y .

Значительное влияние на качество обработанной поверхности оказывает упрочнение, вызываемое тепловыми и силовыми параметрами ТФР.

Высокая температура нагрева ($600...800$ °С) и неравномерность пластических деформаций для конструкционных сталей обуславливают развитие термических напряжений и структурных изменений в поверхностном слое заготовки, способствуя образованию наклепа толщиной $0,5...1,0$ мм.

Нормальная сила и сила трения, действующие со стороны РД, вызывают соответственно сжатие и пластическое растяжение поверхностного слоя. В связи с этим, при ТФР большинства сталей и сплавов на глубине $7...14$ мкм концентрируются растягивающие остаточные напряжения с

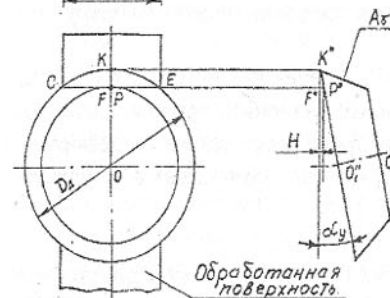


Рис. 1. Схема работы РД.

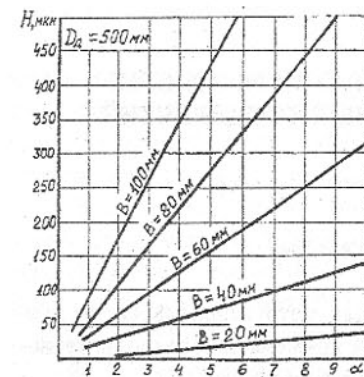


Рис. 2. Зависимость шероховатости от угла установки РД.

максимумом на поверхности образца $\sigma_p = 450...1100$ МПа, которые затем переходят в сжимающие $\sigma_{сж} = 200...750$ МПа и залегают на глубине 100...140 мкм. Твердость поверхности повышается до НВ 200...400 единиц. При этом, как показывают исследования, на глубине свыше 1 мм поверхность имеет начальную структуру и твердость без каких-либо изменений. Микротрещины отсутствуют и дальнейшая чистовая обработка затрудняется.

Металлографические исследования по сечению образцов показали, что под действием температуры и удельных давлений, сопровождающих процесс резания, в поверхностном слое происходят сложные деформации — сдвиг со сжатием, зерна микроструктуры вытягиваются в направлении обработки.

Список литературы: 1. Зарубицкий Е.У. Обработка плоскостей дисками трения // Судостроение.-1983.-№10.-С. 39-40. 2. Зарубицкий Е.У. Термофрикционная обработка плоских поверхностей деталей на фрезерных станках // Технология и организация производства.-1987.-№3.-С. 37-39.

НЕОБХОДИМОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРОТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Захаров Н.В. (УАБД, г.Сумы, Украина)

The necessity of managing current assets of enterprises.

Величина оборотных средств, их состав и структура зависят от длительности производственного цикла, уровня применяемой техники, технологии и организации производств, стоимости сырья и т.п.

Сумма средств обращения зависит от условий реализации.

Рациональная организация оборотных средств на предприятии включает определение в количественном выражении потребности, состава, структуры, источников образования, управления их использованием.

Структура оборотных средств при действующем производстве в машиностроении имеет следующий вид: оборотные средства — 100%; оборотные производственные фонды — 70 %; / в том числе: производственные запасы — 40%, незавершенное производство и полуфабрикаты — 25%; расходы будущих периодов — 5%; / фонды обращения — 30 %; / в том числе: готовая продукция — 13 %, отгруженные товары — 8 %; денежные средства и средства в расчетах — 9 %.

Большая доля незавершенного производства наблюдается в энергетическом, транспортном машиностроении, автомобильной, авиационной и станкостроительной промышленности. Это объясняется большой длительностью производственного цикла. При движении оборотные средства проходят последовательно три стадии: денежную, производственную и товарную. Длительность оборота оборотных средств в станкоинструментальной промышленности равна 127 дням, в химическом и нефтяном машиностроении — 126, в тяжелом, энергетическом и транспортном машиностроении — 123, в автомобилестроении — 69, в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении — 73, в электротехнической промышленности — 87.

Показатели оборачиваемости оборотных средств являются одними из важнейших в деятельности предприятий. В 80-х годах наметилось замедление оборачиваемости оборотных средств в промышленности. В числе причин были сверхнормативные среднегодовые запасы оборотных средств.

Размер необходимых оборотных средств указывается в уставном фонде предприятия в виде норматива. Норматив оборотных средств устанавливает их минимальную расчетную сумму, постоянно необходимую предприятию для работы. Недостаток оборотных средств может привести к сокращению производства. Их избыток приводит к неэффективному использованию ресурсов. Соотношение между собственными и заемными оборотными ресурсами характеризуют степень финансовой устойчивости предприятия.

В настоящее время предприятия собственными силами не могут обеспечить процесс не только расширенного, но и простого воспроизводства. Отсутствие необходимых собственных ресурсов привело к возникновению взаимных неплатежей. Так в 1996 году взаимные неплатежи в России достигли 1100 млрд. рублей / в промышленности, в целом, — порядка 70 — 80 %, в угольной промышленности — 90 % /. Неплатежи являются своеобразной формой безденежных финансовых потоков проявляющихся в виде бартерных операций / в 1996 г. они составили 30-35% /, взаимозачетов, финансовых векселей.

Пополнение оборотных средств в целом по России в 1994 г., происходило за счет увеличения собственных средств предприятий лишь на 3 %, кредитов и займов — на 7%, кредиторской задолженности и других пассивов — на 90%. В промышленности этот процент составил соответственно: 2%, 7 %, 9%. Основная черта современного периода — нехватка у предприятий оборотных средств.

Недостаток собственных финансовых средств зачастую практически невозможно восполнить путем привлечения заемных средств. Соотноше-

ние между процентной ставкой банков и уровнем рентабельности предприятий сделало кредитование практически недоступным.

В результате применения шоковых методов реформирования экономики предприятия лишились значительной части собственных средств. Высокие темпы инфляции 1992 – 93 г.г. обесценили оборотные фонды предприятий. Нехватка оборотных средств вынудила предприятия использовать амортизационные средства.

При планировании инвестиционной деятельности необходимо учитывать, что основные фонды промышленных предприятий были обновлены в 1994 году лишь на 1,3 % / для сравнения, в 1990 году - на 6% /. Износ основных фондов в промышленности составляет в настоящее время около 46%, оборудование в области научных исследований - 37%. Учитывая темпы обновления понадобится 75 лет для полной реконструкции основных фондов.

Катастрофическое положение предприятий является следствием не только их деятельности, но и результатом налоговой политики государства. Известно, что около 75 % дохода предприятия направляется на уплату налогов. Благодаря существующей налоговой политики наметилась тенденция деиндустриализации экономики. Государство идет по пути развития сырьевой направленности, что особенно трагично при отсутствии значительных сырьевых запасов на Украине и наличии значительных чернобыльских проблем.

Одним из путей выхода производственной сферы народного хозяйства страны из кризиса является создание финансово – промышленных групп. В 1997 г. в России действует свыше 45 таких групп. В них вошли около 700 предприятий и 70 банков.

При нормировании оборотных средств важно научно обосновать объем производственных запасов и сумму оборотных средств в незавершенном производстве. В структуре оборотных средств эти две составляющие имеют наибольший удельный вес. Объемы производственных запасов рассчитываются по известным аналитическим зависимостям. Оборотные средства в незавершенном производстве зависят в основном от объема производства продукции и длительности производственного цикла. Эффективное функционирование предприятия требует ускорения оборачиваемости оборотных средств. Длительность производственного цикла является важнейшей характеристикой качества организации хода производственного процесса, оказывающей прямое влияние на величину оборотных средств и время их кругооборота. Изменяя производственный цикл появляется возможность изменить время кругооборота денежных средств предприятия. Научно обоснованный расчет оборотных средств требует

выявления внутренних резервов, сокращения длительности производственного цикла. Известно, что ускорение оборачиваемости оборотных средств в промышленности в стране на один день в 1975 году позволяло экономить около 1 млрд. рублей. В основных направлениях развития народного хозяйства страны на пятилетний срок в 80 – е годы перед промышленностью ставилась задача ускорить оборачиваемость оборотных средств в среднем на 3 – 5 дней.

Ускорение оборачиваемости оборотных средств является первоочередной задачей предприятий в современных условиях.

Основными путями ускорения оборачиваемости оборотных средств являются: специализация и кооперация предприятий, укрепление хозяйственных связей; совершенствование системы планирования, внедрение экономически обоснованных норм запаса; рациональная организация складской и снабженческой работы; использование технически обоснованных норм расхода материала; повышение степени непрерывности, комплексная механизация и автоматизация производства; совершенствование применяемой технологии; улучшение планирования сбыта готовой продукции.

В настоящее время разработана научно – обоснованная методика нормирования оборотных средств промышленных предприятий и математического моделирования хода производственного процесса, которая позволяет минимизировать объем оборотных средств и значительно сократить время их кругооборота.

Данная методика прошла успешную апробацию на ряде промышленных предприятий.

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Захаров Н.В., Ремнев А.И., Макогон А.А. (УАБД, г. Сумы, Украина)

The management of technological processes' parameters of assembling heat exchange units

Широкое применение новых технических решений по использованию различных типов соединений труба-решетка обуславливает решение ряда технологических задач, связанных с эффективным управлением процессом изготовления теплообменных энергетических установок. Такие установки изготавливаются и разрабатываются для завода МТЗ, в частности,

масляные радиаторы, системы турбонаддува и отопления кабин тракторов МТЗ-80.

Крепление труб с трубной решеткой теплообменных энергетических установок осевым деформированием при освоении новых типоразмеров труб требует научно-обоснованного управления технологическим процессом при пластическом деформировании трубы. Известно, что уровень напряженно-деформированного состояния (НДС) трубы с трубной решеткой в процессе формирования соединения, определяет его основные параметры по герметичности и прочности.

К основным параметрам управления технологическими процессами относятся: распределенность усилия радиального деформирования на участке защемления (фиксации) трубы в отверстии трубной решетки на первом этапе технологического процесса; объемное пластическое деформирование трубы (гидростатическое распределение усилия в замкнутом объеме труба-решетка - цанговый зажим) и упругое, упругопластическое деформирование трубной решетки; уменьшение внутреннего диаметра трубы на втором этапе технологического процесса до 9% обуславливаемого осаживанием трубы в отверстие трубной решетки; величина остаточного давления в соединении труба-решетка после его разгрузки. Известные диаграммы деформирования при развальцовке могут быть применены для описания способов крепления трубы с решеткой. Однако, такая модель представления процесса является весьма приближенной, так как не учитывает динамики нагружения при развальцовке роликами.

Расчеты режимов деформирования при формировании узла крепления труба-решетка осевым деформированием по предложенной методике подтвердили о существенных погрешностях в расчетах, не позволяющих использовать их по причине плохого качества соединения труба-решетка.

Изучение НДС соединения труба-решетка по диаграммам деформирования, полученным экспериментальным способом, позволило эффективно управлять режимами деформирования, проследить влияние различных факторов на герметичность и прочность соединения, установить физическую сущность процесса формирования узла крепления труба-решетка.

Исследование технологического процесса формирования узла крепления труба-решетка по диаграммам в процессе нагружения и разгрузки образцов-свидетелей используют принципиально новую схему гидростатического нагружения с использованием полиуретановых стержней или втулок. Технологический процесс осуществляется на лабораторном прессе «Fritz Heckert» типа RD 10/D0 путем приложения осевого усилия на полиуретановый столбик или втулку, воздействующих на оболочку трубы и

решетки соединения. Контроль процесса деформирования осуществлялся датчиком осевого хода с 100 кратным увеличением и выбранным масштабом по осевой нагрузке. При изучении технологического процесса соединения предусматривалось несколько схем нагрузки и разгрузки одиночных элементов труб, эквивалентных втулок, а также трубы-решетки. Полученные диаграммы НДС соединения и его элементов позволили определить циклическую и разовую осевую нагрузку и перемещения полиуретанового стержня от осевого хода пунсона в процессе формирования узла крепления труба-решетка; установить по истинным диаграммам значения радиальных усилий соответствующих окончанию деформирования трубы в характерных точках; определить линии равновесного состояния соединения труба - эквивалентная втулка в характерных точках процесса нагружения; получить общую картину НДС соединения труба - эквивалентная втулка, характеризующую остаточное давление в соединении; определить разность окончания нагрузки эквивалентной втулки и трубы, обуславливающих величину натяга в соединении для каждой характерной точки диаграммы; проверку соответствия значений величины остаточного давления диаграммы деформирования с значениями, полученными по тензодатчикам.

Это позволило экспериментальным путем установить оптимальные режимы деформирования при достижении максимальных значений остаточных давлений в соединении, обеспечивающих максимально возможную герметичность и прочность соединения труба-решетка теплообменных энергетических установок, выполненных осевым деформированием.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ ЦВЕТНЫХ И ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Золотухин В.А., Бредихин В.Н., Самсонов А.И.
(ДонИЦМ, г. Донецк, Украина)

The Institute DonITsM proposes the complex services starting with the development of the business plan and the examination of the secondary raw materials up to design and manufacturing of equipment, putting into operation and commissioning on the «turnkey» basis.

Имея более чем 30-ти летний опыт работы, ДонИЦМ является лидирующим научно-производственным центром Украины в области технологии и оборудования для производства вторичных цветных и драгоценных металлов.

Институт предлагает комплексные услуги, начиная от стадии разработки бизнес-плана и экспертизы вторичного сырья, до техно-рабочего проектирования, изготовления оборудования, пуско-наладочных работ и сдачи объекта «под ключ».

Перечень сырья, обеспеченного эффективной технологией: техногенные отходы (шлаки, пыли газоочисток, шламы, сьемы, хвосты), многокомпонентный скрап военного и гражданского назначения, амортизированные и бракованные изделия. В номенклатуру сырья входят такие металлы как Al, Cu, Ni, Co, Zn, Sn, Pb, Cd, Ag, Au, металлы платиновой группы в виде, например, алюминиевое сырье (стружка, шлаки, моторный лом), олово- и свинецсодержащие отходы (луженая жечь, изгарь, радиаторы, аккумуляторы, отработанные катализаторы), все виды отходов, содержащие драгметаллы.

Технологии предусматривают получение только чистых металлов с содержанием основного компонента не ниже 99,0% (для цветных) и 99,99% для драгметаллов.

Ниже приведен список продукции, выпускаемой ДовИЦМ:

1. Аффинированное золото и серебро (порошок); 2. Слитки (аноды) аффинированные; 3. Лента, лист более 0,1 мм - золото, серебро, их сплавы; 4. Проволока более 0,5 мм - золото, серебро, их сплавы; 5. Припои серебряные в виде слитков, полосы, проволоки; 6. Химсоединения (азотнокислое скребро, хлорплатинат аммония, палладоизомин, черни палладия и платины).

За информацией по приведенным видам работ обращаться по адресу:

Донецкий институт цветных металлов.
Украина, г. Донецк, пр. Лагутенко, 14.
Тел. (факс.) (0622) 92 34 48, 92 83 31

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ

Зюзин А.А., Козлов А.М., Долгих П.П. (ЛПТУ, г. Липецк, РФ)

In order to ensure the high accuracy of the geometrical form and the high surface quality of the workpiece a cylindrical grinding machine has been designed for performing the operation with the face of a cup grinding wheel.

Технические условия, нормы точности и качества деталей машин являются прямым следствием их служебного назначения. Перечисленные

требования к деталям машин обеспечиваются в процессе их изготовления. Возникающие погрешности обработки - отклонения формы и расположения, волнистость и шероховатость сопрягаемых поверхностей - уменьшают контактную жесткость и изменяют установленный при сборке характер сопряжений.

Одним из наиболее важных показателей, обеспечение которого связано со значительными трудностями, является стабильность параметров точности и качества сопрягаемых поверхностей.

В подвижных соединениях, когда трущиеся поверхности деталей разделены слоем смазки, указанные погрешности приводят к неравномерности величины зазора в продольных и поперечных сечениях, что нарушает характер смазки, трения, повышает температуру и снижает несущую способность масляного слоя. При пуске, торможении, изменении скоростей, режимов нагружения машины и т. п., нормальные условия для трения со смазкой не могут быть созданы, поскольку смазка не полностью разделяет трущиеся поверхности. В этом случае из-за отклонений формы расположения, волнистости и шероховатости контакт сопрягаемых поверхностей деталей происходит по наиболее выступающим неровностям.

Многочисленные исследования отклонений формы и расположения обработанных поверхностей в близлежащих сечениях и их спектральный анализ показали, что гармонические составляющие спектров различны по амплитуде и смещены по фазе. Это дополнительно ухудшает условия взаимодействия сопряженных поверхностей при эксплуатации.

Для цилиндрических деталей одним из способов стабилизации оси вращения при обработке, является обработка на радиальных опорах, которые имеют возможность перемещения в зависимости от результатов измерений траектории оси детали. При этом способе для устранения влияния отклонения от круглости базовых поверхностей на стабильность положения оси детали, вращающейся на радиальных опорах, системы автоматического регулирования производят возвратно-поступательные перемещение опорных элементов в радиальных направлениях. Величина и направление этих перемещений выбирается в зависимости от изменений текущих по углу поворота детали значений опорных радиусов-векторов базовых поверхностей. Однако такие системы автоматического регулирования сложны в реализации.

С целью повышения точности геометрической формы, качества и стабильности параметров по длине обрабатываемой поверхности разработан круглошлифовальный станок для обработки торцом чашечного круга, ось которого отклонена от вертикали.

Круглошлифовальный станок состоит из станины 1, на направляющих которой установлены лонеты 3 и 4. Обрабатываемая деталь 5, находящаяся на столе 2, получает вращение от электродвигателя 7 через шарнирный поводок 6. Чашечный шлифовальный круг 8 закреплен на шпинделе электродвигателя 9, смонтированного на наклонных направляющих 10 шлифовальной бабки 11.

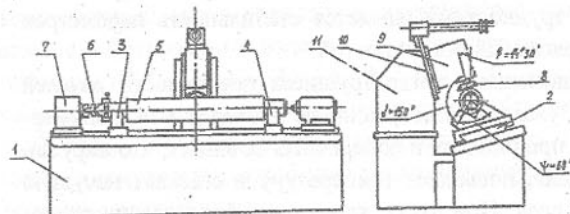


Рис. 1. Круглошлифовальный станок.

В основу компоновки станка положена оптимальная схема базирования, минимизирующая влияние отклонения формы базовых поверхностей шеек ва-

ла на окончательную точность формы обрабатываемых поверхностей и обеспечивающая большую стабильность параметров точности. При традиционных схемах базирования отдельные гармонические составляющие спектров отклонений формы базовых поверхностей передаются на обрабатываемые с передаточным коэффициентом больше единицы, а поскольку спектры отклонений базовых поверхностей не совпадают по величине и по фазе, то ось вала в процессе обработки перемещается по сложной траектории. Вследствие этого отмечается большая нестабильность отклонений по длине обрабатываемой поверхности.

В предложенной конструкции станка угол расположения опорных элементов лонетов и линии реза круга выбраны из условий минимизации передаточных коэффициентов амплитуд гармонических составляющих с базовых поверхностей на обрабатываемые. Предложенная схема обработки позволяет получать на поверхности цилиндрических деталей широкий диапазон направлений неровностей - перпендикулярный, наклонный, перекрещивающийся, параллельный.

Как показали экспериментальные исследования, отклонения от цилиндричности валов, обработанных по предложенной схеме, в 2...3 раза меньше, чем по традиционной - периферией шлифовального круга прямого профиля и составляют величину 1...3 микрометра.

Формирование на поверхности вала различных типов направлений неровностей дает возможность изменять условия трения сопрягаемых поверхностей, т.е. фактически управлять процессом износа трущейся пары. Установлено, что наибольшей износостойкостью обладают трущиеся па-

ры, образующие в зоне трения сочетание наклонных или перекрещивающихся микрорельефов.

У таких пар трения значительно ниже момент трения, изменение параметров шероховатости трущихся поверхностей происходит более плавно, чем для пар, обработанных по традиционной технологии.

На наш взгляд, это объясняется более высокой маслоёмкостью рельефов с наклонным и перекрещивающимся направлением микронеровностей, а также большей их способностью нагнетать смазку в зону трения.

Наибольший эффект предлагаемая схема обработки цилиндрических деталей дает при использовании в качестве режущего инструмента эльборовых кругов. В этом случае в поверхностном слое формируются остаточные напряжения сжатия, близкие по величине к напряжениям, получаемым методами поверхностного пластического деформирования.

Эльборовые круги, при прочих равных условиях, имеют более острые кромки.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СБОРНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Ивченко Т.Г., Некрасов С.В. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The theoretical and experimental investigations of cutting tools reliability are used for increasing of effective exploitation and creation the optimum cutting conditions.

Одним из путей повышения эффективности сборного режущего инструмента является обоснование при проектировании и обеспечение при производстве и эксплуатации целесообразного уровня показателей его надежности с учетом затрат на производство и эксплуатацию.

Основные свойства надежности - безотказность и долговечность оцениваются показателями: средним периодом стойкости или периодом стойкости с заданной вероятностью, средним числом периодов стойкости. Затраты на производство инструмента увеличиваются пропорционально росту показателей надежности, а затраты на эксплуатацию инструмента при этом пропорционально снижаются.

В качестве критерия оптимальности используется относительный интегральный показатель качества режущего инструмента, рассчитываемый по относительным показателям отдельных свойств в сравнении с базовым вариантом инструмента и позволяющий сопоставлять полезный эффект от эксплуатации инструмента с суммарными затратами на его производство и

эксплуатацию. В результате анализа этого критерия установлено, что существуют оптимальные значения относительных показателей безотказности и долговечности, обеспечивающие максимальное значение относительного интегрального показателя качества инструмента. Выявлены факторы, определяющие оптимальный уровень показателей надежности: среднего периода стойкости, периода стойкости с заданной вероятностью, среднего числа периодов стойкости; исследовано влияние этих факторов на указанные показатели надежности инструмента.

Произведена оценка эффективности ряда конструктивных и технологических мероприятий по повышению надежности инструмента с учетом увеличения затрат на его изготовление и снижения затрат на эксплуатацию. Выполнен анализ влияния условий эксплуатации инструмента на показатели его надежности, а также разработаны рекомендации по выбору режимов обработки, обеспечивающих максимальное значение критерия оптимальности - относительного интегрального показателя.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Ивченко Т.Г., Сагуленко Д.Г. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The increasing of cutting tools effective exploitations is made by prognostic of reliability level taking into account operating properties - strength and loading.

В настоящей работе предложена методика прогнозирования эксплуатационных свойств режущего инструмента, основными оцениваемыми показателями которых являются показатели безотказности - вероятность безотказной работы и средний период стойкости, а также долговечности - средняя суммарная стойкость и среднее число периодов стойкости.

Сущность предлагаемой методики заключается в расчете показателей безотказности и долговечности инструмента с учетом его прочности и действующей нагрузки. Под отказом инструмента подразумевается прекращение его функционирования в момент, когда фактическая величина нагрузки превышает фактическую величину прочности. Характерным видом отказа в этом случае является разрушение режущего лезвия в виде выкрашивания, скола или поломки. На основании представления прочности инструмента и действующей на него нагрузки как случайных величин с известными законами распределения аналитически определена вероятность разрушения режущего лезвия в зависимости от коэффициента безо-

пасности, равного отношению уровня прочности к уровню нагрузки. При этом рассмотрены различные законы распределения прочности и нагрузки, а также их изменение в процессе эксплуатации инструмента.

Особенностью предлагаемой методики является то, что изменение коэффициента безопасности может быть оценено расчетным или экспертным путем на стадии проектирования, путем ускоренных испытаний на стадии изготовления инструмента, что значительно сокращает затраты времени и средств на организацию эксплуатационных испытаний. По установленной вероятности разрушения режущего лезвия рассчитываются основные показатели безотказности и долговечности инструмента.

Целесообразность использования предложенной методики для оценки различных вариантов сборных резцов и торцовых фрез подтверждена экспериментальными исследованиями

АНАЛИЗ АЧХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КОВША ПТМ

Игнатов В.И. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The vibration analysis results of the bucket' metalwork of the Load-Haul-Dump mining machines type PD-8 are presented. The real loading regimes on the bucket are used at this step of research. The results presented are extremely important for further stress-strain analysis under dynamic loading of the LHD bucket.

Динамический анализ напряженно-деформированного состояния пространственных металлоконструкций тесно связан с определением собственных частот колебаний системы. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) являются исключительно важными, ибо затрагивают такие аспекты, как вибрации и шум, потери энергии и даже накопление повреждений анализируемых структур [1]. Для определения АЧХ использован метод конечных элементов на основе программного комплекса LUSAS. С этой целью в среде LUSAS была разработана модель ковша на базе конечных элементов 4 типов: - плоских трех- и четырехугольных оболочечных элементов фиксированной толщины, трехмерных шестигранных объемных элементов, пространственной балки и стержня [2]. Модель насчитывает 1415 узлов и 1245 элементов. На рис.1 показана сетка МКЭ-модели ковша ПТМ типа ПД-8В. Размерность решаемой задачи - 7597 уравнений.

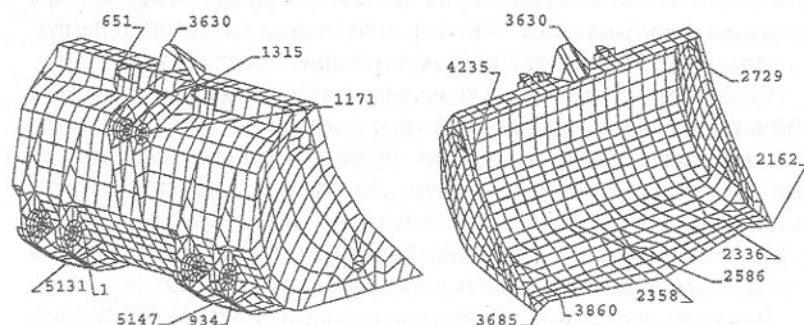


Рис.1 МКЭ-модели ковша ПТМ типа ПД-8В

Результаты решения задачи определения собственных форм и частот колебаний ковша представленной модели приведены в таблице 1. В таблице указаны также номера точек максимальных деформаций и напряжений исследуемой модели.

Таблица 1 - Собственные частоты колебаний металлоконструкции ковша.

Форма колебаний	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Собственная частота, Гц	15.8	23.3	58.3	62.4	72.3	76	84.7	91.7	111
Точка максимальных деформаций	2162	2358	2741	3685	4247	4247	2577	6049	3631
Точка максимальных напряжений	4235	5696	5294	5696	2741	4247	2586	2737	5696

На рис.1 показана нумерация точек «возмущения» (точки возможного ударного нагружения) и точки «отклика»:

- 2162 / 3685 и 2358 - точки ударных нагрузок в режиме зачистки, а также при транспортировке о боковые стенки выработок;
- 3630 - точка ударной нагрузки при падении крупных породных блоков на ковш из забоя или рудоспуска;
- 651 / 1315 точки удара ковша о металлоконструкцию стрелы при запуске и при транспортировке;
- 5131 / 5147 точки ударного нагружения при выгрузке ковша;
- точки «отклика» 4235/2729, 3860/2336, 2586 и 1171, в которых определялись амплитудно-частотные характеристики.

Собственная частота 23,3 Гц второй формы колебаний формируются за счет перемещений в направлении вертикальной оси Z массивной опережающей режущей кромки ковша, толщина стенок которой достигает 45-55 мм. В четвертую форму колебаний вовлечены достаточно массивные боковые режущие кромки, вибрационные перемещения которых соригентированы по оси Y с собственной частотой колебаний 62,4 Гц. Форма колебаний 9 и частота 110,5 Гц обусловлены вертикальными перемещениями верхней части ковша в виде достаточно жесткого пустотелого короба, усиленного отбойником, защищающим ковш от падающих породных блоков. Ковшу, как системе с распределенными параметрами, присущи все вышеперечисленные формы колебаний и все частоты.

Как ведет себя металлоконструкция ковша при возникновении реальных ударных нагрузок? Сводные данные, характеризующие частоты максимальных амплитуд колебаний точек «отклика» ковша при приложении ударной нагрузки в точках «возмущения», приведены в табл.2. Удар режущей кромки о внешнее препятствие при движении ПТМ вперед обуславливает частоту в 62 Гц собственных колебаний. Наибольший уровень частот собственных колебаний в 110 Гц зафиксирован в проушинах крепления ковша к стреле и в боковых вертикальных режущих кромках при ударе падающего породного блока на отбойник ковша.

Таблица 2 - Частоты собственных колебаний структуры ковша ПТМ.

Элемент структуры и номер точки «отклика»		Частота собственных колебаний с максимальной амплитудой при динамическом возмущении в точках «возмущения»:							
Элемент структуры	Номер	2162			2358		5131	651	3630
		Fx	Fy	Fz	Fx	Fz	Fx	Fx	Fz
Горизонтальная кромка	2336	16	16	16	23	23	16	16	23
	2358	23	16	16	23	23	23	16	23
	3860	16	16	16	23	23	16	16	23
Вертикальная кромка	2729	16	16	16	62	23	16	16	110
	4235	16	16	16	62	23	16	16	110
Дно	2586	16	16	23	23	23	23	16	23
Левые проушины	272	23	16	16	62	23	16	16	110
	1	16	58	16	62	23	16	16	110
Правые проушины	663	16	58	16	62	23	16	16	110
	934	16	16	16	62	23	16	16	110
Верхние проушины	509	16	58	16	62	23	16	16	110
	1171	16	58	16	62	23	16	16	110

Полученные данные необходимы для дальнейших динамических исследований напряженно-деформированного состояния металлоконструк-

ции ковша и поскольку этот класс задач обуславливает применение численных методов интегрирования, то встает вопрос о выборе шага интегрирования ΔT . В табл.3 приведены его рекомендуемые значения.

Таблица 3 - Рекомендуемые шаги интегрирования.

Режимы нагружения ПТМ	Максимальная частота собственных колебаний, Гц	Рекомендуемый шаг ΔT , сек
Зачистка трассы	62	8e-4
Вырыв при загрузке	58	8e-4
Запрокид ковша для транспортировки	16	3e-3
Разгрузка ковша	23	2e-3
Падение породы на ковш	110	4e-4

Список литературы: 1. Chen C-S, Wang I-C Fatigue analysis of a beam subjected to dynamic loading. / Proc. of the 15th Intern.Modal Analysis Confer., IMAC'97. Part 2, USA, 1997, p.p.1544-1550. 2. LUSAS. Mystro User Manual. Lusas User Manual. FEA Ltd. UK.

ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КОМПРЕССОРОВ

Игуменцев Е.А. (ИТЦ «Диагностика», г. Харьков, Украина)

A mathematical model of high frequency blade vibration of turbo-compressor has been introduced. Some experiments have been performed by the use of spectrum analysis.

Интенсивное развитие газовой промышленности, сопровождающееся ростом протяженности газопроводных систем и их размещение в труднодоступных районах, предъявляет повышенные требования к надежности газотранспортного оборудования и снижению эксплуатационных затрат. Кардинальным средством решения этой проблемы в условиях ограниченности производственных и трудовых ресурсов является переход на наиболее прогрессивную систему эксплуатации оборудования по фактическому состоянию, предусматривающую проведение технического обслуживания, ремонта и управления на основе виброакустической информации, т.к. опыт проведения диагностических исследований показал, что параметры виброакустического сигнала наиболее полно характеризуют техническое состояние проточной части компрессоров - нагнетателей природного газа (ЦБН).

Дефекты, возникающие в проточной части ЦБН, достаточно полно изучены, к ним относятся: увеличение утечки газа через уплотнение по покрывающему диску; эрозия газового тракта; подрез лопаток колеса нагнетателя и солевые отложения в межлопаточном канале, приводящие к появлению дисбаланса, неуравновешенные усилия от которого передаются на опорные подшипники и вызывают вынужденные колебания ротора и корпуса.

Аэродинамические усилия, возникающие при работе нагнетателя в помпажной зоне, передаются на опорные подшипники, возбуждают колебания элементов рабочего колеса (лопаток, покрывающего и рабочего дисков). Наиболее напряженным участком рабочего колеса является периферийная часть покрывающего диска, имеющего множество форм, собственных колебаний, которые могут совпадать с частотами возбуждающих сил. Возникновение трещин покрывающих дисков на таких режимах вместе с солевыми отложениями и эрозионным износом создает угрозу аварии ротора ЦБН.

Теоретическое определение неустановившихся аэродинамических сил, вызванных вихревыми следами, позволяет выявить основные закономерности и найти критериальные зависимости возбуждения акустических колебаний ЦБН. Предположим, что нестационарная аэродинамическая сила пропорциональна плотности газа, характерной скорости пульсации, относительной скорости на выходе из колеса и шагу лопатки рабочего колеса ЦБН, тогда выражение для силы можно представить в следующем виде [1]:

$$P = \frac{N \cdot B}{z \cdot R \cdot \omega} \cdot (1 - \eta) \cdot \varphi, \quad (1)$$

где φ - коэффициент расхода на выходе ЦБН;
 N - мощность, передаваемая ЦБН;
 z, R - количество лопаток и радиус колеса нагнетателя;
 $\omega = 2\pi f_r$ - частота вращения ротора;
 η - полнотрапический КПД нагнетателя;
 B - коэффициент, определяемый экспериментально [1].

Полученное выражение (1) описывает нестационарную аэродинамическую силу, действующую на корпус от одного канала колеса нагнетателя, образованного двумя соседними лопатками, и представляет собой некоторую характерную пульсацию количества движения элемента газа, проходящего через колесо нагнетателя. Естественно предположить, что нестационарная сила пропорциональна пульсации количества движения.

Рассмотрим колебания корпуса ЦБН под действием неустановившейся аэродинамической силы. Колебания корпуса возникают от действия

силы P , когда точка приложения силы перемещается по внутренней поверхности корпуса радиуса R со скоростью $R\omega$. Процесс обтекания корпуса газом, выходящим из каждого канала рабочего колеса ЦБН, одинаков, однако в общем случае сдвинут во времени на угол $2\pi/z$. При обтекании каждый следующий канал возбуждает силу со сдвигом по времени, равным времени запаздывания, умноженному на 2π и деленному на период процесса. Суммарное колебание корпуса $X_n(l_1)$ - от действия возбуждающей силы всех каналов [2]:

$$X_n(l_1) = \frac{P}{K_{CT}} \cdot \sum_{k=0}^{z-1} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{i\pi l_1}{l} \cdot \sin \frac{i\pi}{2} \left(\omega t - \frac{2\pi k}{z} \right)}{i^4 \sqrt{(1-r_i^2)^2 + \left(\frac{\delta}{\pi} \right)^2} r_i^2}$$

имеет вид [3]:

$$X_n(l_1) = \frac{P}{K_{CT}} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{i\pi l_1}{l} \cdot \sin \frac{i\pi \omega t}{2} \cdot \frac{\sin \frac{i\pi}{2}}{\sin \frac{i\pi}{2z}} \cdot \cos \frac{i\pi(z-1)}{2z}}{i^4 \sqrt{(1-r_i^2)^2 + \left(\frac{\delta}{\pi} \right)^2} r_i^2}, \quad (2)$$

где δ - логарифмический декремент колебаний;

l, l_1 - расстояние между узловыми точками и от узловой точки до места измерений вибрации;

n - число узловых точек в форме колебаний корпуса;

K_{CT} - статическая жесткость корпуса;

ω_i ; $r_i = i\omega/\omega_i$ - абсолютная и относительная i -тая собственная частота корпуса.

Несложно доказать, что все слагаемые, входящие в выражение (2), для которых не выполняется условие $i\pi/2 = kz$, ($k=1,2,\dots$) (3), равны нулю. Это означает, что колесо нагнетателя является фильтром, который пропускает кратные гармоники частоты вращения kz и возбуждает колебания корпуса только с частотами $kz\omega$, называемые лопаточными частотами. Это справедливо для рабочего колеса ЦБН с идентичными характеристиками всех каналов. Справедливость равенства нулю выражения (2) для гармоник, отличных от лопаточных, можно проверить, если подставить боковые частоты в выражение (2). Например $n/2 = z \pm S$, ($S=1,2,\dots$).

Соотношение для лопаточных гармоник получим при выполнении условий (3), если раскрыть неопределенность в выражении (2) по правилу Лопиталья.

Если из эксперимента известны динамические жесткости корпусов подшипников $K(iz\omega)$, полученные экспериментально [4], то соотношение (2) можно записать в эквивалентном виде, выраженном через $K(iz\omega)$.

Подставим (1) в (2) и, переходя от виброперемещений к виброскорости, получим выражение для лопаточных гармоник виброскорости корпусов подшипников в виде:

$$V_i = \frac{zB(1-\eta)\varphi}{RK(iz\omega)}. \quad (4)$$

Полученные выражения применим для расчета амплитуд лопаточных гармоник нагнетателя "370-17" в составе газоперекачивающего агрегата ГТ-750-6. Расчет проводим при следующих данных: $z=14$; $N=6 \cdot 10^3$ кВт; $\varphi=0,12$; $R=0,4$ м; $K(iz\omega)=1,0 \cdot 10^6$ кг/см; $B=0,035$; $\eta=0,54$. Динамическую жесткость берем по данным эксперимента [3], а для параметра B используем рекомендации [1]. Амплитуда первой лопаточной гармоники при этом равна $V_1=0,264$ мм/с и хорошо согласуется с данными экспериментальных исследований.

Увеличение утечки в проточной части ЦБН происходит вследствие разрушения колец торцевого уплотнения или появления трещин в покрывных дисках колец нагнетателей. При этом происходит резкое изменение общего напора колеса нагнетателя без изменения адиабатического напора. Последнее обстоятельство ведет к увеличению потерь и уменьшению КПД. Как следует из (4), при этом наблюдается пропорциональный рост амплитуд лопаточных гармоник спектра виброскорости. Поэтому диагностическим признаком утечки в ЦБН является рост амплитуд лопаточных гармоник.

При отклонениях от номинальных размеров шагов, углов установок лопаток, толщин выходных кромок, поля скоростей, давления и углов потока на фиксированном радиусе колеса ЦБН, в частности, периодом является не шаг установки лопаток, как в однородном колесе, а в общем случае вся длина окружности. При этом в неоднородной решетке возникает весь низкочастотный дискретный спектр и слагаемые, входящие в выражение (2), для которых не выполняется условие (3), уже не равны нулю. А выражение виброскорости корпусов подшипников примет вид [3]:

$$v_i(t) = \left[1 + \sum_{k=0}^{z-1} \frac{B_k - B}{B} \exp\left(\frac{2k\pi}{z}\right) \right] \cdot V_i \cdot \sin(iz\omega t), \quad (5)$$

($i=1,2,\dots$),

здесь B_k характеризует неоднородность решетки и в общем случае представляет случайную последовательность чисел B_k вдоль окружности колеса определенную средним B и дисперсией.

Разложим второе слагаемое в квадратных скобках выражения (5) в ряд Фурье и принимая для малых углов $\sin \frac{\pi s}{z} \approx \frac{\pi s}{z}$ ($s=1,2,\dots$) получим:

$$v_i(t) = \left[1 + \sum_{k=0}^{z-1} \frac{2B_k}{z} \exp\left(\frac{2k\pi}{z}\right) \sin(s\omega t) \right] \cdot V_i \cdot \sin(iz\omega t), \quad (6)$$

($i=1,2,3,\dots$).

В случае закупорки канала колеса или подреза лопатки выражение (6) можно представить в следующем виде:

$$v_i(t) = \left[1 + \sum_{s=1}^{\infty} \frac{2}{z} \sin(s\omega t) \right] \cdot V_i \cdot \sin(iz\omega t). \quad (7)$$

Выражение (6) с помощью преобразования [4] представим в виде:

$$v_i(t) = V_i \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\pi}{z}} \delta(B_k) \sum_{s=1}^{\infty} \sin(s\omega t) \right] \cdot \sin(iz\omega t), \quad (8)$$

где $\delta(B_k)$ - коэффициент вариации последовательности случайных чисел B_k .

Полученные выражения вибрации корпусов подшипников (7) и (8) математически описывают явление амплитудной модуляции. В данном случае удобнее представить вибрацию (7) и (8) в виде модуляции высокочастотных лопаточных колебаний, разложенную на сумму простых синусоидальных колебаний:

$$v_i(t) = V_i \cdot \left\{ \sin(iz\omega t) + \sum_{s=1}^{\infty} \frac{m_s}{2} \sin[(iz\omega + s\omega)t] + \sum_{s=1}^{\infty} \frac{m_s}{2} \sin[(iz\omega - s\omega)t] \right\}, \quad (9)$$

где m_s - парциальный коэффициент модуляции и для (7) и (8) соответственно равен:

$$m_s = \frac{2}{z}; \quad m_s = \sqrt{\frac{\pi}{z}} \cdot \delta(B_k). \quad (10)$$

Полученные соотношения (9) и (10) позволяют оценить процентное отношение амплитуд верхних и нижних боковых частот $iz\omega \pm s\omega$ к амплитуде несущей лопаточной частоты $iz\omega$.

При закупорке канала колеса с $z=14$ это отношение составляет $m_s/2 = z^{-1} = 7\%$. Для неоднородного бездефектного колеса с разночастотностью лопаток $\delta(B_k) = 0,3\%$ [4] это отношение составляет $m_s/2 = 1,5\%$.

При солевых отложениях в межлопаточном канале и подрезке лопаток происходит аналогичное возникновение неоднородности потока с интенсивными колебаниями на боковых полосах частот. При этом, вследствие появления дисбаланса ротора, наблюдается рост 1-ой роторной гармоники, а диагностическим признаком является рост амплитуд боковых полос частот.

Для экспериментального исследования виброакустического сигнала корпусов ЦБН был использован метод спектрального анализа. Спектральный анализ проводился аппаратурой фирмы "Брюль и Кьер" (Дания), в

комплект которого входили: анализатор (спектрометр) 2034 и самописец 2307. Для проведения измерений используется акселерометр 4370 (4371, 4369), закрепленный на штатном магните с кабелем длиной 50 м. Большая избирательная способность частотного анализатора 2034 позволила успешно решить задачу выделения информативных спектральных составляющих. Рассмотрим характерные особенности полученных спектров.

Высокочастотные лопаточные колебания с боковыми полосами частот наиболее ярко проявляются на корпусе нагнетателя. Например, при испытаниях нагнетателя НЦ-16-75 (нагнетатель полнонапорный, двухступенчатый типа "баррель") на крышке передней подшипниковой камеры в вертикальном направлении проявляется четко выраженный ряд гармонических составляющих, возбуждаемых ротором нагнетателя (Рис.), при этом вибрационный процесс модулирован по амплитуде лопаточной (15-й) гармоникой так, что в спектре при числе лопаток $z=15$ присутствуют характерные области гармоник $(z \pm s)f_p$, т.е. лопаточные и боковые полосы частот. Примерно та же картина наблюдается в спектрах, полученных на крышке задней подшипниковой камеры в вертикальном направлении.

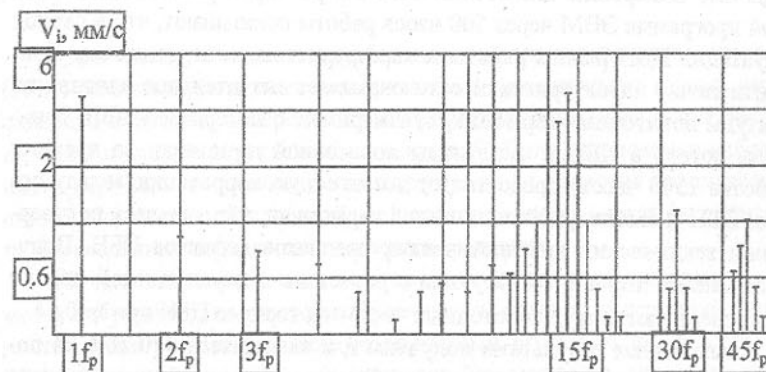


Рис. Высокочастотный спектр виброскорости подшипниковой камеры ЦБН НЦ-16-75.

После вскрытия соответствующих нагнетателей выявлен дефект эрозии входного аппарата и загрязнения проточной части нагнетателя. На спектрограмме характерно наличие кратных роторных гармоник: $15f_p$, $30f_p$, $45f_p$, причем гармоники f_p и $15f_p$ соизмеримы по уровню и значительно выше остальных.

Таким образом, появление боковых полос частот соответствует диагностическим признакам неоднородного колеса, а дальнейший их рост -

эрозии и загрязнению лопаток колеса нагнетателя, что хорошо согласуется с разработанной математической моделью диагностических признаков дефектов ЦБН.

Для определения производительности и КПД центробежного нагнетателя использовалась методика [5] со следующей исходной информацией: давление газа на входе и на выходе нагнетателя; температура газа на входе и на выходе нагнетателя; частота вращения вала ТНД. Для получения указанной исходной информации проведены контрольные замеры. Измерение давления производилось тарированными образцовыми манометрами класса точности 0,4, температура газа измерялась лабораторными термометрами с ценой деления 0,1 °С. Замеры указанных параметров производились на установившемся режиме работы агрегата.

Измерения проводились через каждые 10 дней на двух нагнетателях 370-17-1М с приводом от ГТ-750-6 КС "Шебелинка". Всего шесть измерений в течении 2-х месяцев. В полученном спектре виброакустического сигнала присутствуют лопаточные частоты и боковые полосы частот. При числе лопаток 14 и оборотах $f_p = 78,0$ Гц 1-я лопаточная частота равна 1090 Гц. Данные измерений теплотехнических параметров расчета по составленной программе ЭВМ через 500 часов работы показывают, что в период эксплуатации ЦБН режим работы и характеристика сети меняются. Причем, изменение характеристики сети оказывает значительное влияние на амплитуды лопаточных гармоник, соизмеримые с потерями в ЦБН. Зависимость потерь в ЦБН и амплитуды лопаточной гармоники во времени (наработка 1500 часов) представляет достаточную корреляцию между потерями ЦБН и амплитудой лопаточной гармоники, что является подтверждением технических диагностических признаков дефектов ЦБН. Полученные данные хорошо согласуются с расчетами математической модели возникновения амплитуд лопаточных частот на корпусе ЦБН при $\eta = 0,54$.

Аналогичные результаты получены для нагнетателя 370-18 с 24 лопатками и нагнетателя с 17 лопатками. В высокочастотной части спектра корпуса нагнетателя наблюдается увеличенный уровень вибрации на 17-ой и 34-ой роторных гармониках, что отражает геометрические изменения лопаточной решетки колеса, как это было ранее установлено в теоретических и экспериментальных исследованиях. Выделенные гармоники спектра создаются вращениями с частотой 100 Гц колесом нагнетателя, имеющим 17 лопаток, т.е. частота возбуждения составляет $100 \times 17 = 1,7$ кГц, соответствует 1-ой лопаточной частоте и имеет 2-ю гармонику, равную 34-ой гармонике.

Список литературы: 1. Самойлович Г.С. Возбуждение колебаний лопаток турбомашин. М., Машиностроение, 1975, с. 287. 2. Тимошенко

С.П. Прочность и колебания элементов конструкций. М., "Наука", 1975, с. 704. 3. Костин В.И., Игуменцев Е.А. Диагностирование проточной части нагнетателей ГПА. "Тазовая промышленность", 1988, № 1, с. 59. 4. Васильев Ю.Н., Бескелетный Н.Е., Игуменцев Е.А. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. М., "Недра", 1987, с. 197. 5. Галиуллин З.Т., Леонтьев Е.В., Цегельников Л.С., Бутурлакин Ю.В., Старовойтов В.Г. Определение производительности центробежных нагнетателей и компрессорных станций. Сб. Проблемы транспорта и газа. М., ВНИИГАЗ, 1983, с. 204-210.

НОРМИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Игуменцев Е.А. (Украина, г. Харьков, ИТЦ «Диагностика»)

A mathematical model of low frequency vibration of gas turbine pumping unite has been introduced. Normalization of vibration of a lot of pumping units have been provided.

Для эксплуатации газотурбинных газоперекачивающих агрегатов (ГПА) важной задачей является правильная сравнительная оценка интенсивности вибрации, замеренной на корпусах подшипников (штатные точки замеров согласно регламенту измерений). Если оцениваемая вибрация имеет переменную случайную амплитуду, то однозначная сравнительная оценка опасности той или иной реализации не всегда может быть получена без введения специальных критериев сравнения.

В настоящей работе в качестве измеряемого и оцениваемого параметра вибрации принимается виброскорость, которая имеет связь с прочностью конструкции [1]. Под бездефектным агрегатом подразумевается ГПА, структура которого обеспечивает безаварийную эксплуатацию, а вибрация является естественным состоянием (всегда есть уровень вибрации, который можно рассматривать как безопасный, нормальный).

Нормы вибрации вырабатывались, исправлялись и уточнялись, главным образом, эмпирическим способом, на основании опыта эксплуатации, анализа работы агрегатов с повышенными уровнями вибрации, виброобследований, ремонта и дефектации ГПА на компрессорных станциях (КС).

Между тем, как следует из существа задачи, необходимы и теоретические подходы к её решению с использованием аппарата теории вероятности и математической статистики. Применяемые совместно с результатами экспериментальных исследований, вероятностные методы открывают

возможность теоретического обоснования существующих норм вибрации и разработки новых, более прогрессивных конструктивных решений.

Экспериментальные исследования вибрации в эксплуатационных условиях проводились аппаратурой фирмы «Брюль и Кьер» с использованием последовательного спектрального анализа с полосой пропускания фильтра 3%, в диапазоне частот 20...2000 Гц.

Исследования осуществлялись на газотурбинных агрегатах ГТК-10-4 и ГТ-750-6 предприятия «Шебелинкагазпром». Характерной особенностью спектров виброскорости корпусов подшипников является наличие дискретных частотных составляющих, кратных частоте вращения ротора (роторные гармоники), уровни которых превышают акустический шум. В данном случае под акустическим шумом подразумевается уровень сплошного спектра, частоты которого неразличимы. Кроме того, установлено, что уровни роторных гармоник спектра виброскорости бездефектных агрегатов ГТК-10-4 и ГТ-750-6 монотонно убывают по закону, близкому к экспоненциальному.

Такой вид спектра позволяет общий уровень виброскорости отдельного агрегата (среднеквадратичное значение виброскорости) представить в виде [2]:

$$v = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\infty} (k_n v_n)^2}{2}}, \quad (1)$$

где v_n – амплитуда виброскорости роторных гармоник спектра; k_n – коэффициенты, связанные с видом плотности распределения роторных гармоник [1].

В выражении (1) косвенным путём учтены статистические характеристики шума (k_n). При этом известное теоретическое распределение вероятности амплитуд вибрации отдельного агрегата, аппроксимируемое моделью «синусоида-шум», описывается законом Райса [2]. При большом отношении сигнала к шуму распределение амплитуд близко к нормальному, что использовано при вычислении коэффициента k_1 , первой роторной гармоники виброскорости. Значение k_1 получено в функции коэффициента вариации амплитуд и представлено в виде графиков [1]. Вторая и более высокие роторные гармоники характеризуются меньшим соотношением сигнала к шуму и могут быть описаны моделью «узкополосный нормальный процесс». В этом случае значения коэффициентов таковы:

$$k_n = k = 1,86 \quad (n = 2, 3, \dots).$$

Теоретические и экспериментальные исследования [3] показали, что амплитуды роторных гармоник спектра виброскорости ГПА с подшипниками скольжения могут быть представлены степенной функцией первой

роторной гармоник. Действительно, при малых отклонениях цапфы в подшипниках скольжения от положения устойчивого равновесия появляются дополнительные гидродинамические силы F_x, F_y , которые могут быть линеаризованы и выражены через коэффициенты жесткости и демпфирования в функции относительно эксцентриситета χ [4]:

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{\mu \omega L}{\psi^3} I_x(\chi) X; \\ F_y &= \frac{\mu \omega L}{\psi^3} I_y(\chi) Y, \end{aligned} \quad (2)$$

где X, Y – перемещение цапфы подшипника от положения устойчивого равновесия в вертикальной и горизонтальной плоскостях; μ – динамическая вязкость масла; $\psi = \Delta/R$ – относительный зазор подшипника; L, R, Δ – длина, радиус и зазор подшипника; ω – угловая скорость вращения ротора; $\chi = e/\Delta$ – относительный эксцентриситет; $e = \sqrt{X^2 + Y^2}$ – смещение цапфы подшипника по линии центров; $I_x(\chi), I_y(\chi)$ – некоторые интегралы, зависящие от положения цапфы в подшипнике, определяемые как частные производные от общих выражений проекций гидродинамических сил по соответствующим перемещениям.

Аппроксимируем интегралы степенной функцией $I_{x,y}(\chi) = K_{x,y}(1-\chi)^3$ и разложим в ряд Тейлора для положения устойчивого равновесия, определяемого относительным эксцентриситетом χ_0 и углом φ_0 . Рассматривая малые колебания и применяя метод малого параметра к решению нелинейных вынужденных колебаний цапфы в подшипнике, получим соотношение для амплитуды виброскорости n -ной гармоники колебаний корпуса подшипника v_n , выраженное через амплитуды виброскорости первой гармоники v_1 :

$$v_n = \alpha_1(n+1) \cdot (\alpha_2 \cdot v_1)^n. \quad (3)$$

Здесь

$$\alpha_1 = \frac{\eta \cdot \bar{\omega} \cdot (1 - \chi_0) \cdot \Delta \omega \cdot \cos \varphi_0}{v};$$

$$\alpha_2 = 0,5 \cdot [(1 - \chi_0) \cdot \Delta \omega \cdot \cos \varphi_0]^{-1};$$

$$\eta = K_p / K_k; \quad \bar{\omega} = \omega_p^2 \cdot \omega_k^2 / \omega^4,$$

где v – малый параметр;

K_p, K_k – коэффициенты жесткости ротора и корпуса;

ω_p, ω_k – собственные частоты ротора и корпуса.

Подставляя (3) в (1) и производя суммирование ряда, имеем

$$v = \sqrt{\frac{v_1 k_1 + (k \alpha_1 \alpha_2 v_1)^2 \cdot [9 \cdot (\alpha_2 v_1)^2 - 11 \cdot (\alpha_2 v_1)^4 + 4 \cdot (\alpha_2 v_1)^6]}{2 \cdot (1 - \alpha_2^2 v_1^2)^3}}, \quad (4)$$

Для модели короткого подшипника [4] выразим $\cos \varphi_0$ через χ_0 и зафиксируем значения малого параметра $v=2(1-\chi_0)^2$. При малых значениях $(\alpha_2 v_1)^2$ получим приближенное выражение для общего уровня виброскорости отдельного агрегата:

$$v = v_1 \cdot \sqrt{\frac{k_1^2 + \alpha^2 v_1^2}{2}}, \quad (5)$$

где

$$\alpha = \frac{3\eta \bar{\omega} k \sqrt{10 + 6\chi_0^2}}{16\Delta \omega \chi_0 (1 - \chi_0)^3}. \quad (6)$$

При аппроксимации функции $I_{x,y}(\chi)$ степенной зависимостью в общем случае ограничивается дробным показателем степени [2], что может повлиять на вид выражения (6). Однако, расчетные исследования показали, что для агрегатов типа ГТК-10-4 и ГТ-750-6 наиболее приемлемый показатель степени — 3. Кроме того, некоторую неопределенность вносит малый параметр. (Заметим, что при малых значениях αv_1 , выражение общего уровня виброскорости (5) можно получить, если закон убывания роторных гармоник аппроксимировать экспоненциальной функцией, что указывает на общий характер выражения (5) для всех типов ГПА.)

Для нормирования общего уровня вибрации всего парка ГПА вводим допустимое значение (норму) виброскорости v_g аналогично [3] как среднеквадратичное значение виброскорости (5) парка агрегатов, а для предельного значения v_{np} воспользуемся правилом «трех сигма»:

$$v_g = \sqrt{M(v^2)}; \quad v_{np} = 3\sqrt{M(v^2) - M^2(v)}, \quad (7)$$

где $M(v^m)$ — момент m -го порядка случайной величины виброскорости, при $m=1$ получим математическое ожидание (v) , а при $m=2$ — момент второго порядка.

При решении уравнения (7) необходима плотность распределения вероятности общего уровня виброскорости (v) парка агрегатов. Вид гистограмм, полученных по данным статистической обработки экспериментальных исследований, не позволяет принять нормальный закон распределения. Поэтому получим закон распределения амплитуды виброскорости первой роторной гармоники из физической модели виброскорости, а моменты m -го порядка случайной величины (v) вычислим с использованием (5). Представим комплексную амплитуду колебаний корпусов подшипников первой роторной гармоники линейной функцией параметров дисба-

ланса с помощью передаточных функций в виде:

$$v_1 = \omega^3 \sum_{k=1}^r \Theta_k \bar{D}_k, \quad (8)$$

где $\bar{D}_k = D_k \exp(i\varphi_k)$ — комплексная амплитуда дисбаланса ротора, характеризующая модулем D_k и фазой колебаний φ_k ; Θ_k — передаточные функции, способ вычисления которых приведен в [3]; r — число точек ротора, в которых сосредоточен дисбаланс.

Не умаляя общности, выражение (8) применимо для анализа амплитуды виброскорости турбокомпрессора агрегатов ГТК-10-4 и ГТ-750-6, роторы которых имеют 10 и 12 ступеней осевого компрессора к 1-й и 2-й ступени турбины соответственно. Предполагаем, что весь суммарный дисбаланс ротора сосредоточен на ступенях, определяется только установкой лопаток на ступени и для k -й ступени выражение дисбаланса может быть представлено в виде

$$\bar{D}_k = \sum_{j=1}^{m_k} \left[\frac{\mu_j L_j}{2} \right]_k \exp \left[-i \frac{2\pi(j-1)}{m_k} \right], \quad (9)$$

где μ_j, L_j — масса и длина лопатки; m_k — число лопаток на ступени; $i^2 = -1$.

Закон плотности вероятности вектора $\bar{y} = \sum_{k=1}^r \Theta_k \bar{D}_k$ получим, вос-

пользовавшись центральной предельной теоремой. Несложно доказать, что при условии случайной независимости статических моментов лопаток вдоль окружности ступени совместная плотность распределения вероятностей компонент вектора $\text{Re } y$ и $\text{Im } y$ имеет круговое нормальное распределение, при этом распределение модуля $|y|$ описывается распределением Релея. Кроме того, считаем частоту ω случайной величиной, характеризующей ошибками наблюдений, т.к. вибрации агрегатов измеряются на различной частоте, ограниченной рабочим диапазоном частоты вращения ротора. Аппроксимируя плотность вероятности частоты вращения ротора нормальным законом, получим плотность вероятности амплитуды первой роторной гармоники парка агрегатов с использованием выражений для плотности произведения сложной функции в виде

$$p(v_1) = \frac{v_1}{\sigma^2(\text{Re } y)} \int_{-\infty}^{\infty} f(z) \psi(z) dz, \quad (10)$$

где $f(z)$ — стандартное нормальное распределение;

$$\psi(z) = [M(\omega) + z\sigma(\omega)]^{-6} \exp \left[-\frac{v_1^2}{2\sigma^2(\text{Re } y)[M(\omega) + z\sigma(\omega)]^6} \right];$$

$$\omega = M(\omega) + z\sigma(\omega);$$

$M(\omega), \sigma^2(\omega)$ - математическое ожидание и дисперсия частоты вращения;
 $\sigma^2(\operatorname{Re} y) = \sigma^2(\operatorname{Im} y)$ - дисперсия компонент вектора $\bar{y}$.

Разложим функцию $\psi(z)$ в ряд Маклорена в точке $z=0$ и, ограничиваясь линейным приближением $\psi(z) = \psi_0(z) + z\psi'_0(z)$ ввиду малых отклонений частоты ω от средних значений, получим окончательное выражение для плотности распределения вероятности v_1 ;

$$p(v_1) = \frac{v_1}{\sigma^2(v_1)} \exp \left[-\frac{v_1^2}{2\sigma^2(v_1)} \right], \quad (11)$$

где $\sigma^2(v_1) = [\sigma(\operatorname{Re} y)M^3(\omega)]^2$ - дисперсия первой роторной гармоники парка ГПА.

Плотность вероятности v_1 (10) по виду совпадает с распределением Релея и позволяет определить моменты случайной величины виброскорости (7), как сложной функции, а значения допустимого v_g и предельного v_{np} уровней представить в виде

$$v_g = k_1 \sigma(v_1) \sqrt{1 + 4 \left(\frac{\alpha}{k_1} \right)^2 \sigma^2(v_1)}; \quad (12)$$

$$v_{np} = 3k_1 \sigma(v_1) \sqrt{1 - \Gamma^2 \left(\frac{3}{2} \right) + \left[4 - 3\Gamma^2 \left(\frac{3}{2} \right) \right] \left(\frac{\alpha}{k_1} \right)^2 \sigma^2(v_1)},$$

где $\Gamma \left(\frac{3}{2} \right)$ - гамма функция.

После несложных преобразований приближённое выражение для предельного значения общего уровня виброскорости всего парка ГПА примет вид

$$v_{np} \approx 1,5k_1 \sigma(v_1) \sqrt{1 + 7 \left(\frac{\alpha}{k_1} \right)^2 \sigma^2(v_1)}. \quad (13)$$

Полученные выражения применимы для нормирования вибрации агрегатов ГТК-10-4 и ГТ-750-6 с использованием данных эксперимента. Корень квадратный из дисперсии амплитуды первой роторной гармоники определяем приближённо из гистограммы бездефектных агрегатов в виде $\sigma(v_1) = v_{max} / 3$, где v_{max} - максимальное значение амплитуды виброскорости на гистограмме. Для парка агрегатов ГТК-10-4 и ГТ-750-6 максимальное значение первой роторной гармоники в вертикальном направлении бездефектного агрегата $v_{max} = 12 \text{ мм/с}$, а $\sigma(v_1) = 4 \text{ мм/с}$.

Для вышеуказанного значения дисперсии расчёт допустимого и предельного общего уровня виброскорости проводили при следующих исходных данных: $\Delta = 0,32 \text{ мм}$; $\omega = 620 \text{ с}^{-1}$; $\chi_0 = 0,74$; $k_1 = 1,15$; $k = 1,86$; $\eta = 0,48$; $\bar{\omega} = \frac{5}{8}$.

Предельное значение общего уровня вибрации v_{np} равно 11,4 мм/с, оно представлено в виде границы, допускающей эксплуатацию ГПА $v_{np} = 11,3 \text{ мм/с}$ [3]. Допускаемое значение общего уровня виброскорости $v_g = 6,5$ в пересчёте на существующие нормы соответствует градации «хорошо», которая характеризуется минимальной вероятностью появления дефектов в контролируемых узлах в течение межремонтного пробега агрегата.

Разработанная методика может применяться для нормирования вибрации всех типов газотурбинных ГПА АО «Укргазпром», в том числе и вновь проектируемых, для которых дисперсия первой роторной гармоники вычисляется с помощью соотношения (9) и данных по нормированию дисбаланса ротора [2]. Кроме того, данная методика используется для оперативного выявления технического состояния действующих агрегатов ГТК-10-4 и ГТ-750-6.

Список литературы: 1. Костин В.И. Сравнительная оценка интенсивности вибрации с переменной во времени амплитудой эквивалентным значением виброскорости гармонических колебаний. Пробл. прочности. - 1974.- № 9. с. 103-107. 2. Игуменцев Е.А. Костин В.И. Нормирование вибрации газотурбинных ГПА. Проблемы прочности, 1989, № 2, с.127-122. 3. Васильев Ю.Н., Бесклетный М.Е., Игуменцев Е.А. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. М., «Недра», 1987, с. 197. 4. Керк Р.Г., Гантер Е.Ж. Устойчивость и неустановившееся движение цапфы в опорном подшипнике скольжения, установленном на податливых опорах с демпфированием. Тр. Амер. об-ва инженеров-механиков, - 1976.-В98, № 2. с. 207-222.

СОДЕРЖАНИЕ

Абызов А.П., Чемборисов Н.А., Юрасов С.Ю. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАЛАДКИ СТАНКА НА УСЛОВИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИХ ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ	6
Авцинов И.А., Битюков В.К., Новиков Д.Ю., Степанов С.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ, ОРИЕНТИРОВАНИЯ И СОРТИРОВКИ ШТУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА БАЗЕ ПНЕВМОИНЕРЦИОННЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ	8
Азаренков Н.А., Алимов С.С., Бизюков А.А., Бобков В.В., Литовченко С.В., Чипкала В.А. СИНТЕЗ МОНОКАРБИДА ВОЛЬФРАМА ИЗ ВОЛЬФРАМОВОГО АНГИДРИДА	10
Азаров С.М., Ротина О.А. ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ И ГАЗОВЫХ СРЕД	12
Акопян Р. А. ДО ПИТАНИЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ВІБРАЦІЙ СТАНКІВ ШЛЯХОМ ЇХ ПІДРЕСОРЮВАННЯ	14
Аксенов В.Н. Бабичев А.П. Семченко В.А. Шевцов С.Н. ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА НА УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ	18
Александров Е.Е., Отман А., Сила Т.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	20
Ализаев Г.Т., Артемов А.Ю., Шкуматов А.Н., Гончаренко А.А. СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ШАХТЫ	23
Ализаев Г.Т., Шкуматов А.Н., Залмаев Н.Ю. ОПТИМИЗАЦИЯ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ "ТЕХНОЛОГИЯ-БРИГАДА" ПРИ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ШАХТ	25
Антипин М.К., Тарасевич С.Э., Филин В.А., Щукин В.К. ТЕПЛОТДАЧА ДИСПЕРСНОГО ПОТОКА В СОПЛАХ В УСЛОВИЯХ ВДУВА	26
Апухтин А.С., Чашко М.В. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАК ЭЛЕМЕНТ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ	29

Арпентьев Б.М., Чепурко И.П. БАЗИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ	32
Афанасьева М.А., Лебедь В.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ВЗАИМНОГО РОТАЦИОННОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРУБ	35
Бабин О.Ф., Коваленко Н.С., Пономарев Л.Д. ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ	38
Бабичев А.П., Тамаркин М.А., Мельникова Е.П., Кожухова А.В., Бойко М.А. О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИСТИРОЛА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗКИ ДЛЯ АБРАЗИВНЫХ ГРАНУЛ	41
Багиров С.А. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОГРАММНОМ УПРАВЛЕНИИ ТОЧНОСТЬЮ ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ	43
Бакулин В.Н., Решинский В.В., Фомичев А.Б. АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА	46
Бараков Г.Л., Кузнецов В.И. РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИИ КАНАЛА ВОЛОЧИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРУГЛЫХ ПРУТКОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ	49
Баринев И. Н., Стрелков Б. В., Шерстняков Ю. Г. МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД С ТРАНСФОРМАТОРНЫМИ ТОКОПОДВОДАМИ	50
Барьяхтар В.Г., Буравлев Ю.М., Иваницын Н.П., Милославский А.Г., Кушняр М.П. ОСОБЕННОСТИ ВОДОРОДО-СТИМУЛИРОВАННОЙ ДИФфуЗИИ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	53
Басинюк Я.В. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫМИ СРЕДСТВАМИ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ ПЕРЕДАЧ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ	56
Баталин В.Ю., Семенов А.Д. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ГРАНИЦ	60

Бейгельзимер Я.Е., Спусканюк А.В., Маншилин А.Г., Шульгин Г.М.
ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ ПЕРЕМЫЧКИ В ПРОЦЕССЕ
МНОГОРУЧЕВОЙ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЯ.....61

Бейгельзимер Я.Е., Маншилин А.Г., Шульгин Г.М.
К ТЕОРИИ МНОГОРУЧЕВОЙ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЯ63

Беломестных А.С.
ОСОБЕННОСТИ КИНЕМАТИКИ РАБОЧЕГО ОРГАНА
ВИБРОИМПУЛЬСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ65

Белоцерковский М.А., Черепко А.Е.
АКТИВИРОВАННОЕ ГАЗОПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ67

Бельчик Л. Д.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН.....70

Бизюков А.А.
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ НАНЕСЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ
АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ73

Бизюков А.А., Бобков В.В., Рябчиков Д.Л., Целуйко А.Ф., Юнаков Н.Н.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО
НАНЕСЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА РУЛОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ75

Благин А.В., Константинов П.А., Алфимова Д.Л., Благина Л.В., Абрамов Э.В.
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ В
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ A^3B^5 ЭЛЕКТРОННОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ78

Благодарный В. М., Гушин В. И., Голиков Б. С., Шелег П. А.
ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОРОШКОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ СТРУЖКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ80

Блесман А.И., Гладенко А.А., Машков Ю.К., Овчар З.Н.
ПРИМЕНЕНИЕ ИОННО-ЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТРИБОТЕХНИКЕ.....83

Бобков В.В.
МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ГАЗОВЫХ СРЕД85

Богуславский В.А., Петрушина Н.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ
ПРИМЕНЯЕМЫХ СОТС89

Бойко Н.Г., Бойко Е.Н., Федоров О.В.
УГОЛ УСТАНОВКИ ТВЕРДОЙ ПЛАСТИНКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА90

Бойко Е.Н., Голубов Н.В., Ковтун А.Г.
ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФРОНТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ91

Болотнов С. А., Ивлев О. А., Хомяков А. И.
ФУРЬЕ-АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
КОНТРОЛЯ СОСТАВА ПРИРОДНОГО ГАЗА92

Болотнов С. А., Марков И. Е., Соловьев С. Л.
ЭЛЕКТРОДИГАТЕЛЬ ПРИВОДА ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ94

Бондаренко В.Н., Козлов В.П., Игнатьев В.А., Борзенков И.А.
ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ТВЕРДЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ В ТРУБКАХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ.....97

Бондаренко В.Н., Полунин А.И., Игнатьев В.А., Козлов В.П., Борзенков И.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОРОНКИ
КОНУСНОЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ТРУБ НА КИНЕМАТИКУ ЕЕ ДВИЖЕНИЯ.....100

Бондаренко В.П., Сидоренко Г.С.
СТАНДАРТЫ ISO - ГАРАНТИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ102

Борисова Г.В., Якунин Е.А., Лысенко А.Б.
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ АМОРФИЗАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
СПЛАВОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ С ОПЛАВЛЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ.....104

Бохонский А.И., Волнухин Д.В.
ОПТИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ УПРУГИХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ
ДЕМПФИРОВАНИЯ106

Бохонский А.И., Мозолевский М.И.
ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ РУКИ МАНИПУЛЯТОРА МАЛОЙ
ЖЕСТКОСТИ109

Бочаров С.И.
ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СТРЕЛЫ В ОБЛАСТИ СОЧЛЕНЕНИЯ СЕКЦИЙ.....112

Брянкин О. Ю., Тазмеев Б. Х.
МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ЖИДКОСТНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД КАК
ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ
КРУПНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК115

Бубликов И.А., Середкин В.В., Шевченко А.Г.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ОХЛАЖДАЮЩИХ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	116
Бубликов И. А., Шевейко А. Н., Беспалова Ж. И., Мирошняченко Л.Г. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТОВ.....	119
Будаев В. А., Усов В. П. ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА - ОСНОВА УСТОЙЧИВОЙ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ.....	122
Букин С.Л., Корчевский А.Н., Золотухин В.А., Бредихин В.Н., Самсонов А.И. ОПЫТ ОБОГАЩЕНИЯ ЛОМА ЦВЕТНЫХ И ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ НА КОНЦЕНТРАЦИОННОМ СТОЛЕ С БИГАРМОНИЧЕСКИМ ВИБРАТОРОМ.....	124
Букин С.Л., Соломичев Н.Н. К ОПРЕДЕЛЕНИЮ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ ТРЕХМАССОВОГО БИГАРМОНИЧЕСКОГО ВИБРОГРОХОТА.....	127
Буравлев Ю.М., Чернявская Н.В., Р.Чандра Синха, Крысова С.К., Крысов В.И. ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АМОРФНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ.....	130
Бутенко В.И., Пушкарный А.В. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАННОЙ РЕЛАКСАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА.....	133
Варюхин В.Н., Спусканюк В.З., Богданов В.А., Эфрос Б.М. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГИДРОПРЕССОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОАЗОТИСТЫХ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ.....	135
Васильченко Я.В., Клименко Г.П. ЭКСПЛУАТАЦИЯ РЕЗЦОВ СО СМЕННЫМИ МНОГОГРАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ С ЗАТРУДНЕННЫМ СТРУЖКОДРОБЛЕНИЕМ.....	138
Вернигоров Ю.М., Гордин Ю.А. РЕЗОНАНСНАЯ СЕПАРАЦИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОРОШКОВ.....	140
Верченко В.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПОТОКОВЫМ АЛГОРИТМОМ.....	144

Виговський Г.М. КОНСТРУЮВАННЯ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ДЛЯ ЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ.....	147
Витренко А.Н., Витренко В.А., Должков М.А., Кириченко И.А. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС.....	149
Витязь П.А., Беляев А.В., Верстак А.А., Талако Т.Л., Коваль В.А. САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ.....	152
Власов Г. А., Парфенюк А.С., Алексеева О.Е., Костина Е.Д., Захаров П.А., Карпов В.С. ГАРАНТИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	154
Войнаровский Юзеф, Калински Владыслав МНОГОКАНАЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ РЕГИСТРАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗ РАБОТЫ МОСТОВЫХ КРАНОВ.....	157
Волонцевич Д.О., Воронцов С.Н., Сериков В.И. О ВЛИЯНИИ СИЛЫ ТЯГИ НА НАГРУЖЕННОСТЬ ОПОРНЫХ КАТКОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ.....	158
Волочков А.А., Лученок А.Р., Пономарева С.В., Ушеренко С.М., Фурс В.Я., Шелегов В.И. АКТИВАЦИЯ СИНТЕЗА ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ TiNi ПРИ УДАРНОВОЛНОВОМ НАГРУЖЕНИИ.....	159
Волощенко А. П. ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ УКРАИНЫ.....	162
Воронцов Б.С., Быковский В.И. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМЫ Pro/ENGINEER.....	166
Вяльцев Н.В., Гусев В.В., Горкуша А.Е., Молчанов А.Д. ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СМАЗКИ НА МОМЕНТ ТРЕНИЯ РОЛИКОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ.....	169
Гавриш А.П., Біланенко В.Г., Біланенко С.В. ЗАВЕРШАЛЬНА ОБРОБКА ЛЕЗОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ ЗАГАРТОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	172
Гавриш А.П., Солдатенко Л.А., Гавриш О.А., Сринивасан М.М. АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ МАГНИТНОМЯГКИХ СПЛАВОВ.....	177

Гафанович Г.Я. СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ УКРАИНЫ.....	180
---	-----

Гейер Э. С. ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ	183
---	-----

Гладчук Е.А., Горелик В.С. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ	189
---	-----

Гог Жан-Мари СОВЕТЫ ИНЖЕНЕРАМ ИЗ СТРАН ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ	192
--	-----

Гог Жан-Мари, Клягин Г.С., Воскобойникова Н.П. ПО ПОВОДУ СТАТЬИ "ЧУВСТВО ПЕРЕМЕН: МЕНТАЛЬНЫЙ ПРОРЫВ"	196
---	-----

Гольцев А.С. О ДЕЙСТВИИ СОСРЕДОТОЧЕННОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА В ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНКЕ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ	197
---	-----

Гордеев А.С., Триш Р.М. РАССЕЯНИЕ РАЗМЕРОВ ВО ВРЕМЕНИ ПРИ ТОЧЕНИИ	200
--	-----

Горкуша А.Е., Гуня А.П., Гусев В.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ	203
--	-----

Горкуша А.Е., Стеблянка В.Г., Пикин В.А. О ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ ТОНКОСТЕННОГО ВКЛАДЫША С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ.....	206
---	-----

Горленко А.О., Сухарев С.О. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НЕЖЕСТКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ИМПУЛЬСНОЙ МИКРО - ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ.....	208
--	-----

Городец И.А., Новикова О.Н., Белоконов О.М. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЛИНИИ ЗАЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСНО-РЕБЕЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ.....	211
--	-----

Горохов А.А., Емельянов С.Г. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СБОРНЫМИ ДИСКОВЫМИ ФРЕЗАМИ, ОСНАЩЕННЫХ СМЕННЫМИ МНОГОГРАННЫМИ ПЛАСТИНАМИ.....	212
---	-----

Гринер І.М., Морозов В.О., Мазуренко О.Ю. ЗАСТОСУВАННЯ ПРУЖНОГО ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА З ПРОГРАМОВАНИМ РОЗМІЩЕННЯМ АБРАЗИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	214
--	-----

Громыко П.Н., Стаценко А.А., Пусков О.М. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛАНЕТАРНОЙ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЯТЕН КОНТАКТА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДА ИЗНОСА В ЯЧЕЙКАХ ПРЕЦЕССИОННОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ	217
--	-----

Гузенко В. С., Миранцов С. Л., Федоров В. Л. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННОГО ИНСТРУМЕНТА.....	220
---	-----

Гусев Е.Л. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.....	222
--	-----

Гусейнов Г. А., Багиров С. А. ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОЦЕССА ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ	225
--	-----

Гущин В.М. РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ	227
---	-----

Гущин В.И., Бучкин Ю.В. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ МЕТАЛЛ- ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ	230
---	-----

Дворников В.И., Манакин А.П., Савенков В.В., Манакин Е.А. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ВИБРАЦИОННЫМИ КАТКАМИ.....	232
---	-----

Девин Л.Н., Шляев Д.В. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЗЦОВ ИЗ КНБ В ПЕРИОД ПРИРАБОТКИ.....	233
--	-----

Демин В.П., Ширнин И.Г. ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ	236
--	-----

Деркач А.В., Лукичев А.В., Аушев Ю.В. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ Г-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ	239
--	-----

Диденко Г.П. О МЕХАНИЗМЕ ЗАТУПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННОГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА	242
--	-----

Дубинин С. И. РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРАКТИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	244
Дудченко А.А., Резниченко В.И. ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ НАТЯЖЕНИЯ ВОЛОКОН В СЛОЯХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЛИННОМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ	250
Дудченко А.А., Щербаков Ю.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТИПА КЕССОНОВ КРЫЛА	252
Дьяченко В.А., Дьяченко О.В. Афанасьев Н.И., Костюченко В.В. О ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ РЕЗОНАНСНОГО ИЗМЕЛЧАЮЩЕГО АППАРАТА	255
Егоров Н.Т. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОЛСТОЛИСТОВОЙ СТАЛИ	258
Емельянов С.Г., Сорокина О.С. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СБОРНЫМИ ОСЕВЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ, ОСНАЩЕННЫМИ СМП	260
Енин В. Н., Марков И. Е., Скрибанов Е. В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС	263
Жидков В.В., Горин А.Н., Складенко Н.А., Райкис И.П. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В АО "НОРД"	265
Жидков В.В., Филиппов С.Н., Складенко Н.А., Демина Л.Г. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭПОКСИ-ПОЛИЭФИРНОЙ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ П-ЭПЭ-2010	267
Жулякова Н.Ю. СТАТИЧЕСКИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫЙ РАСЧЁТ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ	269
Жохова В.В. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СТРУЖКИ, ФОРМИРУЕМОЙ В ТОКАРНЫХ МОДУЛЯХ	272
Жук И.В., Драган А.В., Скороходов А.С., Александрова В.С.	

КОМПЬЮТЕРНАЯ ДИАГНОСТИКИ ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ВИБРАЦИИ И КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ	275
Заплетников И.Н., Павлов М.Я., Смирнов О.Р. МОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ	277
Запорожец Т.В. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭРОТЕНКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРКАСНЫХ АЭРАТОРОВ "ЭКОТОН"	280
Зарубицкий Е.У., Покинтелица Н.И., Кривобоков В.А., Плехотник В.А. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТЕРМОФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ПЛОСКОСТЕЙ	282
Захаров Н.В. НЕОБХОДИМОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРОТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	284
Захаров Н.В., Ремнев А.И., Макогон А.А. УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	287
Золотухин В.А., Бредихин В.Н., Самсонов А.И. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ ЦВЕТНЫХ И ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ	289
Зюзин А.А., Козлов А.М., Долгих П.П. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ	290
Ивченко Т.Г., Некрасов С.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СБОРНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА	293
Ивченко Т.Г., Сагуленко Д.Г. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА	294
Игнатов В.И. АНАЛИЗ АЧХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КОВША ПТМ	295
Игуменцев Е.А. ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КОМПРЕССОРОВ	298
Игуменцев Е.А. НОРМИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ	305