

Научное издание

**Материалы, оборудование и
ресурсосберегающие технологии**

Материалы международной
научно-технической конференции
Часть 1
Могилев, 18–19 апреля 2013 г.

**Авторы несут персональную ответственность
за содержание тезисов докладов**

Технический редактор И. В. Брискина

Компьютерная верстка И. В. Брискина

Подписано в печать 04.04.2013г. Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл.печ.л. 12,55. Уч.-изд.л. 14,05.
Тираж 99 экз. Заказ № 275.

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
ЛИ №02330/0548519 от 16.06.2009.
Пр. Мира, 43, 212000, г.Могилев.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОГИЛЕВСКИЙ ОБЛАСТНОЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ КОМИТЕТ

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Материалы, оборудование
и ресурсосберегающие технологии**

Материалы международной
научно-технической конференции
Часть 1
Могилев, 18–19 апреля 2013 г.

Могилев
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
2013

M34

Рецензенты : канд. техн. наук, доц. А. В. Капитонов; д-р техн. наук, доц. А. М. Даньков; канд. техн. наук, доц. Д. И. Якубович; д-р техн. наук, проф. В. П. Куликов; канд. техн. наук, доц. Г. С. Леневский

Сборник предназначен для инженерно-технических и научных работников, аспирантов и студентов ВУЗов.

ББК 65.30:34.6:31.291

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2013

АБАБУРКО В.Н., ЧЕРНАЯ Л.Г. Испытания частотнорегулируемых электроприводов для взрывоопасных зон.....	191
БОРЧИК Е.М., ЯКИМОВ А.И. Метод управления процессом производства продукции на основании принципа оптимальности Беллмана.....	193
КОВАЛЬ А.С., ЕФИМЕНКО Е.В. Разработка стенда для исследования регулируемого электропривода массовых лифтов с управляемым торможением в функции пути.....	195
КОЛЬЦОВ С.В., ОВСЯННИКОВ К.В., КОРНЕЕВ А.А. Электроприводы горнодобывающей промышленности.....	196
КРУТОЛЕВИЧ С.К., МИСНИК А.Е. Разработка библиотеки типизированных нейросетевых моделей для оперативного управления процессами в сложной технической системе.....	197
КРУТОЛЕВИЧ С.К., ЩЕРБО Н.М., ЗАЙЧЕНКО Е.А. Разработка графического редактора формирования модели топологии тепловой сети.....	199
ПАРФЕНОВИЧ О.Н., КАПИТОНОВ О.А., ТРЕТЬЯКОВ А.С. К вопросу о проектировании асинхронного электропривода в электромехатронном исполнении.....	201
СТОЛЯРОВ Ю.Д., ВАСИЛЕВСКИЙ В.П., ЯСЮКОВИЧ Э.И. Оптимальная регенерация динамической памяти компьютера.....	203
ЧЕРНАЯ Л.Г., АБАБУРКО В.Н. Функциональная безопасность систем противоаварийной защиты и контроля.....	205
ЯНКОВИЧ А.В., ЛАБКОВИЧ Г.В., ЖЕСТКОВА Л.В. Применение устройств лучистого излучения в системах отопления.....	207

УШЕРЕНКО С.М., МАРУКОВИЧ Е.И., УШЕРЕНКО Ю.С. Локальное легирование металлических материалов введением сгустков дискретных порошковых частиц.....	158
ЧЕКАН Н.М., ОВЧИННИКОВ Е.В., ЭЙСЫМОНТ Е.И. Нанокomпозиционные тонкослойные покрытия.....	160
ШЕМЕНКОВ В.М., ЛОВШЕНКО Ф.Г., ЛОВШЕНКО Г.Ф., БЕЛАЯ М.А. Структурно-фазовое модифицирование твердых сплавов комплексным воздействием тлеющего разряда и постоянного магнитного поля.....	162

Секция 4. Ресурсосберегающие технологии в сварочном производстве

БЕНДИК Т.И., ВЫДРОВА В.В. Новые технические нормативно-правовые акты в области проектирования сварных конструкций	163
БЕРЕЗИЕНКО В.П., НОВИКОВ В.И., ДЬЯЧЕНКО В.И. Особенности образования соединений при сварке металлов трением	164
БЕРЕЗИЕНКО В.П., ЕМЕЛЬЯНОВ С.Н. О возможности прогнозирования качества точечной сварки металлов с покрытиями..	166
БОЛОТОВ С.В., КУРЛОВИЧ И.В., ГЕРАСИМЕНКО Н.В. Управление сварочным током контактных машин с использованием контроллера NI COMPASTRIO.....	168
ВРУБЛЕВСКАЯ В.В. Оценка возможности применения дуговой сварки для крестообразных соединений из арматуры малых диаметров.....	170
ДЕСЯТНИК В.В. О запасе пластичности сварных соединений..	172
ИГНАТОВА Е.В., ЛАТУН Т.С., ЦУМАРЕВ Ю.А. Новые конструкции паяных тавровых соединений.....	173
КИРЕЕВ П.В. Возможность участия атомарных газов, образующихся в процессе сварки, в возгорании материалов.....	174
КОРОТЕЕВ А.О., КУЛИКОВ В.П., КАДРОВ М.А. Дуговая сварка в условиях кольцевого потока защитного газа.....	176
КУЛИКОВ В.П., БЕЛЯГОВ А.М., БОЛОТОВ С.В. Сертификация и испытания сварочного оборудования и материалов в условиях Таможенного союза.....	178
ЛУПАЧЁВ В.Г., АКПАНУРОМ М.У., МАЛАШЕНКО Н.В. Ремонт участков теплотрасс при коррозионном повреждении сварных соединений.....	179
ПОЛЯКОВ А.Ю., ФУРМАНОВ С.М. Система автоматического управления регулятором контактной сварки в программной среде LABVIEW.....	181
СИНИЦА А.Н. Техническое диагностирование пружинных предохранительных клапанов.....	183
ТАРАСЕНКО И.В. Влияние активирующих добавок на свойства	

УДК 338.4
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПУСКА И ПРОИЗВОДСТВО НАУКОЕМКОЙ И
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПАРКЕ БНТУ «ПОЛИТЕХНИК»

*Б. М. ХРУСТАЛЕВ, Ю. Г. АЛЕКСЕЕВ, В. Н. ГМЫРАК
*БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГП «НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК БНТУ «ПОЛИТЕХНИК»
Минск, Беларусь

В настоящее время Республиканское инновационное унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник» (далее Технопарк) – это технопарк распределенного типа, структура которого состоит из научно-производственных и информационно-маркетинговых подразделений. Резидентами Технопарка являются 7 дочерних и 3 предприятия, созданные при участии Технопарка. Структурные подразделения и резиденты Технопарка функционируют на общей площади более 2,6 тыс. м², арендуемой в БНТУ и на предприятиях г. Минска. Коэффициент эффективности использования площадей (отношение общей стоимости реализованной Технопарком и его резидентами инновационной продукции к площади арендуемых помещений) в 2012 году составил 12 млн рублей на 1 м².



Рис. 1. Структура Технопарка и арендуемых площадей

Задачи, решаемые в Технопарке совместно с учеными БНТУ, соответствуют государственным приоритетным направлениям фундаментальных и

прикладных научных исследований, приоритетным направлениям создания и развития новых и высоких технологий. Университет – как организация-разработчик, а Технопарк – как организация-изготовитель, осваивающая выпуск новой продукции.

В Государственную программу инновационного развития Республики Беларусь на 2011-2015 гг. Белорусским национальным техническим университетом представлено 10 инновационных проектов Технопарка. Среди них 4 проекта по созданию новых предприятий и важнейших производств (проекты I уровня), 4 проекта по созданию новых производств на действующих предприятиях (проекты II уровня), 2 проекта по модернизации действующих производств (проекты III уровня). При этом в Технопарке выполняется четвертая часть от общего числа проектов госпрограммы в разрезе по Министерству образования Республики Беларусь, что является наиболее высоким показателем в стране. На реализацию проектов в 2011–2012 гг. направлено около 20 млрд рублей, что более чем на 50 % превышает запланированный программой уровень финансирования на отчетный год. За 2011–2012 гг. в ходе реализации проектов Государственной программы Технопарком и его резидентами было произведено инновационной продукции на сумму более 35 млрд рублей, при этом вся выпускаемая продукция является результатом НИОК(Т)Р, ранее проведенных в Технопарке с участием ученых и специалистов БНТУ.

В соответствии с планом-графиком реализации важнейших проектов по созданию новых предприятий и производств, имеющих определяющее значение для инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 гг. Технопарком в декабре 2012 года на площадях БНТУ создан и введен в эксплуатацию **участок по производству инструментария, имплантантов и погружных металлоконструкций для травматологии и ортопедии**. В настоящее время на созданном участке изготавливается широкий спектр медицинских изделий для травматологии и ортопедии. По номенклатуре и качеству данные изделия не уступают изделиям крупнейших фирм-производителей из Германии, Швейцарии, Польши и России: Aescular, Osteosyntesis, Mikromed, Mathys, ЦИТО и других, при этом отпускная цена ориентировочно в 2–4 раза ниже западноевропейских аналогов, что обеспечивает конкурентоспособность продукции на национальном и зарубежных рынках. Все изделия прошли необходимые технические, санитарно-гигиенические и клинические испытания, получено регистрационное удостоверение для их изготовления и реализации на территории Республики Беларусь. Основными потребителями продукции являются ООО «Медбиотех», Республиканская больница управления делами президента РБ; Республиканский научно-практический центр "Кардиология"; Белорусский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии; республиканские,

ного для аварийно-спасательных подразделений.....	130
МАРУКОВИЧ Е.И., ИЛЮШЕНКО В.М., ДУВАЛОВ П.Ю. Ресурсосбережение при производстве деталей из износостойких хромистых чугунов.....	131
МАРУКОВИЧ Е.И., УШЕРЕНКО Ю.С. Упрочнение инструментального композиционного материала на базе стали Р6М5.....	133
НИСС В.С., ПАРШУТО А.Э., СИМОНЧИК А.П. Исследование процессов получения гальванических покрытий катодной электролитно-плазменной обработкой.....	135
ОВЧИННИКОВ Е.В., ЭЙСЫМОНТ Е.И. Композиционные полиамидные покрытия, формируемые на базе термодинамически несовместимых полимеров.....	137
ОСКІРКО О.В., КУРИЛО И.И., ЖАРСКИЙ И.М. Получение пигментов из продуктов переработки ванадийсодержащих отходов.	139
ПОПОВ А.Н., КАЗАЧЕНКО В.П., НОВИКОВ А.А. Модифицирование поверхности резины покрытиями на основе углерода...	140
РУБАНИК В.В., САМОЛЕТОВ В.Г. Синтез магнитоабразивных материалов методом самораспространяющегося синтеза с применением физических воздействий.....	142
РУБАНИК В.В., ЦАРЕНКО Ю.В., ДОРОДЕЙКО В.Г., РУБАНИК В.В. (мл.), МОСИН А.В., НОВИКОВ В.Ю. Получение биметаллической проволоки Cu-Ag медицинского назначения.....	144
СИНИЙ С.В., ШИРОКОВ В.В., ШОСТАК А.В. Защита железистых порошковых материалов покрытиями нового поколения....	146
СТАРОВОЙТОВ А.М., ГОЛОЗУБОВ А.Л., ВОРОНЧУК В.А. Исследование свойств композиции износостойкое тонкопленочное кремнийсодержащее покрытие-подложка, работающей при высоких контактных давлениях.....	148
СТАРОВОЙТОВ А.М., ГОЛОЗУБОВ А.Л., ВОРОНЧУК В.А. Исследование физико-механических свойств износостойких кремнийсодержащих тонкопленочных покрытий, работающих в условиях высоких контактных давлений.....	150
СТЕПАНКИН И.Н., ХРОМОВА Л.С. К вопросу влияния формы гравюры холодновысадочных матриц на механизм их разрушения.....	152
СТЕЦЕНКО В.Ю., ГУТЕВ А.П. Аллюминотермическое получение стальных слитков из отвальных шлаков медеплавильного производства.....	154
СТЕЦЕНКО В.Ю., КОНОВАЛОВ Р.В. Получение наноструктурных силуминовых отливок диаметром 75 мм.....	155
ТАРИКОВ Г.П., БЕЛЬСКИЙ А.Т., КОМРАКОВ В.В. Формирование покрытия из металлического порошка пластической деформацией.....	156

торов.....	103
СТЕЦЕНКО В.Ю., НОВИКОВ В.В. Производство биметаллических заготовок «СТ25Л-АК15МЗ» для червячных колес редукторов.....	104
ФОМЧЕНКО М.М. Разработка устройства для распыления струи воды с регулировочной вставкой.....	105

Секция 3. Технологии получения новых материалов и покрытий

АЛЕКСЕЕВ Ю.Г., КОРОЛЁВ А.Ю., АСТАПЕНКО А.А. Исследование параметров электролитного нагрева в процессе электрохимико-термической обработки.....	107
АШУЙКО В.А., НОВИКОВА Л.Н., МАЛАШОНОК И.Е. Получение и использование модифицированных глинистых материалов для очистки стоков гальванических производств.....	109
БЕВЗА В.Ф., ГРУША В.П., ГОРЕЦКИЙ Г.П. Влияние режима охлаждения на структуру чугуна «Нирезист».....	111
ВЫСОЦКИЙ В.Т., ВЫСОЦКИЙ Т.В. Совмещение процессов спекания и цементации порошковых материалов.....	113
ГОРЕЦКИЙ Г.П., БЕВЗА В.Ф. Термическая обработка никелевых чугунов с мартенситом.....	115
ГРУША В.П. Литье намораживанием толстостенных заготовок из серого низколегированного чугуна.....	117
ЕКИМЕНКО А.Н., КОЛДАЕВА С.Н., КОЛДАЕВ О.Ю. Новые пресс-композиции высокопрочных древесных пластиков и их переработка усовершенствованными методами плунжерной экструзии..	119
ЖАРСКИЙ И.М., КУРИЛО И.И., КРЫШИЛОВИЧ Е.В., БЫЧЕК И.В. Электрохимическое выделение соединений ванадия из зольных шламов тепловых электростанций.....	121
КИРКОР М.А., БОНДАРЕВ Р.А. Критерии оценки эффективности разделения полидисперсных порошков.....	122
КОВГАНКО С.В., ПЛЕТНЕВ Л.В. Математическое моделирование столкновений атомов над поверхностью конденсированной фазы.....	124
КУРИЛО И.И., ЧЕРНИК А.А., ЖАРСКИЙ И.М., МИХЕДОВА Е.В. Электрохимическое латунирование из глицератного электролита в условиях ультразвуковой обработки.....	125
ЛОВШЕНКО Ф.Г., ЛОВШЕНКО Г.Ф., ФЕДОСЕНКО А.С. Термореагирующие механически легированные порошки.....	126
ЛОВШЕНКО Ф.Г., ЛОВШЕНКО Г.Ф., ЛОЗИКОВ И.А. Влияние раскислителей на степень усвоения легирующих элементов и свойства сплавов при открытой плавке хромовых бронз.....	128
МАКАРЕВИЧ С.Д. Разработка отечественного шлема пожар-	

областные, районные, городские клинические больницы и другие организации. Всего за 2011–2012 гг. произведено и поставлено более 100 000 медицинских изделий на общую сумму более 1,5 млрд белорусских рублей.

Ассортимент выпускаемой медицинской продукции предприятия постоянно расширяется. Создаются и внедряются в медицинскую практику новые медицинские изделия. За 2011–2012 гг. были освоены технологии для создания 3 новых видов изделий в области травматологии: **новая конструкция кусачек для винтов и спиц; новые типоразмеры спиц, проволока для серкляжного шва, внутрикостная игла и ключ для натяжения спиц (спиценатягиватель).**



Рис. 2. Новые образцы медицинской техники

В 2011 году совместно с РНПЦ "Кардиология", БелМАПО и кафедрой «Конструирование и производство приборов» ПСФ был разработан **универсальный медицинский ультразвуковой генератор для применения в различных направлениях медицины**, т. к. кардиология, онкология, урология, стоматология при использовании соответствующих волноводов. Уже зарегистрированы и применяются в медицинской практике гибкие **длинномерные ультразвуковые волноводы** для разрушения тромбов внутри сосудов. Изготовлены специальные **кольцевые волноводы** с помощью которых проведены испытания на животных комплексного метода воздействия ультразвука и ионизирующего излучения на кожные опухолевые образования. В настоящее время проводятся медицинские испытания данных волноводов на пациентах – добровольцах.

Совместно с БелМАПО разработаны оригинальные **конструкции биопсийного пистолета и аппарата экстренной фиксации**. Опытные образцы

данных изделий уже проходят регистрацию и подготовку к серийному производству.

Совместно с РНПЦ "Кардиология" и кафедрой «Конструирование и производство приборов» разработана конструкция, изготовлены опытные образцы и ведется подготовка к запуску в серийное производство **системы аортального стентграфта** для лечения ишемической болезни сердца, причем стоимость данного изделия будет в несколько раз ниже импортных аналогов. Также начаты работы по **разработке матричных и плетеных стентов**. На территории Беларуси в настоящее время не производятся такие изделия медицинской техники, как внутрисосудистые стенты. Врачи в связи с их высокой стоимостью получают эти изделия только посредством импорта и в очень ограниченных количествах. Появление отечественного стента, конкурентоспособного по сравнению с импортными аналогами, вызовет резкое увеличение количества оперируемых больных, сделав операции такого рода более доступными. По расчетам специалистов потребность в стентах составляет не менее 5000 штук в год. Справочно: на долю болезней системы кровообращения в Беларуси приходится более 50 % летальных исходов и около 50 % инвалидностей; кроме того, зафиксирована устойчивая, четко выраженная тенденция возрастания смертности у людей трудоспособного возраста. Очень надеемся, что эти разработки помогут исправить ситуацию к лучшему.

Исследования технологических аспектов применения финишных методов обработки, проводимые в Технопарке совместно с НИИЛ Новых конструкционных материалов НИЧ БНТУ, позволило освоить **электролитно-плазменную обработку** как способ высокоэффективной очистки и подготовки под покрытия поверхностей металлических изделий различной степени сложности. В Технопарке осуществляется отработка технологических режимов, выпуск технологического оборудования, обработка изделий для потребителей. В ходе выполнения одного из важнейших проектов Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 гг. «Создание производства оборудования для электролитно-плазменной обработки (ЭПО) металлических материалов» Технопарком изготовлены две высокотехнологичные установки для электроплазменной обработки (ЭПО) мощностью 40 и 100 кВт. Кроме того, в 2012 году разработаны и выполнены контракты на изготовление 2 установок ЭПО для Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева (Республика Казахстан) и ОАО «Теплообменник» (РФ, г. Нижний Новгород) на общую сумму более 35,5 тыс. долларов США.

поверхностей пар трения типа «вал-втулка» в процессе приработки.	70
БОРИСЕНКО Л.А., КОМАР В.Л., КАЛЕЕВ Д.Н. Выбор параметров быстроходной ступени двухступенчатого планетарного механизма.....	72
ГАЛЮЖИН А.С. Повышение эффективности устройств осушки сжатого воздуха.....	74
ГАЛЮЖИН Д.С., КАЛЕЕВ Д.Н., БАРСУКОВ Е.А., ЧЕРНАЯ А.С. Исследование опрокидывания консольного крана.....	76
ГРОМЫКО П.Н., ТРУСОВ И.В., ЛЯБИК В.И., ЮРКОВА В.Л., ДЕМЕНТУС Ю.А. Внедрение планетарных прецессионных передач в приводные механизмы различного назначения.....	78
ДАНЬКОВ А.М., ДОРОШКОВ С.А. Планетарная плавнорегулируемая передача с циклоидно-цевочным зацеплением.....	80
ДАНЬКОВ А.М., ДОРОШКОВ С.А. Пути совершенствования кинематики планетарной плавнорегулируемой передачи.....	82
ЛОКТИОНОВ А.В. Расчет кинетических моментов механической системы с двумя степенями свободы.....	84
ЛОКТИОНОВ А.В. К теории аналитического расчета кинематических параметров режущего инструмента исполнительного механизма.....	86
МАКАРЕВИЧ С.Д. Результаты эксплуатационных испытаний устройства для проведения аварийно-спасательных работ с прецессионным редуцирующим механизмом с коническими роликами....	88
МАКАРЕВИЧ С.Д. Результаты стендовых испытаний устройства для проведения аварийно-спасательных работ с прецессионным редуцирующим механизмом с коническими роликами.....	90
МЕЛЬНИК Ю.А., МЕЛЬНИК А.В., МЕЛЬНИК В.Н. Использование стереоскопического метода в РЭМ для исследования шероховатых поверхностей.....	92
ПАШКЕВИЧ А.М. КПД радиально-плунжерных редукторов второго класса и его зависимость от применяемой смазки.....	94
РОГАЧЕВСКИЙ Н.И. Потери в зацеплениях звеньев торцовой червячной передачи.....	96
САЗОНОВ И.С., ЛУСТЕНКОВ М.Е., ПРУДНИКОВ А.П. Экспериментальное исследование КПД цилиндрической кулачковой роликовой передачи.....	98
САЗОНОВ И.С., ЛУСТЕНКОВ М.Е., ФИТЦОВА Е.С. Конструкция сферической шариковой передачи.....	99
СИНИЙ С.В., ГЕВКО Р.Б., ВАРГОЛЯК Н.Я. Изыскание конструкции картофелеуборочной машины с надежным рабочим процессом.....	101
СТЕЦЕНКО В.Ю., БАРАНОВ К.Н. Производство втулок из антифрикционного силумина для навесного оборудования экскава-	

МЕДВЕДЕВ О.А., МАРЧУК К.А. Анализ точности сборки машин с компенсаторами-членами геометрического ряда.....	43
МИРОНОВА М.Н. Автоматизация проектно-конструкторских работ при подготовке производства на основе функциональных семантических сетей.....	45
МИХАЙЛОВ М.И. Обеспечение надежности инструментальной системы многоцелевых станков при ее структурном формировании.....	47
МИХАЙЛОВ М.И. Моделирование точности позиционирования крестового стола многоцелевого станка.....	49
ПАШКЕВИЧ В.М. Оценка интерференции трехмерных объектов при моделировании кинематических погрешностей передач.....	51
ПАШКЕВИЧ М.Ф. Фрикционные поводковые устройства с ведущими кольцевыми элементами.....	53
РУДАК П.В., РУДАК О.Г., БАЛТРУШАЙТИС А., КЯТУРАКИС Г. Способ фрезерования плитных древесных материалов, обеспечивающий повышение эффективности аспирации.....	55
РУДАК П.В., КУИС Д.В., РУДАК О.Г., БАЛТРУШАЙТИС А., КЯТУРАКИС Г. Методика определения коэффициентов трения по поверхностям лезвия в процессе фрезерования плитных древесных материалов.....	57
РЯЗАНЦЕВ А.Н. Автоматизированный структурно-параметрический синтез средств технологического оснащения механосборочных операций.....	59
СТЕПАНКИН И.Н., ПАНКРАТОВ И.А., МАКСАЧЕВ В.С. К вопросу определения механических свойств модифицированных слоев с помощью атомно-силовой микроскопии.....	61
ФЕДОРЕНКО А.М. Разработка цикловой системы управления технологическими промышленными роботами.....	63
ШАТУРОВ Д.Г., ЖОЛОБОВ А.А., ШАТУРОВ Г.Ф. Прогнозирование износа призматического резца с целью повышения точности при полуставовой обработке поверхностей валов.....	65
ШАТУРОВ Д.Г., ЖОЛОБОВ А.А., ШАТУРОВ Г.Ф. Технологические возможности процесса обработки резанием с опережающим пластическим деформированием.....	67
ШЕМЕНКОВ В.М., БЕЛАЯ М.А., БАТРАКОВ А.С., ШЕМЕНКОВА А.Л. Повышение эксплуатационных характеристик технологической оснастки комплексным воздействием тлеющего разряда и постоянного магнитного поля.....	69

Секция 2. Машиноведение, детали машин и прикладная механика

АКУЛИЧ А.П., АКУЛИЧ Я.А. Исследование взаимодействия



Рис. 3. Производство установок для электролитно-плазменной обработки

Разработанный в Технопарке совместно с сотрудниками БНТУ и НИИ порошковой металлургии НАН Беларуси технологический **процесс высокоскоростного газопламенного нанесения аморфных покрытий** на рабочие поверхности деталей, обеспечивает снижение на 15–20 % себестоимости деталей и увеличение их долговечности (износостойкости) в 7 раз. В республике основным потребителем этой инновационной продукции является Белорусский металлургический завод. Экономический эффект от использования прокатных роликов с таким напылением только на БМЗ за 5 лет работы составляет более 1,5 млн долларов США. Производство данного вида изделий является экспортоориентированным. За последние годы значительно расширена номенклатура изделий с износостойкими покрытиями, поставляемых на предприятия республики и за рубеж (Германия, Россия, Казахстан). На экспорт поставляется и высокотехнологичное оборудование, обеспечивающее процесс высокоскоростного газопламенного нанесения аморфных покрытий. Только в 2012 году Технопарком разработан и поставлен в Казахстан комплекс высокотехнологичного оборудования для нанесения покрытий и упрочняющей обработки поверхностей деталей на общую сумму более 45 тыс. долларов США.

В 2012 году Технопарком начаты работы по созданию **участка для высокотехнологичных производств по модификации поверхностей и нанесению multifunctional покрытий**. Данное производство располагается на участке общей площадью 597,1 м² арендуемом Технопарком у ОАО «Агат-электромеханический завод». Предполагается, что на данном участке будут расположены высокотехнологичные производства и внедрены инновационные технологии БНТУ и Технопарка по нанесению полимерных за-

щитно-декоративных покрытий, электролитно-плазменной обработки для обеспечения высокой отделки и полировки поверхностей металлических изделий, газопламенного нанесения упрочняющих покрытий, механико-технологический участок. Кроме того, предусматривается создание системы контроля качества выпускаемой продукции. С целью оснащения данного участка необходимой научно-производственной базой Технопарком в 2011–2012 гг. было закуплено 40 единиц технологического и научно-исследовательского оборудования на общую сумму более 3 млрд рублей.



Рис. 4. Участок по модификации поверхностей и нанесению многофункциональных покрытий

Первым резидентом Технопарка стало **предприятие «Технолит»**, которое уже более 10 лет успешно и активно внедряет в практику разработки ученых-литейщиков БНТУ. Главная задача предприятия – оперативное внедрение передовых разработок в области литейного и металлургического производства на предприятиях Беларуси и за ее пределами, освоение и выпуск новых материалов, организация и активное участие в исследовательских программах. Научно-техническая продукция, проектно-конструкторские разработки, модельная оснастка, оборудование и материалы, выпускаемые УП "Технолит", хорошо известны в Республике Беларусь и странах СНГ. Из года в год научно-производственное предприятие "Технолит" увеличивает объемы производства, расширяет сферу своих интересов, укрепляет партнерские связи в республике и за рубежом. Одним из наиболее значимых проектов, реализованных УП «Технолит» за последние годы, стала разработка проектных технологических и планировочных решений для пер-

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные доклады

ХРУСТАЛЕВ Б.М., АЛЕКСЕЕВ Ю.Г., ГМЫРАК В.Н. Организация выпуска и производство наукоемкой и высокотехнологичной продукции в научно-технологическом парке БНТУ «Политехник».	3
ХОМЧЕНКО А.В., ГУЗОВСКИЙ В.Г., КОВАЛЕНКО О.Е., ПРИМАК И.У. Оптические методы контроля параметров неоднородных сред.	17
РЫНКЕВИЧ С.А. Проблема диагностирования мобильных машин и пути ее решения.	22

Секция 1. Технология машиностроения, автоматизация технологических процессов и производств

АЛЕКСЕЕВ Ю.Г., НИСС В.С., КОСОБУЦКИЙ А.А. Влияние тепловых и электрических условий на устойчивость пленочного кипения и производительность электролитно-плазменной обработки...	29
ГАЛЮЖИН Д.С., ГАЛЮЖИН С.Д. Причины проведения технических экспертиз.	31
ГАРЛАЧОВ Н.С., АНТОНОВА Е.Н. Влияние диаметров шаров пневмоцентробежного раскатника на качество обработки поверхностей отверстий.	32
ДЕМИДЕНКО Е.Ю., ЖОЛОБОВ А.А. Приспособление для контроля шлицевых валов.	33
ДОВГАЛЕВ А.М., СУХОЦКИЙ С.А., СВИРЕПА Д.М. Влияние режимов магнитно-динамического накатывания на шероховатость поверхности.	35
ДОВГАЛЕВ А.М., ТУЛУЕВСКИЙ Н.В., ЖОЛОВА Л.В. ППД деталей в магнитном поле, совмещенное с формированием антифрикционных покрытий.	36
КАПИТОНОВ А.В., КАЛЕЕВ Д.Н., ЛЫСОВ В.П. Совершенствование конструкции планетарного роликового редуктора с целью повышения его эксплуатационных характеристик.	37
КАПИТОНОВ А.В., ЧЕРНЯКОВ С.Г. Методика расчета пространственных размерных цепей звеньев планетарного эксцентрикового редуктора.	38
КАШПАР А.И., ЛАПТИНСКИЙ В.Н. К расчету температурного поля в круговой цилиндрической стенке.	39
КОЖЕВНИКОВ М.М., СТАРОВОЙТОВ А.В., ЛОБОРЕВА Л.А. Методы управления манипуляционными системами в технологических процессах роботизированной сборки.	40
ЛУКАШЕНКО В.А., РУСЕЦКАЯ И.В. Погрешности координатных размеров отверстий, вызванные температурными деформациями деталей.	42

Низкотемпературные обогреватели не светятся, их излучение полностью находится в невидимом диапазоне. Поэтому они получили название «темные обогреватели». «Светлыми обогревателями» являются соответственно средне- и коротковолновые отопительные приборы.

Источником энергии для потолочных ИК обогревателей могут служить газ, электричество и вода. Газовые ИК обогреватели могут относиться к средне- и высокотемпературным обогревателям. В «светлых» коротковолновых газовых ИК обогревателях основным нагревательным элементом является керамическая пластина (толщиной порядка 12 мм), внутри которой происходит сжигание газа. При этом температура поверхности керамики может достигать 1000 °С, однако особенности ее конструкции и хорошие теплоизоляционные показатели пористой керамики обеспечивают высокий нагрев только на излучающей (рабочей) стороне, тыльная часть панели не прогревается более ~100 °С.

В среднетемпературных газовых ИК обогревателях излучателями являются металлические трубки, каждая из которых обеспечивается системами подвода газа и электроэнергии, а также отвода продуктов горения. Воздух и газ поступают в специальную камеру, где образуют горючую смесь, которая в свою очередь сжигается в керамической пластине. Продукты сгорания равномерно распределяются внутри трубок, излучающих тепло.

Электрические потолочные ИК-излучатели в основном представлены длинно- и средневолновыми приборами. Их основным компонентом, преобразователем электрической энергии в тепловую, как правило, является стальной трубчатый электронагреватель (ТЭН). Реже используется пленочный нагреватель, который имеет трехслойную конструкцию (между двумя полимерными пленками размещается угольно-графитовый порошок). Преобразователь устанавливается в корпусе из оцинкованной стали. В нем же находится отражатель из полированного алюминия. Задняя стенка корпуса защищена теплоизоляционным материалом (в основном минеральной ватой). При подаче тока ТЭН нагревается и тепло (в виде электромагнитных волн) с помощью отражателя излучается в зоны обогрева.

Выбор конкретной отопительной системы зависит от характера отапливаемого помещения, способа распределения и передачи тепла в помещении и требует проведения специальных расчетов. При расчете учитываются тепловые характеристики зданий и требования нормативных документов к температуре воздуха в помещении, энергетическим, экономическим и экологическим показателям системы отопления.

Расчеты экономической эффективности применения лучистого отопления приводит к экономии энергоносителей до 55 %.

вого в Беларуси в г. Белоозерске завода по производству свинца из аккумуляторного лома (заказчик СООО «Белинвестторг-Сплав»). Завод мощностью 10 тысяч тонн был спроектирован и построен в кратчайшие сроки: летом 2010 года было получено разрешение на проведение проектно-исследовательских работ, а уже в конце 2012 года был завершен монтаж технологического и вспомогательного оборудования и проведены пусконаладочные работы. В 2013 году завод должен выйти на проектную мощность, что позволит полностью обеспечить белорусских потребителей, а также экспортировать за рубеж продукции на сумму более 10 млн евро.



Рис. 5. Дочернее предприятие Технопарка – УП «Технолит»

Начиная с 2007 г. в структуре Технопарка на базе участка опытно-промышленного производства Научно-исследовательской инновационной лаборатории автоматизации производства НИЧ БНТУ, начало свою работу дочернее предприятие Технопарка «**Новые оптоэлектронные технологии**». На основе тензометрических датчиков, систем и устройств, разработанных в БНТУ, предприятием создано производство электронных весоизмерительных и дозирующих систем и проводятся работы по автоматизации производства в различных отраслях. Прежде всего, при производстве строительных и дорожно-строительных материалов. Индивидуально разрабатывается, изготавливается, проводится монтаж, наладка и внедрение системы автоматического управления технологическим процессом приготовления растворов бетонных и асфальтобетонных смесей на базе линейки весодозирующих устройств. За период работы предприятия для отечественных и зарубежных

субъектов хозяйствования отгружены и внедрены сотни дозаторов и управляющих устройств на общую сумму, превышающую 4 млрд рублей.



Рис. 6. Дочернее предприятие Технопарка – УП «Новые оптоэлектронные технологии»

Результатом выполнения ГНТП «Новые материалы и инженерия поверхностей» явилось создание резидентом Технопарка **«Промышленные экологические системы»** производства совместно с опытным заводом БНТУ «Политехник» абсорбционно-биохимических установок очистки вентиляционных выбросов от органических веществ. Потребителями продукции за последние годы стали такие известные в СНГ предприятия как: ОАО «КАМАЗ-Металлургия» (РФ), ЗАО «Кубаньжелдормаш» (РФ), ОАО «Металлист» (РФ), ООО «АДМ» (Украина), ДСП ОАО «Череповецкий фанерно-мебельный комбинат» (РФ). В 2012 году в сотрудничестве с Институтом микробиологии НИИ Беларуси была разработана и реализована на экспорт инновационная технологическая установка по очистке вентвыбросов от цеха производств ДСП ОАО «Череповецкий фанерно-мебельный комбинат» (РФ). Установка показала высокую эффективность, надежность и экологическую безопасность. Потребность в таких установках на 2013–2014 гг. для предприятий России оценивается в 600–700 тыс. долларов США. Всего за 2011–2012 гг. предприятием выпущено и поставлено на экспорт продукции на сумму более 1 млн долларов США.

УДК 621.313 ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ЛУЧИСТОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ

А. В. ЯНКОВИЧ, Г. В. ЛАБКОВИЧ, Л. В. ЖЕСТКОВА
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Одним из перспективных методов отопления помещений является лучистое отопление. По сравнению с традиционным паровым или водяным отоплением, осуществляющем обогрев всего помещений постоянно вне зависимости от того присутствуют в помещении люди или нет, тепловое излучение от инфракрасного (ИК) обогревателя (излучателя) не поглощается воздухом и почти без потерь достигает предметов и людей, находящихся в зоне его прямого действия, что позволяет быстро создавать комфортные условия в той части помещения, в которой это требуется в данный момент. Этим достигается значительная экономия тепловой энергии. Особенно эффективно применение лучистого отопления в помещениях большой площади, в которых персонала немного или он присутствует периодически (производственные цеха, складские помещения, лекционные аудитории и т.д.). При этом экономический эффект достигается не только снижением потребления сжигаемого топлива, но и более низкой стоимостью отопительной системы.

Применение систем лучистого отопления имеет и ряд других преимуществ:

- лучистая отопительная система, установленная под потолком, не накладывает никаких ограничений на размещение мебели и оборудования, а также не занимает рабочего пространства;
- при использовании лучистого отопления нет движения пыли;
- инфракрасное излучение является экологически безопасным;
- лучистая отопительная система не требует применения воды и не может замерзнуть;
- обогрев помещения достигается за 10–25 минут;
- оптимальное распределение теплого воздуха по высоте при работе лучистых ИК обогревателей делает их практически незаменимыми при решении задач экономичного обогрева помещений с высокими потолками;

ИК обогреватели классифицируют по температуре излучающей поверхности и соответствующей длине волны инфракрасного излучения на три категории:

- низкотемпературные (длинноволновые) – 45–300 °С (100–340 мкм);
- среднетемпературные (средневолновые) – 300–750 °С (15–100 мкм);
- высокотемпературные (коротковолновые) – более 750 °С (0,77–15 мкм).

– определить, достигается ли для частоты $F_{пр}$ и последствия C допустимый уровень риска. Если получен I класс риска, то требуется дальнейшее снижение риска. Риски IV или III классов могут быть допустимыми рисками. Риск II класса требует дальнейших исследований;

– определить уменьшение риска ΔR , необходимое для того, чтобы сделать его допустимым. Для этого необходимо определить среднюю вероятность отказа PFD_{avg} (average probability of failure on demand) системы, связанной с безопасностью, при работе по запросу PFD_{avg} , состоящего в невозможности достичь требуемого снижения риска ΔR . Для постоянных последствий C :

$$PFD_{avg} = (F_t / F_{пр}) = \Delta R.$$

Например, для $PFD_{avg} = 10^{-2} - 10^{-3}$ уровень полноты безопасности SIL равен 2.

Системы, связанные с безопасностью, должны уменьшить интенсивность возникновения опасностей, как минимум, с $F_{пр}$ до F_t .

Главная цель состоит в обеспечении того, что оставшиеся отказы, соответствующие уровню полноты безопасности SIL, не приведут к отказу E/E/PE системы, связанной с безопасностью.

Для этих целей определяют среднюю вероятность отказа в обслуживании функции безопасности для E/E/PE системы, связанной с безопасностью. Средняя вероятность отказа по запросу для функции безопасности E/E/PE системы, связанной с безопасностью, PFD_{SYS} может быть вычислена по формуле: $PFD_{SYS} = PFD_S + PFD_L + PFD_{FE}$, где PFD_S – средняя вероятность отказа по запросу для подсистемы датчиков; PFD_L – средняя вероятность отказа по запросу для логической подсистемы; PFD_{FE} – средняя вероятность отказа по запросу для подсистемы окончательных элементов.

Компонентами подсистемы датчиков, например, могут быть датчики, защитные экраны, входные согласующие цепи; компонентами логической подсистемы – микропроцессоры и компьютерные с программным обеспечением; а компонентами подсистемы окончательных элементов – выходные согласующие цепи, экраны и исполнительные механизмы.

Для определения средней вероятности отказа каждой подсистемы должны быть известны следующие данные: архитектура построения, охват (покрытие) диагностикой каждого канала, интенсивность отказов для каждого канала в час; коэффициенты: β (dangerous undetected common-cause failure), β_D (dangerous detected common-cause failure) – влияния опасных необнаруживаемых и обнаруживаемых отказов соответственно.

Предложенная методика позволяет проектировать системы, противояварийной защиты и контроля с требуемым уровнем полноты безопасности SIL.



Рис. 7. Дочернее предприятие Технопарка – УП «Промышленные экологические системы»

Совместно с кафедрой «Машины и технологии обработки металла давлением» БНТУ создано дочернее предприятие-резидент Технопарка **УП «Белтехнология»**. Основными видами деятельности предприятия являются: научное сопровождение сложных объектов строительства и реконструкции; мониторинг возведения и эксплуатации зданий и сооружений; разработка и внедрение перспективных технологий производства работ при строительстве и реконструкции; исследование, создание и внедрение конструкционных строительных материалов нового поколения и др. В 2012 году УП «Белтехнология» закончила строительные проекты по модернизации объектов одного из крупнейших предприятий Республики Беларусь ОАО «Амкордор». С целью их дальнейшей модернизации обследованы производственные цеха таких значимых предприятий республики как ОАО «Гродненский стеклозавод», ОАО «Гродненский КСМ», ООО «Завод виноградных вин «Дионис», ОАО «Красносельскстройматериалы». Кроме того, в прошлом году на базе предприятия сформирован центр проектирования, экспертизы и мониторинга инновационных объектов промышленного, жилищного и гражданско-социального строительства.

Совместно с кафедрой «Металлургия литейных сплавов» БНТУ в 1994 году создано дочернее предприятие Технопарка **РУП «НИЛОГАЗ»**. На сегодняшний день «НИЛОГАЗ» – это известное в Республике Беларусь предприятие, с широким спектром деятельности и выпуском научно-технической продукции в области охраны окружающей среды. Специализируется на проведении обследований технологического оборудования, являющегося источником загрязнений окружающей среды; проведении количественного и качественного анализа состава выбросов вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух, проведении инвентаризации источников выбросов загряз-

няющих веществ в атмосферу, инвентаризации отходов производства и др. Предприятие включает в себя собственную аккредитованную испытательную лабораторию. Основными потребителями продукции, работ и услуг предприятия являются промышленные предприятия различных форм собственности Республики Беларусь. В число крупных заказчиков предприятия в 2012 году входили: Министерство обороны Республики Беларусь, КУП «Минсккоммунтеплосети», ОАО «Лидсельмаш» и др.

Научно-инженерное предприятие «Полимаг» создано в 1991 году и специализируется на разработке технологии и создании оборудования для прецизионной обработки деталей оптики, лазерной техники и электроники, для которых предъявляются повышенные требования по структурным и физико-механическим параметрам, шероховатости и чистоте поверхности. В 2012 году по заказу Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (г. Москва) выполнены НИОКТР по проблеме магнитно-абразивной модификации поверхностей оболочек из циркониевых сплавов тепловыделяющих элементов атомных реакторов. Проведены исследования процесса модификации и комплекс испытаний образцов оболочек тепловыделяющих элементов, получены необходимые данные для проведения совместных работ по созданию промышленного оборудования и внедрению технологии в производство на одном из предприятий Росатома. Кроме того, по заказу ЗАО «Мелита-К» проведены НИОКТР по проблеме магнитно-абразивного полирования рабочих поверхностей компрессорных лопаток из титановых сплавов авиационных двигателей. В рамках данного проекта на перспективу планируется создание и серийное изготовление промышленного оборудования, разработка и внедрение в производство технологии магнитно-абразивного полирования компрессорных лопаток на предприятиях авиастроения России.



Рис. 8. Дочернее предприятие Технопарка – УП «Полимаг»

УДК 621.3

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЯ

Л. Г. ЧЕРНАЯ, В. Н. АБАБУРКО

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Системы противоаварийной защиты и контроля – системы электрические/электронные/программируемые электронные E/E/PE (electrical/ electronic/programmable electronic), связанные с безопасностью, должны выполнять функции, которые могут быть определены в спецификациях требований к функциям безопасности технологических установок EUC (equipment under control) и изменять последствия отказов в такой степени, что риск становится допустимым. Например, спецификация требований к функциям безопасности может содержать требование о том, что, когда температура достигает значения X, должен открываться клапан Y, который позволяет воде поступать в сосуд.

В свою очередь, системы, связанные с безопасностью, должны иметь степень надежности, достаточную для достижения в конкретной области применения допустимого риска, т.е. частота отказов систем, связанных с безопасностью, должна быть достаточно низкой, чтобы предотвратить превышение частоты опасных событий, соответствующей допустимому риску.

Допустимый риск зависит от многих факторов (например, от тяжести травм, числа людей, подвергающихся опасности, от того, насколько часто человек или люди подвергаются опасности, а также от периода времени, в течение которого люди подвергаются опасности).

Основываясь на рекомендациях МЭК 61508, разработана методика достижения допустимого риска для EUC, которая состоит из следующих этапов:

– определить числовое значение планируемого допустимого риска F_t , которое соответствует уровню полноты безопасности SIL (safety integrity level);

– определить риск EUC: $R_{пр} = F_{пр} \cdot C$. Для этого необходимо определить частотную составляющую риска EUC без учета каких-либо средств защиты $F_{пр}$; определить последствия опасного события C без учета каких-либо средств защиты. Частота, связанная с риском, создаваемым EUC, включая систему управления EUC и вопросы, связанные с человеческим фактором, но без учета каких-либо мер защиты, может быть определена с использованием количественных методов оценки риска. $F_{пр}$ может быть определена с помощью: анализа интенсивности отказов в схожих ситуациях; данных из соответствующих баз данных; расчетов с применением соответствующих методов прогноза;

троллера выполнится регенерация, начнется отсчет нового цикла регенерации и приоритет запроса на регенерацию вновь можно понизить до прежнего уровня. Временная диаграмма работы представлена ниже на рис. 1.

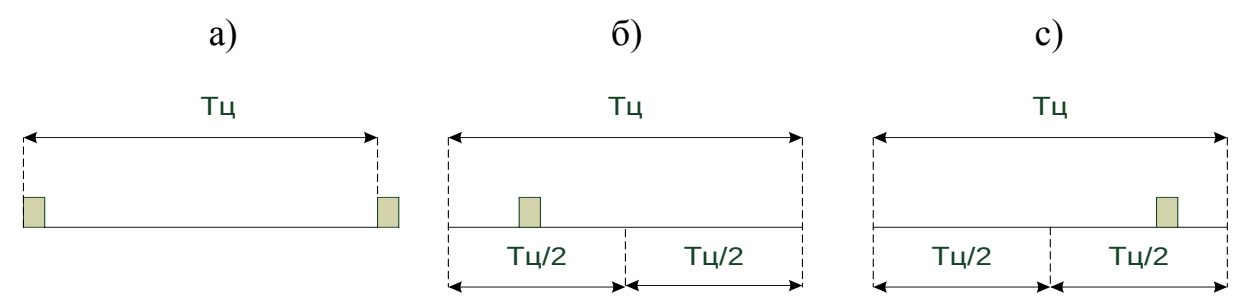


Рис. 1. Диаграмма возможных вариантов регенерации

На рис. 1, а показан случай стандартной регенерации, которая производится через время $T_{ц}$, в случае разбиения $T_{ц}$ на два равных интервала возможна регенерация в первой половине $T_{ц}$ при выборе наивысшего приоритета для прерывания КПП, затем процессора и наинизшего для запроса прерывания регенерации. Третий вариант (рис. 1, с) соответствует случаю формирования дополнительного запроса на регенерацию, как описано выше.

Разбиение интервала регенерации можно произвести и другим способом, например, разбить на части – $T_{ц}/3$ и $2T_{ц}/3$ или $2T_{ц}/3$ и $T_{ц}/3$ с разными приоритетами регенерации. Можно выбрать три приоритетных уровня регенерации с переходом от одного к другому в пределах цикла регенерации с произвольным распределением их внутри этого интервала. Все это позволяет избежать замедления работы из-за исключения обращения к памяти различных устройств во время регенерации.

В 2005 году Технопарк стал соучредителем **Общества с ограниченной ответственностью «Интеллектуальные процессоры»**. Целью деятельности ООО «Интеллектуальные процессоры» является разработка и исследование новых фундаментальных методов и подходов к решению проблем интеллектуализации информационных систем, технологий и систем, ориентированных на задачи обработки изображений, распознавания образов, принятия решений и управления, прикладного программного обеспечения, имитационных моделей систем и сопутствующих интерфейсов, а также специализированных аппаратных средств для обеспечения вычислений в реальном времени как в виде сопроцессоров ПЭВМ так и автономных модулей. На счету предприятия – опыт выполнения проектов по автоматизации технологического оборудования, по управлению сложными электромеханическими стендами для испытания оптико-электронных приборов с гироскопической стабилизацией, по автоматизации медицинского оборудования для диагностики рака, по анализу шумов Баркхаузена в системе неразрушающего контроля, по созданию системы макетирования сопроцессоров реального времени и на ее основе вычислительного комплекса для обработки космических снимков, по разработке системы имитационного моделирования радиолокационных сигналов и распознавания радиолокационных портретов воздушных и наземных объектов. Кроме того, ООО «Интеллектуальные процессоры» является разработчиком и изготовителем первого в Республике Беларусь компьютера с нейроподобной архитектурой.



Рис. 9. ООО «Интеллектуальные процессоры»

При содействии Технопарка в БНТУ создан Белорусско-Китайский Центр научных исследований в области дорожного строительства. Выполняются совместные научно-исследовательские и инновационные проекты.

Сделан следующий шаг в коммерциализации разработок и совместных работ с китайскими партнерами. По согласованию с ректором БНТУ создано **совместное белорусско-китайское предприятие «Дорожно-строительные инновации»** (китайский партнер – крупнейшая компания «Гаоюань»). В 2012 году сотрудниками предприятия совместно со специалистами Центра научных исследований и испытаний дорожно-строительных и гидроизоляционных материалов НИЧ БНТУ закончены все подготовительные этапы и на площадях переданных ОАО «Макродор» организовано серийное импортозамещающее и ресурсосберегающее производство многокомпонентных полимерных добавок для модификации асфальтобетонных смесей. Разработанные добавки не имеют аналогов в странах ближайшего зарубежья, относятся к импортозамещающей и экспортоориентированной категории товарной продукции. При этом неоспоримы положительные экологические аспекты, обусловленные повторным использованием и утилизацией вторичных полимерных материалов. Результаты исследований и опытного применения на улицах г. Минска (пр-т Дзержинского, ул. Маяковского) показали, что использование добавок обеспечивает сбалансированное улучшение всего комплекса свойств асфальтобетона (высокотемпературных, низкотемпературных, усталостных и коррозионных) и максимальное продление его срока службы в покрытиях дорог и улиц.



Рис. 10. ООО «Дорожно-строительные инновации»

В 2012 году Технопарком БНТУ совместно с ведущим предприятием СНГ в области автоматизации оборудования и технологических процессов ЧАО «Констар» (Украина) создано **совместное Белорусско-Украинское предприятие ООО «БелКонстар»**, которое специализируется на производстве технических средств автоматизации, программируемых логических

УДК 621.381.5

ОПТИМАЛЬНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ КОМПЬЮТЕРА

Ю. Д. СТОЛЯРОВ, В. П. ВАСИЛЕВСКИЙ, Э. И. ЯСЮКОВИЧ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В процессе функционирования динамическая память оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) компьютера должна периодически регенерироваться. При этом она не используется для выполнения стандартных операций записи и чтения. Если в это время данные потребуются процессору или контроллеру прямого доступа к памяти (КПДП), это оказывается невозможным, что приводит к замедлению работы на время регенерации. При изменении стандартной схемы регенерации этого можно избежать. Интервал времени между регенерациями для различных ОЗУ известен, а также известно время регенерации. Обычно регенерация производится на основе запроса на прерывание через фиксированный интервал времени. Так как эта операция является обязательной, запросу на прерывание на регенерацию памяти присваивается наивысший приоритет по отношению к процессору или КПДП. При появлении запроса на прерывание от процессора или контроллера прямого доступа к памяти можно уменьшить приоритет запроса на регенерацию, временно увеличив приоритет более необходимых операций. Т.е. регенерацию можно производить в любой момент интервала времени между регенерациями, используя остальное время для операций процессора или ОЗУ. Если в начале цикла регенерация не произошла, необходимо повысить приоритет запроса регенерации, чтобы успеть выполнить ее за оставшееся время.

Чтобы оптимально использовать память, можно перераспределить приоритеты доступа к ней отдельных устройств в различные моменты времени. Так как на КПДП ложится большая нагрузка, чем на процессор, при подготовке данных, ему необходимо присвоить более высокий приоритет доступа к памяти. Если условно разделить интервал времени регенерации на две части, то в первой части интервала запросу прерывания на регенерацию можно присвоить низший приоритет, т.е. сначала с памятью взаимодействует КПДП, затем процессор, который после обработки данных снимает свой запрос на доступ к памяти и возможна регенерация. После этого начинается новый отсчет цикла регенерации. Если КПДП и процессор в этой части интервала времени работают так, что может отсутствовать время на регенерацию, тогда во второй части формируется дополнительный запрос на регенерацию, имеющий более высокий приоритет, чем запрос процессора, но более низкий, чем запрос контроллера. Тогда при первой же паузе в работе кон-

таком режиме используется нерационально, что сильно ограничивает область применения системы электропривода ТРН-АД. Данная проблема может быть решена при разработке электропривода в электромехатронном исполнении путем совместного проектирования конструкции электродвигателя и электронного модуля. Такой подход позволяет повысить характеристики электропривода за счет разработки конструкции электродвигателя, специально предназначенного для работы от встроенного в его корпус регулятора напряжения. Для решения этой задачи нами разрабатывается ряд моделей электродвигателей ДАС, специально предназначенных для регулирования скорости вращения ротора изменением напряжения на статоре. Отличительной особенностью данных электродвигателей является измененная конструкция ротора, которая позволяет эффективно выносить тепловые потери в стержневой обмотке силового ротора в зону интенсивного охлаждения радиатором-вентилятором и дополнительным вентилятором, установленным на втором (малом) роторе, вращающемся с постоянной подсинхронной скоростью, независимой от скорости вращения основного ротора. Благодаря такому конструктивному решению значительно повышается допустимая по нагреву мощность тепловых потерь в стержневой обмотке ротора, что позволяет использовать данные электродвигатели без завышения номинальной мощности для длительной работы на пониженной скорости при питании от встроенного в корпус электродвигателя регулятора напряжения на нагрузку вентиляторного типа.

Другой проблемой традиционной системы электропривода ТРН-АД является ухудшение при работе от регулятора напряжения гармонического состава токов статора и ротора, что приводит к загрязнению питающей сети высшими гармониками и снижению вращающего момента электродвигателя из-за тормозящего действия нечетных гармоник. Особенности конструкции электродвигателей ДАС позволяют уменьшить амплитуду высших гармоник за счет увеличения эффекта частотного сжатия тока в стержнях выступающей части ротора. Также нечетные гармоники могут быть подавлены путем включения фаз обмотки статора по схеме «треугольник».

Таким образом, реализация электропривода в электромехатронном исполнении с использованием электродвигателя специальной конструкции и встроенного в корпус электродвигателя регулятора напряжения позволяет значительно расширить область применения системы электропривода ТРН-АД, сделать данную систему за счет значительно более низкой стоимости и большей надежности конкурентоспособной с частотно-регулируемыми электроприводами, а также во многих случаях заменить нерегулируемый асинхронный электропривод.

контроллеров (ПЛК), а также на разработке и внедрении устройств систем управления на базе ПЛК. Продукция совместного белорусско-украинского предприятия будет в 2–3 раза дешевле, в сравнении с импортными аналогами, и позволит произвести импортозамещение большого объема закупаемых дорогостоящих зарубежных программируемых логических контроллеров.



Рис. 11. Совместное Белорусско-Украинское предприятие ООО «БелКонстар»

Особое значение в интересах развития инновационного потенциала Республики Беларусь и коммерциализации результатов научно-технической деятельности белорусских предприятий на внешнем рынке имеет проект по созданию **совместного Белорусско-Китайского научно-технологического парка в г. Чаньчунь**, КНР (далее БКТ). В октябре 2010 года состоялось официальное открытие БКТ с участием Президента Республики Беларусь и высшего руководства Провинции Цилинь КНР. Из выделенных под БКТ 600 тыс. кв. м. земли к концу 2012 года были застроены около 100 тыс. кв. м, где будут размещены офисные помещения и производственные площади (3 корпуса) для выпуска наукоемкой высокотехнологичной продукции. В 2011 году проведена рекламная кампания по привлечению высокотехнологичного бизнеса на территории БКТ. Так, совместно с резидентом БКТ (компания «Сида») и предприятием «ЭлектроКонтинент» освоено производство высокотехнологичной продукции (светодиодные экраны) в Беларуси, в которой 75 % – белорусская комплектация. Кроме того, Технопарком БНТУ подготовлены и переданы китайским партнерам бизнес-планы 5 инновационных проектов с целью проведения оценки их экономической эффективности для открытия совместных предприятий на территории БКТ.



Рис. 12. Белорусско-Китайский научно-технологический парк в г. Чаньчунь, КНР

Таким образом, в Белорусском национальном техническом университете обеспечивается полный цикл инновационной деятельности – от фундаментальных и прикладных исследований, до создания разработок, организации мини-производств и выпуска инновационного продукта Технопарком, что в целом способствует коммерциализации результатов научно-технической деятельности БНТУ.

УДК 621.3

К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННОМ ИСПОЛНЕНИИ

О. Н. ПАРФЕНОВИЧ, О. А. КАПИТОНОВ, А. С. ТРЕТЬЯКОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

В настоящее время актуальной задачей является разработка и внедрение в производство асинхронного электропривода в электромехатронном исполнении. Такая конструкция электропривода, включающая в себя асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором и размещенный с ним в одном корпусе силовой электронный модуль, имеет ряд преимуществ перед традиционной раздельной компоновкой регулируемого электропривода, а также перед широко используемым нерегулируемым электроприводом на основе подключаемого непосредственно к питающей сети асинхронного электродвигателя общепромышленного исполнения. Использование в качестве встроенного силового электронного модуля тиристорного регулятора напряжения (ТРН) позволяет расширить функциональные возможности электродвигателя путем реализации режимов управляемого пуска, торможения, энергосбережения и регулирования скорости вращения ротора. Также данное конструктивное решение значительно повышает надежность электродвигателя за счет устранения дребезговых перенапряжений и связанного с этим ускоренного старения изоляции обмоток статора при коммутации обмоток магнитным пускателем.

В качестве электронного модуля для электропривода в электромехатронном исполнении может использоваться и преобразователь частоты (ПЧ). Однако такое конструктивное решение обладает рядом недостатков, таких как высокая стоимость и меньшая надежность преобразователя частоты, дополнительные потери энергии, высокий уровень помех и ускоренное старение изоляции обмотки статора из-за импульсного характера преобразования энергии. Поэтому оптимальной для реализации электропривода в электромехатронном исполнении, является система ТРН-АД.

При длительной работе системы ТРН-АД на пониженной скорости энергия скольжения, выделяющаяся в виде тепла в стержневой обмотке ротора, увеличивается пропорционально увеличению скольжения, из-за чего при использовании стандартного асинхронного электродвигателя для обеспечения допустимого по нагреву режима работы ротора требуется завышение мощности электродвигателя даже при работе на нагрузку вентиляторного типа до 3–4 раз. При этом остальные составляющие потерь остаются постоянными или уменьшаются, стандартный электродвигатель в

Структура интерфейса IHeatSystemSensors описывает совокупность датчиков элемента сети, среди которых:

- датчик давления (Pressure);
- датчик температуры (Temperature);
- датчик потерь давления (PressureLoss);
- датчик расхода теплоносителя в контуре (FlowRate).

Интерфейс IHeatSystemElementConnector, который описывает соединительные элементы, имеет также набор описывающих его параметров:

- длина (Length);
- местные потери (FormLoss);
- диаметр (Diameter);
- тип потока (StreamType).

Тип потока может иметь два значения: Input, Output. Данный параметр характеризует направление потока теплоносителя. Для обеспечения наиболее удобного визуального моделирования данный параметр рассчитывается автоматически специальным алгоритмом реализованном в классе HeatSystemElementsHolder. Тем не менее, пользовательский интерфейс ввода параметра соединительных элементов позволяет задавать его вручную.

Наследование от интерфейса INotifyPropertyChanged накладывает на все классы, реализующие этот интерфейс необходимость поддержки активации события PropertyChanged, что в рамках технологии Windows Presentation Foundation дает возможность реализации интерактивного пользовательского интерфейса, который способен отображать изменения отдельных элементов пользовательского интерфейса сразу же после их возникновения во всех взаимозависимых частях. Эта способность, реализуется при помощи технологии «Data Binding» являющейся частью WPF.

Для реализации взаимодействия с другими модулями программного комплекса, а также для осуществления возможности сохранения создаваемых топологий теплосетей в бинарный файл были декларированы два интерфейса сервиса:

- IDataService – описывает возможности сохранения и загрузки данных;
- IMathService – описывает возможности взаимодействия с математическим модулем.

Второй модуль сформирует топологическую матрицу, которая описывает узловые точки участков. Для решения уравнений используется прикладные библиотеки из математического пакета MATLAB. Четвертый модуль подбирает значения управляемых параметров технологического режима, соответствующего оптимальному значению целевой функции.

В начальном этапе внедрения САУ устанавливается на отдельном компьютере и предлагает диспетчеру значения управляемых параметров. В дальнейшем планируется подключить ее к контуру управления.

УДК 535.31 + 621.658.011

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД

А. В. ХОМЧЕНКО, В. Г. ГУЗОВСКИЙ, О. Е. КОВАЛЕНКО, И. У. ПРИМАК

Государственное учреждение высшего профессионального образования

«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Прочность закаленных автомобильных стекол и их безопасную эксплуатацию обеспечивают остаточные механические напряжения. Для их контроля применяются поляризационно-оптические методы исследования (рис. 1), основанные на измерении обусловленной этими напряжениями анизотропии оптических характеристик материала и позволяющие получать представление о распределении напряжений в стекле.

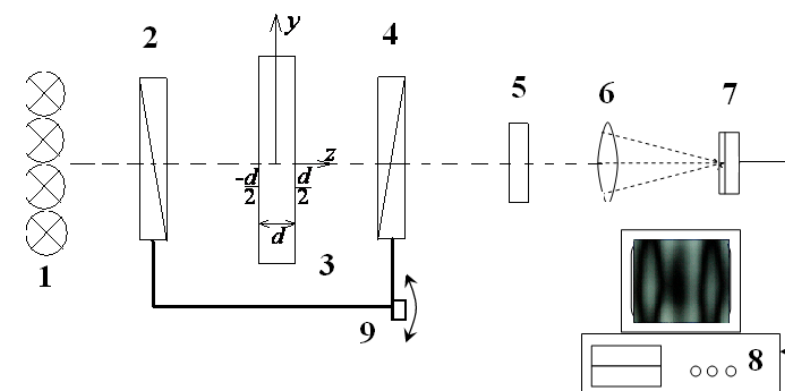


Рис. 1. Схема установки для поляризационно-оптического анализа стекла: 1 – источник света; 2 – поляризатор; 3 – контролируемое стекло; 4 – анализатор; 5 – светофильтр; 6 – объектив; 7 – фоторегистрирующее устройство; 8 – компьютер; 9 – система поворота

Линейно поляризованный свет, пройдя через исследуемое стекло, в котором присутствуют механические напряжения, меняет состояние поляризации, проходит через анализатор и попадает в фоторегистрирующее устройство. При этом регистрируемая интенсивность света (рис. 2) является функцией двух координат и определяется как

$$I(x, y) = I_p T (\cos^2 \chi - \sin 2\alpha \cdot \sin(2(\alpha - \chi)) \sin^2 \frac{\delta}{2}), \quad (1)$$

где $I_p = I_p(x, y)$ – интенсивность света на выходе из поляризатора; $T = T(x, y)$ – коэффициент, учитывающий отражение света от поверхности стекла; $\alpha = \alpha(x, y)$ – угол между оптической осью и плоскостью пропускания поляризатора; χ – угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора; $\delta = \delta(x, y)$ – разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами.

Обработывая регистрируемые распределения интенсивности $I(x, y)$, можно восстановить разность фаз $\delta(x, y)$ в отдельной точке стекла или не-

большой его области и, учитывая взаимосвязь $\delta(x, y)$ с напряжениями, определить их величину.



Рис. 2. Регистрируемое распределение интенсивности света, прошедшего через контролируемое автомобильное стекло

Однако это невозможно сделать для таких протяженных объектов, как закаленные автомобильные стекла. Более того, регистрируемая картина зависит от ориентации исследуемого стекла относительно оси измерительной установки (рис. 3).

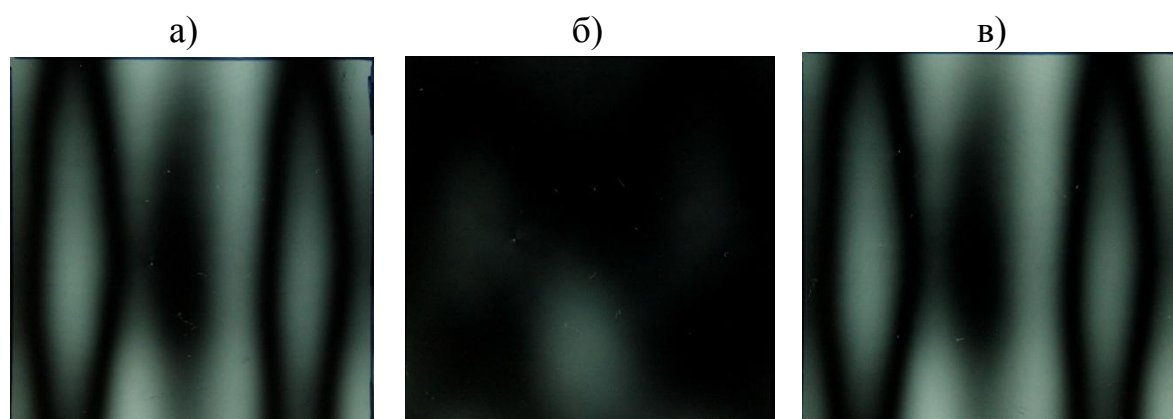


Рис. 3. Распределение интенсивности при повороте системы «поляризатор-анализатор» на угол 0° (а), 45° (б) и 90° (в)

В рамках отработки процедур визуализации и диагностики поверхностных сжимающих напряжений в закаленных стеклах предложен способ, позволяющий решить данную проблему. Он основан на регистрации двух распределений интенсивности света, прошедшего через исследуемое стекло и систему «поляризатор-анализатор», скрещенных под углом $\chi = 90^\circ$. Первое распределение регистрируется при одном положении системы, второе – после поворота этой системы на 45° . На рис. 3 приведены распределения интенсивности при повороте системы «поляризатор-анализатор» для стекла толщиной 6 мм на участке площадью $50 \times 50 \text{ мм}^2$, а на рис. 4 представлены распределения интенсивности, полученные сложением в каждой точке поверхности стекла соответствующих интенсивностей света для указанных двух распределений. В этом случае в результирующем распределении отсутствуют изоклины, искажающие регистрируемую картину.

УДК 624.35

РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ ТОПОЛОГИИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

С. К. КРУТОЛЕВИЧ, Н. М. ЩЕРБО, Е. А. ЗАЙЧЕНКО

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

В современных городах тепловые сети представляют собой сложную структуру трубопроводов, регулирующих элементов, теплообменников и других элементов. Управление технологическим режимом работы сети обеспечивается с центрального диспетчерского пункта. Диспетчер постоянно контролирует технологические параметры функционирования сети и поддерживает эти показатели в определенном коридоре возможных значений. Система автоматического управления на основе математического моделирования позволяет подобрать оптимальный режим работы.

Математическая модель тепловой сети, представляет собой набор описаний отдельных участков сети, связанных между собой узловыми точками. Важной проблемой моделирования, является постоянно изменяющаяся топология тепловой сети. Для решения задачи максимально быстрого формирования математической модели сети был разработан программный комплекс содержащий: графический редактор формирования тепловой сети, блок автоматического формирования системы уравнений, блок определения технологических параметров сети, блок принятия управленческого решения об изменении режимов работы насосных станций.

Графический редактор позволяет диспетчеру изменить топологию сети с помощью набора графических инструментов.

Графический редактор позволяет диспетчеру изменить топологию сети с помощью набора графических инструментов.

Для программного представления базовых элементов использованы классы и интерфейсы, связанные между собой наследованием, таким образом, наиболее абстрактная иерархия, описывающая базовые объекты теплосети содержит следующие интерфейсы:

- IHeatSystemElementBase – базовый класс;
- IHeatSystemElement – самостоятельный элемент теплосети;
- IHeatSystemElementConnector – элемент теплосети соединяющий другие элементы;
- IHeatSystemElementModifier – элемент модификатор, может быть подключен к соединяющим элементам теплосети.

Элементы теплосети имеют набор входных и выходных датчиков (InputSensors и OutputSensors), которые описывают две тепловые точки топологии сети.

Топология нейронной сети определяется следующим образом. Число нейронов во входном слое задается числом входов:

$$NC_1 = C_i + IN_i.$$

Число нейронов в выходном слое задается числом выходов O_i . Первоначальное число промежуточных слоев нейронной сети:

$$L = C_i + IN_i - O_i - 1.$$

Число нейронов в промежуточном слое:

$$NC_i = C_i + IN_i - j, \quad j \in [1, L].$$

Для моделирования сложной системы в реальном масштабе времени каждому элементарному блоку системы необходимо сопоставить нейросетевую модель. Для этого, типы блоков системы необходимо обобщить до классов объектов, характеризующихся одинаковым набором входных и выходных параметров, а также одинаковым принципом функционирования.

Входные параметры должны представлять собой как статические технические характеристики, так и динамические характеристики, зависящие от режима функционирования системы.

Таким образом, в результате будет получена библиотека нейросетевых элементов, представляющих все типы блоков системы.

При структурных изменениях в системе осуществляется добавление новых элементов в существующую модель, после чего она сразу готова к использованию. Обучение нейросетевых моделей выполняется уже в работающей модели системы на основе информации о ее текущем состоянии.

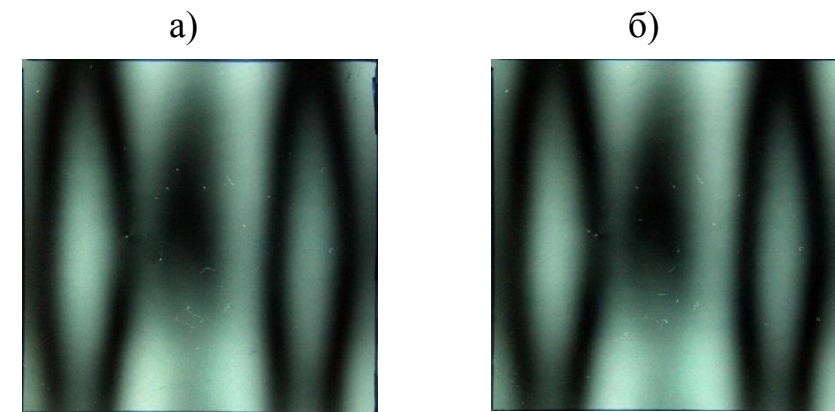


Рис. 4. Распределение интенсивности без изоклин, полученные в результате обработки данных для положений 0° и 45° (а), 45° и 90° (б), представленных на рис. 3

Как следует из анализа распределений, представленных на рис. 4, суммарная картина воспроизводится через каждые 45° . Это означает, что главные напряжения лежат в плоскости стекла. Обработывая регистрируемые распределения интенсивности $I(x, y)$, можно восстановить разность фаз $\delta(x, y)$ в каждой точке стекла и воспроизвести поле напряжений. Однако такой способ диагностики требует абсолютных измерений интенсивности света $I(x, y)$, поэтому был предложен более эффективный метод анализа полей механических напряжений, который заключается в следующем.

Для определения $\delta(x, y)$ вначале проводятся измерения интенсивности при некотором фиксированном (но произвольном) угле α и угле χ равном 90° . В этом случае

$$I(x, y) = I_{\perp}^{(1)} = I_p T_1 \sin^2 2\alpha \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2}, \quad (2)$$

где $T_1 = T(\alpha, \chi = 90^\circ)$.

Затем анализатор 4 (рис. 1) устанавливается таким образом, чтобы выполнялось условие $\chi = 0^\circ$, и регистрируется распределение

$$I(x, y) = I_{\parallel}^{(1)} = I_p T_1 (1 - \sin^2 2\alpha \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2}). \quad (3)$$

Измеренные распределения интенсивности позволяют определить величину произведения

$$\sin^2 2\alpha \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2} = \frac{I_{\perp}^{(1)}}{I_{\perp}^{(1)} + I_{\parallel}^{(1)}}. \quad (4)$$

При повороте поляризатора 2 (рис. 1) на угол равный 45° (т.е. $\alpha + 45^\circ$) и ориентации анализатора под углом $\chi = 90^\circ$ интенсивность будет определяться как

$$I(x, y) = I_{\perp}^{(2)} = I_p T_2 \cos^2 2\alpha \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2}, \quad (5)$$

где $T_2 = T(\alpha + 45^\circ, \chi = 90^\circ)$.

На последнем этапе измерение распределения интенсивности осуществляется при ориентации поляризатора относительно исследуемого образца под углами $\alpha + 45^\circ$ и $\chi = 0^\circ$

$$I(x, y) = I_{\parallel}^{(2)} = I_p T_2 (1 - \cos^2 2\alpha \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2}). \quad (6)$$

Обработка этих измерений позволяет определить величину произведения

$$\cos^2 2\alpha \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2} = \frac{I_{\perp}^{(2)}}{I_{\perp}^{(2)} + I_{\parallel}^{(2)}}. \quad (7)$$

Фактически, в каждой точке образца вычисляют суммарную интенсивность $I(x, y) = I_{\perp}^{(1)} + I_{\perp}^{(2)} = I_p T \sin^2 \frac{\delta(x, y)}{2}$, которая уже не зависит от распределения $\alpha(x, y)$. Таким образом, предлагаемый подход позволяет избавиться от недостатка, имеющего место в поляриметрии – изоклин, которые искажают картину визуализации напряжений и не могут быть исключены с помощью специальных компенсаторов для широкоформатных стекол [1, 2]. Действительно из (1), (4) и (7) следует, что

$$\frac{I(x, y)}{I_p T} = \frac{I_{\perp}^{(1)}}{I_{\perp}^{(1)} + I_{\parallel}^{(1)}} + \frac{I_{\perp}^{(2)}}{I_{\perp}^{(2)} + I_{\parallel}^{(2)}}. \quad (8)$$

В этом выражении отсутствует множитель $\sin^2 2\alpha$, поэтому в построенном распределении $I(x, y)$ в соответствии с (8), не будет темных участков, обусловленных условием $\alpha = 0$.

Обработав распределения интенсивности с учетом выражений (4) и (7), можно получить распределение разности фаз

$$\delta = 2 \left\{ \arcsin \left(\pm \sqrt{\frac{I_{\perp}^{(1)}}{I_{\perp}^{(1)} + I_{\parallel}^{(1)}} + \frac{I_{\perp}^{(2)}}{I_{\perp}^{(2)} + I_{\parallel}^{(2)}}} \right) + m\pi \right\}, \quad m \in Z. \quad (9)$$

На рис. 5 приведено распределение интенсивности $I(x, y)$ света, полученное сложением измеренных распределений и наложенная на него картина разбитого исследуемого стекла. В стандартной схеме оценки величины механических напряжений используется именно картина разбиения стекла. При этом в области больших значений напряжений, а, следовательно, и величины $\delta(x, y)$ регистрируются более мелкие куски разбитого стекла.

УДК 624.35 РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ ТИПИЗИРОВАННЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ В СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

С. К. КРУТОЛЕВИЧ, А. Е. МИСНИК

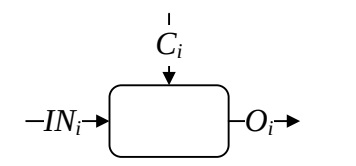
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Особенностями сложных технических систем являются следующие: сложность структуры, многокомпонентность, большое количество параметров и переменных; постоянное изменение структуры и параметров; неполнота исходной информации о системе; разнообразие и вероятностный характер воздействий; наличие сложных нелинейных зависимостей; необходимость принятия решений в реальном времени; ограниченные возможности экспериментального исследования.

Конструктивным подходом к преодолению проблемы моделирования такой системы является её декомпозиция на элементы, создание моделей элементов системы, построение комбинированной нейросетевой модели системы и адаптация модели к изменяемым условиям в процессе управления функционированием системы.

Дополнительным преимуществом использования нейронных сетей для описания элементов системы является возможность использования дополнительных данных об элементах без сложного математического описания влияния этих данных. В качестве таких дополнительных данных можно использовать время эксплуатации элемента, число и тип зафиксированных поломок, дополнительные сложно формализуемые данные о состоянии окружающей среды и т.п.

Для моделирования структурных элементов систем используются модели вида



где C_i – характеристики элемента (доступная информация об объекте, информация о состоянии окружающей среды), подающиеся на входы нейронной сети элемента; IN_i – входы нейронной сети элемента; O_i – выходы нейронной сети элемента.

Соединение элементов происходит таким образом, что на входы IN_i подаются выходы O_{i-1} предыдущего элемента.

С. В. КОЛЬЦОВ, К. В. ОВСЯННИКОВ, А. А. КОРНЕЕВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В течение многих лет существует интерес к электроприводам с упругими связями. В связи с тем, что в настоящее время наблюдается рост производительности и интенсификация технологических процессов, к быстродействию автоматизированного электропривода также предъявляются повышенные требования. При этом достаточно часто имеет место ограниченная жесткость связей между двигателем и рабочим органом механизма или между составными частями рабочего органа. Увеличение жесткости не всегда может быть выполнено в связи с конструктивными особенностями технологической установки.

Механизмы горнодобывающей промышленности, как правило, представляют собой протяженный в пространстве объект (типичный пример – грузоподъемная установка, протяженность которой может достигать 5000 м (расстояние от скипа до коренной части)). В связи с этим актуальными становятся исследования влияния протяженности объекта на процессы, происходящие в электроприводе данных механизмов.

При повышении требований к быстродействию электропривода ограниченная жесткость связей (упругость) начинает влиять на работу технологической установки, возникают колебания, что приводит к ухудшению показателей качества электропривода, повышенному износу установки, снижению энергетических показателей.

До сих пор в автоматизированном электроприводе одним из самых распространенных принципов построения систем управления электроприводом является принцип подчиненного управления, который использует стандартные настройки контуров. Системы, построенные по принципу подчиненного регулирования, получили широкое распространение. Если регуляторы настроены правильно, данные системы обеспечивают удовлетворительный переходный процесс. При настройке регуляторов стандартными способами возникают колебания в механической части. Как следствие, повышается износ установки, ухудшаются энергетические показатели электропривода и система в отдельных случаях становится неустойчивой.

При настройке системы управления влиянием упругости, как правило, пренебрегают, что приводит к резкому ухудшению быстродействия системы, а иногда и к принципиальной невозможности эксплуатации технологической установки.

Для того чтобы подавить негативные явления, связанные с присутствием упругости в исполнительном органе, был разработан ряд методов организации и настройки систем управления.

Наиболее перспективным методом настройки системы управления электропривода грузоподъемной установки может стать метод коррекции с использованием параллельного корректирующего устройства.

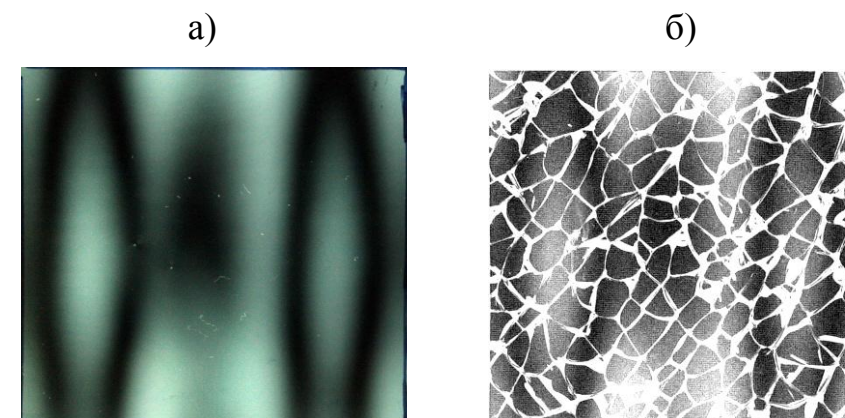


Рис. 5. Распределение интенсивности $I(x, y)$ света (а) и наложенная на него картина разбитого исследуемого стекла (б)

Вследствие особенностей производства стекла напряжения, главным образом, концентрируются в приповерхностной области. Поэтому естественным является применение для исследования стекла чувствительных к состоянию приповерхностной области стекла волноводных методов. Результаты измерений оптической анизотропии в стекле толщиной 6 мм волноводным и поляризационно-оптическим методами представлены на рис. 6.

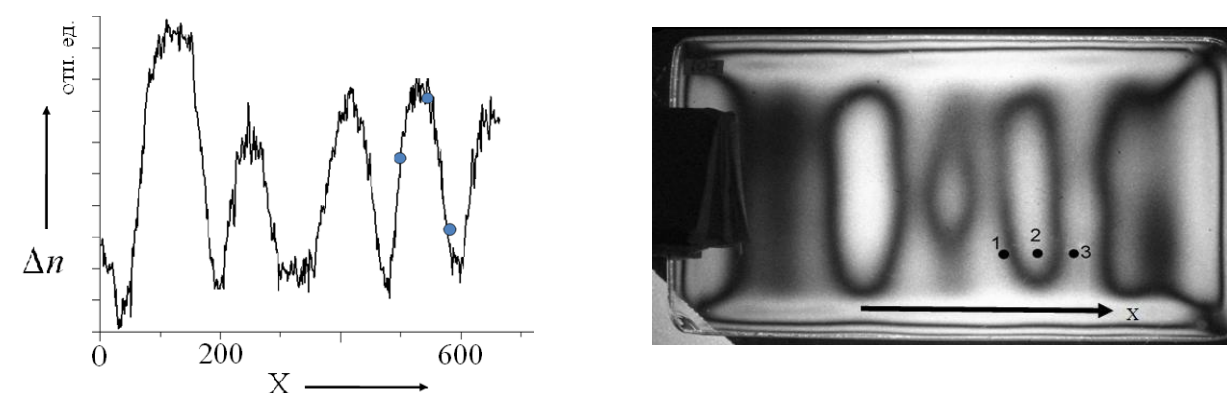


Рис. 6. Распределение величины анизотропии Δn в стекле вдоль оси X , измеренное волноводным методом и визуализация распределения напряжений в стекле, полученных поляризационно-оптическим методом

Значения Δn , представленные точками, положение которых указано на фотографии, получены волноводным методом, непрерывная кривая – данные поляризационно-оптических измерений.

Таким образом, предложенный подход позволяет корректно оценивать величину механических напряжений, возникающих в приповерхностном слое закаленного стекла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптические свойства кристаллов / А. Ф. Константинова [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1995. – С. 88–94.
2. Миндлин, Р. Изучение напряжений методом фотоупругости / Р. Миндлин // Успехи физических наук. – 1940. – №1. – С. 16–66.

УДК 658.512

ПРОБЛЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

С. А. РЫНКЕВИЧ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Современные тенденции в области автоматизации характеризуются повсеместным применением ЭВМ, созданием машин со встроенными микропроцессорными средствами, обеспечивающими широкий спектр функций по управлению, контролю и защите, диагностированию, информационному обеспечению и безопасности [1]. Стремительное внедрение на автотранспортных средствах (АТС) и машинах микроэлектроники, тем не менее, оставляет нерешенными проблемы, связанные с синтезом соответствующих систем управления и диагностирования и разработкой алгоритмов функционирования.

Несмотря на большое разнообразие и широкие возможности традиционно используемых методов диагностирования, им присущ ряд недостатков. Основные недостатки: сложность при оценке технического состояния (ТС) по измеренным параметрам; значительная трудоемкость проводимых в процессе диагностирования работ; несовершенство методов и средств диагностирования; ограниченные функциональные возможности традиционных средств диагностирования; низкая оперативность традиционных методов диагностирования; невысокая точность при постановке технического диагноза; низкая достоверность диагностирования [2].

У автоматизированных средств и систем контроля ТС также есть серьезные ограничения. Такие как: трудности с локализацией неисправностей; недостаточный объем диагностической информации; снижение функциональных возможностей человека по управлению машиной; слабые возможности средств визуализации и отображения результатов технического диагностирования; несовершенство встроенных приборных панелей мобильных машин; неудовлетворительное распознавание ТС в условиях ограниченной, неопределенной и трудноформализуемой информации и, в этой связи, невозможность раннего предупреждения неисправностей; отсутствие в используемых протоколах передачи данных конфигурационной гибкости, режима обнаружения ошибок, наличие односторонности передачи информации, невозможность восприятия информации в зависимости от ее приоритета и степени важности (в отличие от прогрессивных CAN-протоколов); несвоевременность доставки информации по назначению и неоперативность ее отображения; неполное использование возможностей современных компьютерных средств контроля информации и др. [1, 2].

Ограниченные возможности средств вывода технического диагноза связаны с наличием только простых двузначных утверждений типа «исправный» (1) – «неисправный» (0). Этого явно недостаточно, поскольку современные диагностические системы должны «уметь» распознавать опасные условия функционирования

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАССОВЫХ ЛИФТОВ С УПРАВЛЯЕМЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ В ФУНКЦИИ ПУТИ

А. С. КОВАЛЬ, Е. В. ЕФИМЕНКО

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В настоящее время большинство используемых канатных лифтов в Республике Беларусь и в других странах СНГ со скоростью движения до 2 м/с имеют нерегулируемый редукторный электропривод с одно- и двухскоростными асинхронными двигателями. Существует тенденция всё более широкого применения в массовых лифтах частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным и векторным управлением. Стимулом к этому являются возрастающие требования как по энергосбережению, так и по обеспечению более высокого уровня комфортности поездки в лифтах.

Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода позволяет снизить энергопотребление в переходных режимах. Его применение в лифтах сегодня позволяет повысить как комфортность поездки, так и экономии электроэнергии.

Устранение участка дотягивания в лифтах с регулируемым электроприводом увеличивает производительность лифта и потенциал энергопотребления и может быть реализовано разработкой системы автоматического регулирования (САР) управляющей торможением, в функции оставшегося пути до этажа останова.

Разработка компьютерной модели САР с таким торможением требует экспериментальных проверок. Для реализации поставленной задачи было принято решение о разработке лабораторного стенда на базе лифтового механизма запираания дверей ПД-650-127. Данное устройство укомплектовано двигателем 4ААМ56В4НЛУЗ и механизмом линейного перемещения длиной 1300 мм, что достаточно для экспериментального исследования работы САР в функции пути торможения при использовании частотного преобразователя DANFOS (Р до 5.5 кВт) с дискретным датчиком пути для реализации управляемого торможения. Задание требуемого закона управления обеспечивается блоком формирования тахограммы движения в зависимости от пути торможения.

Стенд позволяет обеспечивать настройку САУ регулируемого электропривода для отработки различных законов позиционирования.

В общем случае одним из методов решения задачи определения оптимального сочетания ТР (2) для ТП (1) является метод динамического программирования, основанный на принципе Р. Беллмана:

$$\tau_v = \min_u (\max) \{ \tau_u + \tau_{uv} \}, \tau_0 = 0, \quad (3)$$

В силу специфики интерпретации нагрузок на ребрах графа $\tau_{uv} \in R$ для ТП (1) имеют место следующие соотношения и утверждения:

$$(\forall u \in 0, \dots, N) (\forall v_1, v_2 \in 0, \dots, N) [\tau_{uv_1} = \tau_{uv_2}], \quad (4)$$

Утверждение 1. Пусть для $\tau_{uv} \in R$ имеют место соотношения вида (4), тогда для рассматриваемой задачи функциональное уравнение Р. Беллмана (3) для $i = 1, \dots, N$, $v = \sum_{j=0}^i M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^{i+1} M_j$ принимает вид:

$$\tau_v = L_{i-1} + \min_{u=\sum_{j=0}^{i-1} M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^i M_j} (\max) \{ \tau_{uv} \} = L_i, \tau_0 = 0, L_0 = 0, M_0 = 0. \quad (5)$$

Утверждение 2. Пусть для $\tau_{uv} = (\tau_{uv}^{(1)}, \tau_{uv}^{(2)}) \in R^2$ верны соотношения:

$$(\forall u \in 0, \dots, N) (\forall v_1, v_2 \in 0, \dots, N) [(\tau_{uv_1}^{(1)} = \tau_{uv_2}^{(1)}) \wedge (\tau_{uv_1}^{(2)} = \tau_{uv_2}^{(2)}) \Leftrightarrow (\tau_{uv_1} = \tau_{uv_2})], \quad (6)$$

тогда для рассматриваемой задачи из уравнения Р. Беллмана (3) следует:

$$\tau_v = \begin{cases} \left(\begin{array}{l} L_{(i-1)1} + \min_{u=\sum_{j=0}^{i-1} M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^i M_j} (\max) \{ \tau_{uv}^{(1)} \} \\ L_{(i-1)2} + \min_{u=\sum_{j=0}^{i-1} M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^i M_j} (\max) \left\{ \tau_{uv}^{(2)} \mid \tau_{uv}^{(1)} = \min_{u=\sum_{j=0}^{i-1} M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^i M_j} (\max) \{ \tau_{uv}^{(2)} \} \right\} \end{array} \right) & cRT = 1, \\ \left(\begin{array}{l} L_{(i-1)1} + \min_{u=\sum_{j=0}^{i-1} M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^i M_j} (\max) \left\{ \tau_{uv}^{(1)} \mid \tau_{uv}^{(2)} = \min_{u=\sum_{j=0}^{i-1} M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^i M_j} (\max) \{ \tau_{uv}^{(1)} \} \right\} \\ L_{(i-1)2} + \min_{u=\sum_{j=0}^{i-1} M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^i M_j} (\max) \{ \tau_{uv}^{(2)} \} \end{array} \right) & cRT = 2 \end{cases} \quad Case_Op_i = 0,$$

$$\left(\begin{array}{l} L_{(i-1)1} + \tau_{u_{i0}v}^{(1)} \\ L_{(i-1)2} + \tau_{u_{i0}v}^{(2)} \end{array} \right) \quad Case_Op_i = 1, u_{i0} \in \left\{ \sum_{j=0}^{i-1} M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^i M_j \right\}$$

$\tau_v = L_i = (L_{i1} \quad L_{i2})^T$, $\tau_0 = L_0 = (0 \quad 0)^T$, $M_0 = 0$, $v = \sum_{j=0}^i M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^{i+1} M_j$, где $i = 1, \dots, N$; $cRT \in \{1, 2\}$ – параметр оптимизации ТП (1) по 1-му, либо 2-му измерениям векторов $\tau_{uv} \in R^2$; $Case_Op_i \in \{1, 0\}$ – фиксации вершины графа с номером, соответствующим $TR_{(i-1)\xi_{(i-1)k} u_{i0}}$ $(i-1)$ -го этапа ТП (1).

Доказательство утверждений 1–2 проводится методом математической индукции с учетом зависимости измерений векторов τ_{uv} . Утверждения 1–2 с учетом значений управляющих параметров составляют основу одного из вариантов процедур пошаговой оптимизации ТП (1).

ния, причины и тип возникших неисправностей. Следует отметить и некорректность вывода информации о ТС из-за неоднозначности связи между проявлениями и причинами неисправности. Зачастую одной лишь световой и звуковой сигнализации недостаточно (при достижении контролируемых параметров предельных значений), поскольку не все существующие на мобильных машинах системы мониторируются для указания неисправного элемента и параметра, достигшего предельного значения. Трудности с локализацией неисправности возникают при попытках конкретного подробного описания, так как традиционным системам диагностирования предписано осуществлять выбор лишь из двух состояний: «исправное» и «неисправное», что не всегда обоснованно. Снижение функциональных возможностей человека по управлению машиной проявляется в том, что увеличение числа контролируемых параметров во встроенных системах диагностирования затрудняет восприятие информации и приводит к перегруженности оператора. Также, при получении общих картин функционирования объекта с использованием традиционных бортовых систем контроля и панелей приборов имеет место субъективная оценка оператора, во многом зависящая от его квалификации.

Основная проблема диагностирования связана с *многообразием и огромной сложностью происходящих при функционировании объекта* процессов. Для ее решения необходимо использовать технологии и методы, основанные на других подходах, отличных от тех, которые опираются на принципы классической теории автоматического управления.

На основе всестороннего анализа традиционной теории диагностирования можно выделить **несколько противоречий в теории диагностики**, возникших на нынешнем этапе развития научно-технического прогресса.

С одной стороны, появились широкие возможности диагностирования, связанные с развитием и внедрением на технических объектах современных быстродействующих систем, появлением развитого программного обеспечения, прикладных средств и программных комплексов. Применение портативного оборудования и оснащение им специализированных диагностических постов существенно ускоряет процесс оценки технического состояния механизмов и даже в некоторой степени позволяет снизить степень субъективной оценки при постановке диагноза.

В то же время возникает существенное противоречие традиционных алгоритмов диагностирования: чем больше полнота получаемой диагностической информации, тем длительнее сама процедура диагностирования традиционно используемыми методами и средствами. Сюда следует отнести также *низкое быстродействие получаемого диагноза и неточность указания места локализации неисправности*. А это чревато серьезными последствиями: снижением эффективности технического диагностирования и, как следствие, возникновение неисправностей и поломок из-за обнаруженных и своевременно не предотвращенных опасных и аварийных ситуаций, что приводит к снижению безопасности.

Системы автоматизированного диагностирования, использующие традиционные и порой устаревшие методы, позволяют решать частные диагностические задачи, не обладают оперативностью, не способны функционировать в режиме

реального времени, не приспособлены к постоянно изменяющимся условиям. И хотя появились новые средства измерения и электронные устройства, это, однако, не решает проблемы в полной мере и требует поиска других подходов.

Появление новых средств и методов получения, представления, передачи и обработки информации, увеличение возможностей бортовых компьютеров и средств микропроцессорной техники, использование новых технологий стимулировало процесс разработки современных и перспективных диагностических систем.

В связи с качественным прогрессивным изменением уровня производительных сил общества в настоящее время назрела необходимость формирования **новой идеологии**, т.е. совокупности мировоззренческих концепций, лежащих в фундаменте соответствующей науки. Она включает: концептуальные рамки науки; основные установки; конкретные традиции научного исследования; совокупность убеждений, ценностей и технических средств; главные философские элементы и т.д. Главное направление и задача *новой идеологии автоматизации* – это обеспечение высокого технического уровня создаваемых объектов АТС, их совершенствование и повышение конкурентоспособности. *Новая идеология предусматривает совокупность интеллектуального управления, применение новых методов получения и представления информации и новых информационных технологий.* В этой связи она порождает ряд *концепций, теорий, тенденций и идей*, требующих разработки соответствующего *математического аппарата, терминологии, гипотез, методологий и методов.*

Идеология автоматизации управления и диагностирования воплощается в практику на основе создания соответствующих интеллектуальных систем (рис. 1). В настоящее время процесс автоматизации управления и диагностирования АТС должен осуществляться на основе создания интеллектуальных систем, способных одновременно учитывать большое количество различных характеристик, функционировать в режиме реального времени и реализовывать алгоритмы, подобные логике человеческого мышления. Интеллектуальные системы управления и диагностирования нового класса (ИСУД), в отличие от обычных, работают со знаниями; они наделены функциями распознавания, обучения, прогнозирования.

В основе создания ИСУД лежат принципы теории искусственного интеллекта. Использование этих принципов позволяет значительно расширить потенциальные возможности методов и средств диагностирования и получить гибкие алгоритмы диагностирования, отражающие многообразие различных факторов. Системы диагностирования, функционирующие по таким алгоритмам, способны в сложной обстановке оперативно принимать решения, свойственные логическому мышлению человека; непрерывно реагировать на всевозможные изменения внешних воздействий; осуществлять постоянный анализ и оценку текущих ситуаций; идентифицировать и распознавать их; обеспечивать с человеком взаимопонятный диалог и давать рекомендации водителю или оператору; осуществлять анализ речевых команд и т.д.

УДК 004.8 МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВАНИИ ПРИНЦИПА ОПТИМАЛЬНОСТИ БЕЛЛМАНА

Е. М. БОРЧИК, А. И. ЯКИМОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Пусть технологический процесс (ТП) производства готовой продукции (тканей) *TexPr* состоит из N технологических операций:

$$TexPr = \{Op_i \mid i = 1, \dots, N\}. \quad (1)$$

Каждая из технологических операций Op_i (1) допускает выбор одного из M_i допустимых технологических режимов (ТР) $TR_{i \xi_{ik} k}$ обработки продукции, производимой на одном из определенных видов оборудования, $\xi_{ik} \in 1, \dots, |\xi|$ – код оборудования из справочника:

$$Op_i = \{TR_{i \xi_{ik} k} \mid k = 1, \dots, M_i\}, \quad i = 1, \dots, N. \quad (2)$$

Операции Op_i , $i = 1, \dots, N$ ТП (1) выполняются последовательно. Себестоимости ТР складываются из стоимостей применяемых ресурсов.

Задача определения оптимального сочетания ТР (2) технологического процесса (1) в разрезе стоимости ресурсов и/или временных затрат, необходимых для выпуска определенного количества продукции, может быть решена с использованием потокового программирования, как задача определения кратчайшего/критического пути, или минимальной/максимальной стоимости расхода ресурсов/времени.

При этом ТП представляется графом, вершинами которого являются ТР; нагрузки на ребрах интерпретируются как временные затраты, либо стоимости затрат ресурсов на выпуск заданного количества (1000 метров погонных) продукции (ткани) на соответствующем оборудовании.

При построении графа ТП (1) разделяется на N этапов (операций). Исток графа имеет номер 0 и представляет собой нулевой этап ТП (1). Каждый последующий этап при построении графа располагается правее предыдущего. Вершины графа одного и того же этапа располагаются по одной вертикали. Нумерация вершин производится последовательно от 0 (исток) до $\sum_{i=1}^N M_i$ (сток). Вершины соединяются ребрами в соответствии с последовательностью выполняемых операций.

Обозначим через τ_{uv} нагрузку на ребро, исходящее из вершины с номером $u \in \{\sum_{j=0}^{i-1} M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^i M_j \mid M_0 = 0\}$, $(i-1)$ -й этап ТП (1) и входящее в вершину с номером $v \in \{\sum_{j=0}^i M_j + 1, \dots, \sum_{j=0}^{i+1} M_j \mid M_0 = 0\}$, i -й этап ТП (1), $i = 1, \dots, N$.

ний электропередачи на адекватность моделирования. Поэтому необходим комплексный метод исследования, включающий в себя оба указанных выше способа проведения экспериментов.

Для проведения натурального эксперимента с реальными преобразователями частоты и асинхронными взрывозащищенными двигателями предлагается конструкция типового стенда. Его особенностью является наличие нагрузочного агрегата, имитирующего режим нагрузки технологической установки, а также физической модели длиной линии электропередачи. Эти подсистемы стенда позволяют достаточно точно оценить нагрев поверхности электродвигателя в различных режимах, а также величину напряжения при этом на его вводных клеммах.

Использование комплексной методики исследования взрывобезопасности позволяет провести выборочный натурный эксперимент с одним из нескольких однотипных электроприводов технологической установки. При выполнении натурального эксперимента дополнительно появляется возможность оценки эффективности использования периферийного оборудования для силовых преобразователей (входных и выходных фильтров) и оптимизации программных настроек системы управления преобразователем частоты с точки зрения сочетания параметров взрывобезопасности и энергоэффективности. Результаты проведения эксперимента с физической моделью ЭП после соответствующего анализа дают возможность ввести коррекцию в программную модель электропривода. Что позволяет в дальнейшем учесть особенности взаимодействия конкретного типа преобразователя частоты и входящего в его состав периферийного электрооборудования с реальным электродвигателем. При этом исключается необходимость проведения полного натурального эксперимента с каждым частотно-регулируемым электроприводом промышленной установки, так как скорректированное компьютерное моделирование дает адекватную оценку взрывобезопасности.

Предложенный метод проведения комплексного испытания частотно-регулируемых электроприводов для взрывоопасных зон оптимизирует затраты на модернизацию с обеспечением требуемого уровня безопасности промышленных установок.



Рис. 1. Идеология автоматизации управления и диагностирования на основе создания интеллектуальных систем класса ИСУД

В качестве научной основы создания таких систем используется научное направление «Теория искусственного интеллекта», включающее в себя ряд информационных технологий. Широко используются экспертные системы, теория нечетких множеств и теория искусственных нейронных сетей [3]. Это позволяет выйти на новый уровень проектирования систем диагностирования. Создание интеллектуальных диагностических систем класса ИСУД позволяет решить ряд проблем. Во-первых, создаются системы диагностирования, использующие большое количество информации различной физической природы. Во-вторых, возникают условия для реализации гибких алгоритмов, позволяющих приспосабливаться к изменению ситуаций и условий эксплуатации. В-третьих, упрощается конструкция систем и снижается стоимость создаваемых изделий. В-четвертых, появляются возможности использования программ диагностирования в режиме реального времени. В-пятых, системы, наделенные интеллектуальными качествами, приобретают способность к обучению. Это выражается в расширении и значительном пополнении базы знаний таких систем в процессе эксплуатации; накоплению и осмыслению информации; распознаванию различных ситуаций, в том числе проявлений неисправностей, причин и условий их возникновения.

В рамках новой идеологии автоматизации были разработаны стратегия и методология синтеза интеллектуальных систем управления и диагностирования (ИСУД) для АТС (рис. 2). Стратегия включает в себя несколько важнейших этапов: разработка концепции ИСУД; разработка общей структуры ИСУД; синтез алгоритмов функционирования ИСУД; создание ИСУД в виде готового изделия; его реализация на объекте.

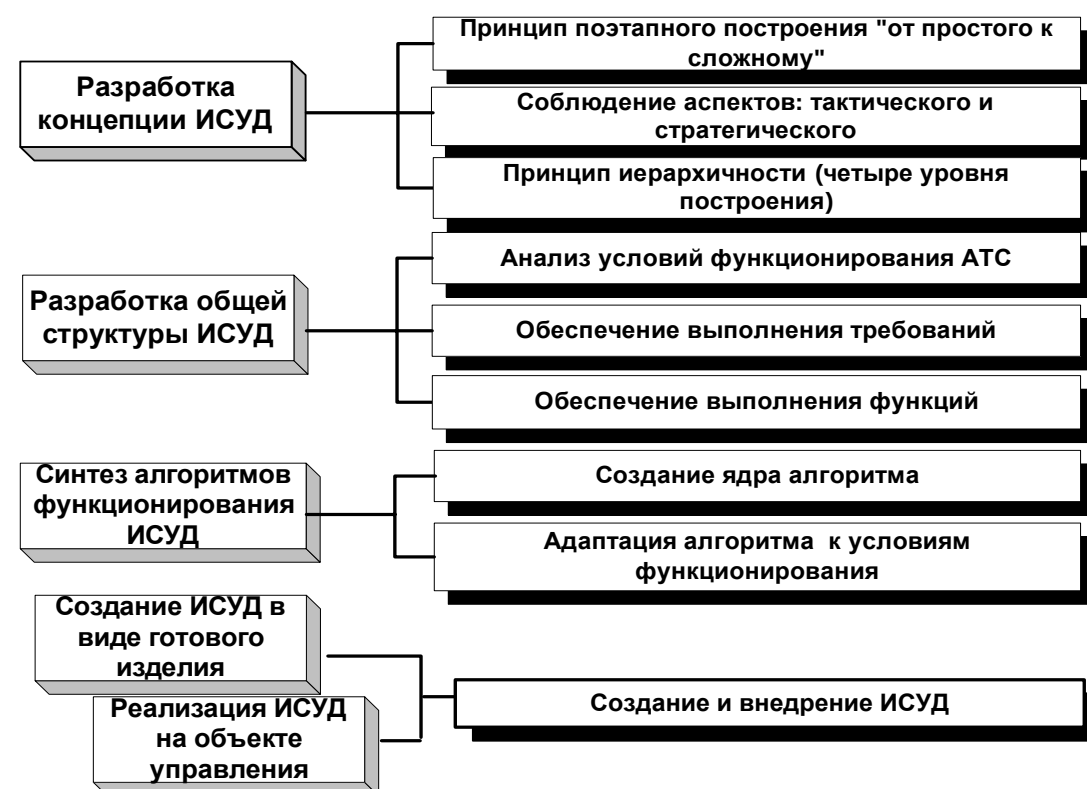


Рис. 2. Стратегия синтеза систем диагностирования для АТС

Применительно к сфере автомобилестроения разрабатываемые системы технического диагностирования должны обеспечивать следующие функции:

- оперативное определение ТС основных механизмов автомобиля;
- осуществление непрерывного контроля основных параметров механизмов;
- идентификация и предотвращение опасных ситуаций;
- осуществление защиты от ошибочных управляющих действий водителя;
- анализ информации о текущих процессах с выдачей водителю сигналов отклонений от технических требований;
- осуществление измерения пробега автомобиля, расхода топлива, количества перевозимого за смену груза и других параметров;
- обеспечение приема информации от других измерительных систем по любому из стандартных интерфейсов;
- выдача результатов диагностирования в текстовом и графическом виде;
- отображение текущего состояния объектов диагностирования в графическом режиме на дисплее в виде вербальной, символьной информации;
- осуществление диспетчеризации и ведения протоколов работы системы;
- хранение в памяти результатов текущего диагностирования и результатов технического состояния, в котором находился автомобиль в прошлом,

УДК 621.3 ИСПЫТАНИЯ ЧАСТОТНОРЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДЛЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН

В. Н. АБАБУРКО, Л. Г. ЧЕРНАЯ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В настоящее время на предприятиях нефтехимической отрасли Республики Беларусь и Российской Федерации стали массово применять энергосберегающие преобразователи частоты для питания асинхронных электродвигателей, установленных во взрывоопасных зонах. Особенно часто выполняется модернизация нерегулируемого асинхронного электропривода с сохранением ранее установленного взрывозащищенного асинхронного электродвигателя с целью повышения энергоэффективности производства.

Согласно ГОСТ 30852.13-2002 и ГОСТ Р МЭК 60079-2008 использование некомплектных по отношению к двигателю преобразователей частоты требует проведения дополнительных испытаний системы ЭП с целью контроля обеспечения требований взрывобезопасности. При проведении испытаний необходимо контролировать все возможные режимы работы электропривода во всем диапазоне изменения скорости и нагрузки, которые задает технологический процесс. На действующей промышленной установке в большинстве случаев невозможно реализовать полный комплекс испытаний, так как технология производства связана с присутствием взрывоопасных концентраций, что не отвечает требованиям безопасности.

Решение вышеуказанной проблемы возможно двумя основными способами:

- проведением вычислительного эксперимента с моделью исследуемого электропривода;
- использование специального испытательного стенда, установленного вне взрывоопасной зоны.

Основными целями исследования электропривода является получение данных о нагреве поверхности и величине напряжения в клеммной коробке электродвигателя (особенно при наличии у него вводных устройств с видами взрывозащит «е» и «п»).

В научно-исследовательской лаборатории «Взрывозащищенное электрооборудование» Белорусско-Российского университета для проведения испытаний методом компьютерного моделирования ранее был разработан программный комплекс TermoDrive. Однако одностороннее исследование проблем взрывобезопасности частотно-регулируемого ЭП только методом моделирования не дает полной оценки безопасности. Например, сложно учесть влияние особенности схмотехники преобразователей частоты и ли-

Изготавливались две партии электродов. В первую партию к стандартному покрытию добавлялись порошки, без какой-либо обработки в процентном соотношении 15 % и 27 % к массе покрытия. Во вторую партию добавлялись порошки, подвергнутые механическому легированию, с тем же процентным соотношением.

Исходными компонентами для получения композиционного порошка: Ферросилиций ФС75 по ГОСТ 1415-93 «Ферросилиций. Технические требования и условия поставки»; Ферромарганец ФМн88А по ГОСТ 4755-91 «Ферромарганец. Технические требования и условия поставки»; Феррохром по ГОСТ 4757-91 «Феррохром. Технические требования и условия поставки»; Железный порошок по ГОСТ 9849-86 «Порошок железный. Технические условия». Размеры частиц всех исходных порошков находились в диапазоне от 63 до 500 мкм. Соотношения исходных компонентов в шихте составляло: FeCr – 5 %; FeMn – 0,9 %; FeSi – 1,5 %; Fe – 91,7 %. Полученные порошки перед применением подвергали смешиванию в смесителе пита «пьяная бочка» в течении 2 часов.

При добавлении в покрытие электродов 15 % и 27,3 % порошка, не подвергнутого механическому легированию, в обоих случаях, твердость сварного шва увеличилась на 8–10 %, по отношению к шву, выполненному стандартным электродом. Данное увеличение, можно объяснить влиянием легирующих элементов. С добавлением механически легированных порошков, в тех же процентных отношениях, твердость возросла на 13–15 %. Пяти процентное увеличение твердости при использовании мелкодисперсного механически легированного порошка, произошло в первую очередь, за счет изменения процессов кристаллизации по границам зерен.

Временное сопротивление на разрыв всех швов, сваренных электродами с добавлением легирующего порошка выше, чем у швов, выполненных со стандартным покрытием. Данное увеличение связано с влиянием легирующих элементов, в первую очередь, марганца и кремния.

Изменение прочности швов сваренных электродами с 15 % добавлением порошка, как без механического легирования, так и с механическим легированием, не установлено. Предположительно это связано с небольшим количеством легирующих элементов, которые не смогли повлиять на структурные изменения в процессе кристаллизации сварного шва.

Добавление 27 % порошка в покрытие электродов позволило выявить отличия в прочностных характеристиках. В сварных соединениях выполненных электродами, в состав которых входил порошок, подвергнутый механическому легированию, временное сопротивление на разрыв выросло в среднем на 10 %. Данное увеличение говорит о положительном влиянии мелкодисперсных механически легированных порошковых материалов на механические свойства сварного соединения.

с возможностью вывода их на печать или перезаписи на электронные носители информации.

Для обеспечения отмеченных выше функций ИСУД должна иметь оригинальную конфигурацию и структуру [3]. Помимо традиционных микропроцессорных модулей, в ее состав должна входить экспертная система, реализующая новые информационные технологии (нечеткой логики, искусственных нейронных сетей и др.). Экспертная система может выполняться на основе нечеткого контроллера с интеллектуальным интерфейсом и вычислительной системой верхнего уровня (RS-232, RS-485, CAN 2.0 В) и подсистемой нижнего уровня (CAN 2.0 В, RS-485) с возможностью подключения локальных микропроцессорных устройств, поддерживающих стандартный протокол CAN 2.0 В.

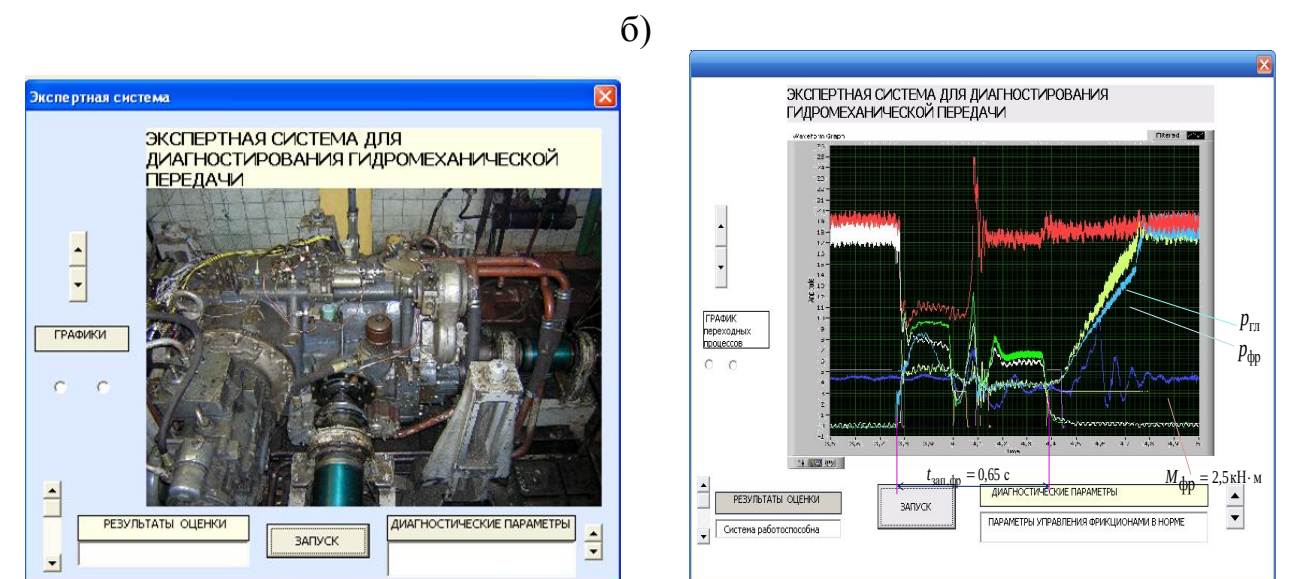
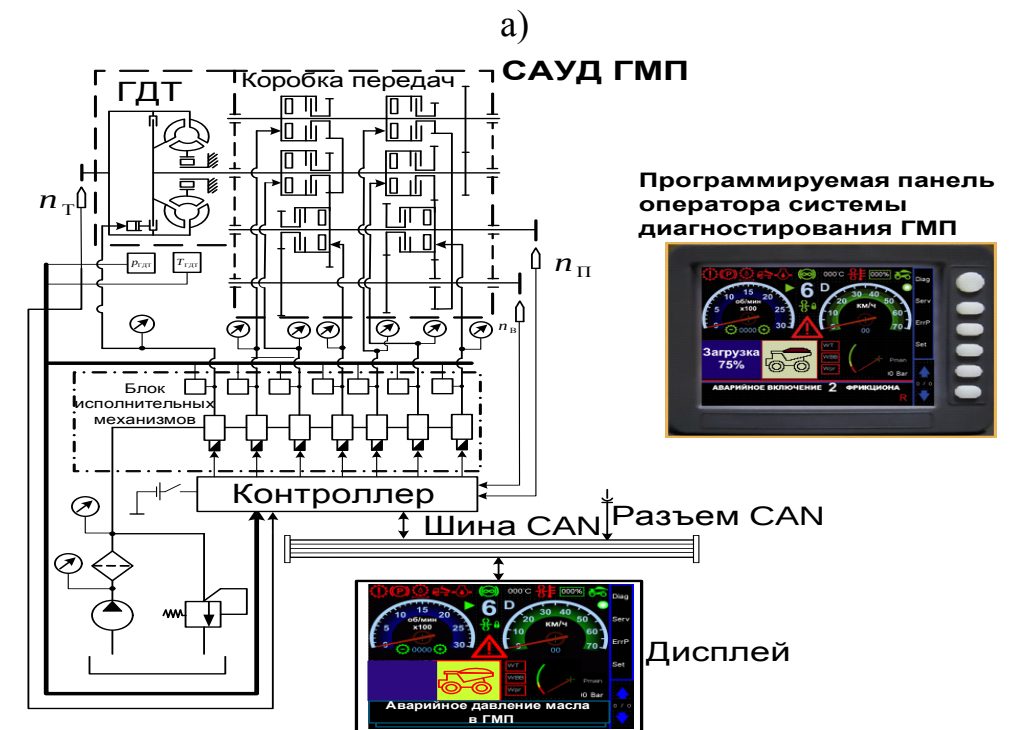




Рис. 3. Структура ИСУД и экспертной системы для определения технического состояния гидромеханической передачи карьерного самосвала: *а* – схема ИСУД ГМП автосамосвала; *б* – исходное состояние экспертной системы; *в, г* – диалоговые окна экспертной системы в случае отклика на нормальное (*в*) и опасное (*г*) состояние

На кафедре «Автомобили» Белорусско-Российского университета разработаны группы диагностических и контролируемых параметров ИСУД гидромеханической передачи (ГМП) карьерного самосвала БелАЗ (рис. 3). Основные диагностические параметры, такие как частота вращения вала двигателя, турбинного вала гидротрансформатора, входного и выходного вала коробки передач; положение педали акселератора; положение педали тормоза; скорость автомобиля; степень загрузки; давление в подвеске и другие, описываются функциями принадлежности нечеткой логики [4].

Варианты построения экспертных систем ИСУД и реализуемые в них методы могут быть различными. На рис. 3, *б* показан пример созданной экспертной системы для диагностирования гидромеханической передачи мобильной машины. Для вывода оператору сообщений экспертной системы могут создаваться специальные диалоговые окна (рис. 3, *в, г*).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарасик, В. П.** Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : УП «Технопринт», 2004. – 512 с.
2. **Тарасик, В. П.** Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с.
3. **Рынкевич, С. А.** Новые технологии и проблемы науки на транспорте / С. А. Рынкевич. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 337 с.
4. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н.Н. Горбатенко [и др.] ; под общ. ред. В. П. Тарасика. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с.

УДК 621.9

ПРИМЕНЕНИЕМ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Д. И. ЯКУБОВИЧ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

На сегодняшний день для борьбы со всевозможными видами износа в промышленности Республики Беларусь применяется большое количество разнообразных наплавочных материалов. Основными производителями которых являются фирмы Bohler, Esab, LincolnElectric, Спецэлектрод и др. Наиболее распространенными системами легирования на основе железа, являются системы Cr-Mn; Cr-B; Cr-Ni; Cr-W-V.

Анализируя с точки зрения материальных затрат порошковые материалы вводимые в покрытие электродов для ручной дуговой сварки, можно отметить, что все многообразие используемых систем легирования сплавов на железной основе сводится к применению двух основных компонентов Cr и Mn. Причем Cr является основным легирующим компонентом, формирующим свойства сплава. Обычно в хромистые сплавы дополнительно вводят один или два легирующих элемента в небольшом количестве, которые существенно влияют на свойства наплавленного металла.

На ряду со стандартными порошками все более широкое применение находят технологии создания новых композиционных порошковых материалов методом механического легирования, при котором структурообразование происходит при температурах не превышающие линии солидуса, когда материал находится в твердой фазе.

Теория сварочных процессов достаточно подробно описывает происходящие процессы плавления и кристаллизации компонентов входящих в состав наплавочных материалов, а также получаемые свойства наплавленного металла. Однако практическое применение в сварочных технологиях порошков полученных при помощи механического легирования мало изученный процесс.

При проведении исследований по определению влияния механически легированных порошковых материалов на механические свойства наплавленного металла проводилось на примере ручной дуговой сварки покрытыми электродами. Для проведения экспериментальной части исследований изготавливались электроды на основе стандартных МР-3 по ГОСТ 9466-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки». Классификация и общие технические условия. В состав покрытия дополнительно вводились порошки железа и ферросплавов.

О. В. ШУМОВ

Учреждение образования

«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Новополоцк, Беларусь

При изготовлении сборно-разборных конструкций – мачт, вышек и т.п. – широко используются высокопрочные алюминиевые сплавы, за счет чего обеспечивается снижение массы конструкций и удешевление фундаментов, облегчаются операции по их установке и демонтажу. Данные сплавы обладают большей прочностью по сравнению с дюралюминами, но не так пластичны и менее стойки к коррозии под напряжением.

Опыт эксплуатации показывает, что длительный низкотемпературный нагрев приводит к ухудшению свойств конструкций из алюминиевых сплавов, в частности к снижению коррозионной стойкости сварных соединений. Уменьшить влияние низкотемпературного нагрева на эксплуатационные свойства сварных соединений из алюминиевых сплавов возможно за счет снижения неоднородности структуры и химического состава сплавов в результате насыщения их легирующими элементами, уменьшающими диффузионную подвижность элементов алюминиевых сплавов.

Для повышения коррозионной стойкости сварных соединений из алюминиевых сплавов были использованы легированная сварочная проволока и соответствующая термическая обработка сварных соединений. Было исследовано влияние легирования сварочной проволоки комплексом легирующих элементов и режимов термообработки на коррозионную стойкость сварных соединений из высокопрочного алюминиевого сплава. Легирование сварочной проволоки осуществлялось нанесением электрохимического покрытия системы «хром-марганец-цинк». После сварки соединения подвергались двухступенчатому старению. Для определения оптимальных с точки зрения обеспечения высокой коррозионной стойкости режимов термической обработки сварных соединений были построены диаграммы старения сварных соединений из высокопрочного алюминиевого сплава.

Испытания сварных соединений деталей из высокопрочного алюминиевого сплава показали увеличение коррозионной стойкости в среднем на 15 % при легировании сварочной проволоки по сравнению со сварными соединениями, сваренными проволокой из того же сплава без дополнительного легирования.

Ю. Г. АЛЕКСЕЕВ, В. С. НИСС, А. А. КОСОБУЦКИЙ
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК БНТУ «ПОЛИТЕХНИК»
Минск, Беларусь

В качестве альтернативы электрохимическому полированию в промышленности в последнее время для повышения качества поверхности широко используется метод электролитно-плазменной обработки (ЭПО) поверхностей металлических изделий. ЭПО обеспечивает снижение шероховатости поверхности на 2–3 класса, до $Ra = 0,04$ мкм. Метод также применяется для очистки поверхности, удаления заусенцев, скругления острых кромок. Под действием рабочего напряжения в процессе ЭПО вокруг погруженного в электролит изделия возникает пленочное кипение и по всей обрабатываемой поверхности происходят импульсные электрические разряды.

Целью данной работы является исследование закономерностей влияния тепловых и электрических условий на устойчивость пленочного кипения, а также производительность ЭПО.

Для определения влияния тепловых условий на устойчивость пленочного кипения была предложена модель обработки детали при постепенном погружении ее в электролит. Момент срыва фиксировался по переходу процесса от стабильных значений напряжения и тока к броску тока и падению напряжения в 10 и более раз. Моделировались следующие условия обработки:

- напряжение питания – 320 В;
- электролит - водный раствор сульфата аммония;
- концентрация электролита – 4 %;
- мощность источника питания – 96 кВт;
- диапазон рабочих температур электролита – 20–90 °С.

В результате моделирования с последующими экспериментальными исследованиями установлено, что в стабильном процессе ЭПО с увеличением температуры электролита с 30 до 90 °С максимально возможная площадь обработки увеличивается в 3,7–4 раза.

Исследования влияния тепловых условий на производительность обработки (скорость съема металла) проводились в диапазоне температур электролита 42–99 °С. Обработка осуществлялась при глубине погружения 125 мм и рабочем напряжении 300 В. Продолжительность обработки образцов составляла 10 мин.

По результатам измерения диаметра образцов после обработки расчи-

таны значения средней скорости размерного съема. В результате экспериментальных исследований установлено, что при увеличении температуры электролита с 42 до 99 °С средняя скорость съема металла снижается в 6 раз.

Параметры электрической цепи источник питания – нагрузка, в частности, емкость фильтрующего конденсатора и индуктивность обмоток трансформатора питания, оказывают значительное влияние на устойчивость пленочного кипения и производительность электролитно-плазменной обработки. Для определения физических основ процесса электрического разряда исследовалось влияние разрядной емкости на физику процесса. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты экспериментальных исследований

Номер образца	Площадь обработки, см ²	Время обработки, с	Емкость, мкФ	Индуктивность, мГн	Удельный съем, г/см ² с
1	10,5	180	0	0,52	0,0318
2	10,5	180	0	1,04	0,0342
3	10,5	48	0	1,56	0,0359
4	10,5	120	80	0,52	0,0343
5	10,5	180	80	1,04	0,0327
6	10,5	180	80	1,56	0,0304
7	10,5	180	160	0,52	0,0334
8	10,5	180	160	1,04	0,0319
9	10,5	190	160	1,56	0,0306
10	10,5	180	0	0	0,0326

Анализ полученных результатов показывает, что увеличение индуктивности источника питания без подключения емкости приводит к повышению съема металла на 10,2 % при значении индуктивности 1,56 мГн (образец № 3). Однако повышенный съем был вызван периодическими срывами парогазовой оболочки, а также бросками тока при этом до 80-100 А. При этом электролитно-плазменный процесс замещался электрохимическим растворением и исчезновением эффекта полировки. Аналогичная картина наблюдается и при индуктивности 1,04 мГн (образец № 3), но в меньшем масштабе. Сравнение результатов обработки детали без дополнительных индуктивностей и емкостей (образец № 10), по сравнению с другими образцами показывает отсутствие значительной разницы по удельному съему.

УДК 621.791
 КОНСТРУКЦИЯ ГИБРИДНОГО НЕРАЗЪЕМНОГО
 ТАВРОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Е. Н. ЦУМАРЕВ, Е. В. ИГНАТОВА, Ю. А. ЦУМАРЕВ, *В. К. ШЕЛЕГ
 Государственное учреждение высшего профессионального образования
 «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 *БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
 Могилев, Минск, Беларусь

При производстве сварных конструкций широко применяются сварные соединения таврового типа. Характерной особенностью напряженного состояния таких соединений является значительная концентрация напряжений, особенно при отсутствии полного проплавления вертикального листа. Поэтому такие соединения обладают низкой нагрузочной способностью. Так конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния, проведенный авторами с привлечением программного комплекса «ANSYS», показал, что максимальная концентрация напряжений имеет место в корневой части каждого из двух угловых швов и характеризуется теоретическим коэффициентом концентрации, равным 5,0. Столь значительная концентрация эксплуатационных напряжений снижает несущую способность соединения, особенно при воздействии динамических нагрузок.

Для обеспечения более равномерного распределения рабочих напряжений в тавровом сварном соединении без полного проплавления вертикального листа авторами предлагается использовать дополнительный паяный шов, размещенный между торцом вертикального листа и горизонтальной пластиной. Таким образом, полученное неразъемное паяно-сварное (гибридное) соединение состоит из соединяемых пластинчатых деталей, двух угловых сварных швов и единственного паяного шва. Проведенный сравнительный конечно-элементный анализ подтвердил высокую эффективность данного технического решения. Уровень максимальных напряжений снизился с 49,9 МПа до 22,5 МПа, т. е., более чем в 2 раза. При этом максимальная концентрация напряжений имела место уже не в корневой части сварных швов, а в зоне перехода от вертикальной пластины к наружной поверхности каждого равнокатетного углового шва.

После проведения ряда исследований было предложено техническое решение остановки трещины в разнородных сварных соединениях. Задачей технического решения является получение сварных соединений, применяемых при сварке трубопроводов, обеспечивающих не только технологическую прочность (сварное соединение без трещин), но и работоспособность соединений при их длительной эксплуатации.

Указанная задача достигается тем, что в сварных соединениях удаляют дефектную зону с образованием специальной формы разделки кромки. Разделку кромок выполняют с противоположной стороны трещины на глубину до ее распространения под углом в корне разделки больше 180° , причем вершину разделки располагают в месте выхода трещины. Кромки разделки, со стороны основного металла, наплавляют сварочным материалом легированном элементами-графитизаторами, например, никелем. Толщина наплавки не менее 3 мм. Разделку заполняют сварочным присадочным материалом, имеющим энергию зарождения и распространения трещины большую, чем энергия развития трещины в основном металле. Вероятность зарождения и интенсивность развития трещины на линии сплавления разнородного соединения можно уменьшить за счет создания на линии сплавления сжимающих рабочих напряжений. Достигается это применением сварочных материалов имеющих коэффициент температурного расширения меньший, чем у основного металла, например, сварочный материал системы легирования Cr-Ni-Mo-Nb. Таковым материалом являются электроды ОК 92.45 фирмы ESAB. Химический состав электродов приведен в табл. 1.

Табл. 1. Химический состав электродов ОК 92.45, %

Марка	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Nb	Fe
ОК 92.45	<0,03	<0,5	0,5	64,0	21,5	9,5	3,3	<5,0

Наплавленный металл такого химического состава обладает высокой пластичностью, энергией зарождения и развития трещин, что не приведет разнородное сварное соединение в хрупкое состояние.

Выполненные исследования и предложенное техническое решение позволили разработать технологию сварки для ремонта разнородных сварных соединений, которая дает возможность выполнять работы на действующих технологических трубопроводах.

Предлагаемое техническое решение может быть использовано для остановки трещины в металлических конструкциях, например, различных сосудах, толстостенных изделиях и для остановки распространения трещин в трубопроводах различного назначения, а также обеспечивает безопасность эксплуатации стальных конструкций и повышает их работоспособность при длительной эксплуатации.

УДК 621.83

ПРИЧИНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ

Д. С. ГАЛЮЖИН, С. Д. ГАЛЮЖИН

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

За последние 30 лет человечество сделало значительный скачок в развитии науки и техники, что, естественно, полностью преобразовало весь спектр технологического оборудования, колесную и гусеничную технику, подъемные и транспортные машины и оборудование, оборудование для газопламенной обработки материалов и т.д. В большинстве случаев развитие техники идет по пути увеличения производительности, что связано с применением новых технологий, материалов, значительным увеличением скоростей, новых конструкторских и технологических решений. Действующие нормы и правила, государственные стандарты уже морально устарели или значительно запаздывают и не в полной мере соответствуют безопасной эксплуатации нового технологического оборудования. Интеллектуальный и профессиональный уровень работников, как среди рабочих, так и среди инженеров, к сожалению, падает. В стране не налажена подготовка высококвалифицированных специалистов по работе на современном технологическом оборудовании и по его проектированию, проводимый уровень переподготовки опаздывает на десятилетия. Покупка нового оборудования зачастую не сопровождается обучением персонала. Это, как правило, приводит к некорректной эксплуатации оборудования, выходу используемых технологических параметров за паспортные, применение оборудования не по назначению и многое другое.

В Республике Беларусь в последнее время наметилась тенденция выпускать стандарты типа СТБ-ИСО, однако по сути не являются чем-то своим, так как зачастую представляют только полный перевод конкретного стандарта ИСО, причем перевод порой является неточным, что приводит к противоречиям между стандартами. Также имеют место проблемы со стандартами, в которых требуется привести в соответствие с ними оборудование, выпущенное до определенного года. Однако, как поступить с оборудованием, выпущенным ранее, не оговаривается.

Весь этот комплекс проблем, к сожалению, приводит к возникновению несчастных случаев на предприятиях, техническую причину которых порой установить достаточно сложно, так как специалисты по охране труда все же являются достаточно узкими специалистами и не могут владеть широким спектром технических знаний в разных областях техники. В этом случае проводится независимая техническая экспертиза. На базе ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» к настоящему времени создана лаборатория «Технический анализ и диагностика» в составе отдела инноваций и внешне-экономической деятельности научно-исследовательской части. Созданию лаборатории предшествовали проведенные за последние десять лет более 50 хозяйственных работ по заказу промышленных предприятий Республики Беларусь, Следственного Комитета и Инспекции труда Могилевской области. В процессе проведения экспертизы в ней участвуют самые квалифицированные специалисты, что позволяет давать заключения по проведенной экспертизе на самом высоком техническом уровне.

УДК 621.787

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРОВ ШАРОВ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСКАТНИКА НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТВЕРСТИЙ

Н. С. ГАРЛАЧОВ, Е. Н. АНТОНОВА

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Качество поверхностей цилиндрических отверстий после пневмоцентробежной обработки шариковым раскатником зависит от ряда факторов. Одним из них является диаметр деформирующих шаров инструмента. Под воздействием сжатого воздуха шары ударяют по обрабатываемой поверхности с силой, зависящей от их массы и скорости движения.

Исследования показали, что при постоянном давлении воздуха в сети, с увеличением диаметра деформирующих шаров уменьшается их частота вращения. При этом увеличивается площадь контакта шаров с обрабатываемой поверхностью, а также крутящий момент. Удельное же давление шаров на поверхность уменьшается. Это снижает эффект деформирования поверхностного слоя обрабатываемого изделия. Поэтому для интенсификации процесса обработки необходимо увеличивать диаметр сопел раскатника, их количество, а также давление воздуха в сети, что ведет к увеличению его расхода.

При уменьшении диаметра шаров увеличивается их количество в конструкции инструмента, а также окружная скорость, имеющая преимущественное влияние в данном процессе. Уменьшается площадь контакта шаров с обрабатываемой поверхностью, соответственно, увеличивается контактное давление, способствующее более интенсивному деформированию поверхностного слоя заготовки.

После чернового хонингования гильз цилиндров диаметром 120 мм была проведена пневмоцентробежная обработка однорядным шариковым раскатником, имеющим шары диаметром 16 мм. Процесс осуществлялся при давлении 0,2 МПа. Профилограмма шероховатости поверхности показала, что смяты были лишь вершины неровностей поверхности с образованием площадок, аналогично плосковершинному хонингованию.

При обработке гильз цилиндров диаметром 110 мм двухрядным раскатником с шарами диаметром 8 мм в первом ряду и 10 мм во втором ряду получен более сглаженный профиль поверхности, исключаящий большое количество концентраторов напряжений в поверхностном слое, позволяющий повысить износостойкость изделия и улучшить ряд других эксплуатационных характеристик.

УДК 621.791.763

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Е. А. ФЕТИСОВА, А. Г. ЛУПАЧЕВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Как известно, оборудование и трубопроводы нефтяной промышленности эксплуатируются в крайне тяжелых условиях и фактический срок их службы достигает и даже превышает нормативный срок эксплуатации. После истечения предельного нормативного срока эксплуатации следует замена наиболее ответственного оборудования и технологических трубопроводов. Однако в силу различных причин это не всегда удается произвести.

Поэтому одной из главных задач нефтеперерабатывающей промышленности является повышение срока службы действующих технологических трубопроводов при повышенной интенсивности процессов переработки нефти за счет сокращения сроков восстановительных процессов после их выхода из строя.

Развитие нефтеперерабатывающей промышленности в направлении снижения металлоемкости конструкций, повышения работоспособности и долговечности приводит к необходимости широкого применения сталей разных структурных классов.

Однако сварке разнородных сталей присущи специфические трудности. Одна из них вызвана возможностью образования холодных трещин, возникающих по механизму хладноломкости или замедленного разрушения по линии сплавления разнородных сварных соединений.

В работе исследовали фрагмент технологического трубопровода, транспортирующего водород в смеси с парами бензина при парциальном давлении водорода 3,2 МПа и температуре 530 °С, который 25 лет эксплуатируется на Мозырском НПЗ. Причиной выхода из строя данного трубопровода явилась трещина, образовавшаяся в корне шва и распространившаяся по линии сплавления разнородного сварного соединения. Трубопровод изготовлен из перлитной стали 15Х5М, сварные соединения выполнены электродами АНЖР-2.

Металлографическими исследованиями установлено, что на линии сплавления со стороны аустенитного шва присутствует значительное количество карбидов хрома, что способствует охрупчиванию зоны сплавления, а со стороны перлитной стали выявлена обезуглероженная прослойка, которая обладает пониженной твердостью. Это и явилось причиной зарождения и развития трещины в корне шва исследуемого сварного соединения.

УДК 621.791.3
ВЛИЯНИЕ АКТИВИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ФЛЮСА
ДЛЯ ПАЙКИ МЕДИ

И. В. ТАРАСЕНКО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В производстве паяных изделий из меди и ее сплавов объем пайки легкоплавкими припоями достаточно велик. В приборостроении, ракето- и авиастроении часто для пайки медных соединений используют чистую канифоль. Это обеспечивает повышение коррозионной стойкости соединений. Однако невысокая активность канифоли не позволяет получать высокопрочные соединения. Поэтому особое внимание уделяют применению неорганических флюсов, содержащих следующие активаторы флюсообразования: хлориды цинка, хлориды аммония, гидразин солянокислый, соляную кислоту и т. д.

Для механизированной пайки меди и ее сплавов чаще всего используют водные растворы флюсов, так как они хорошо затекают в капиллярные зазоры и дешевле спиртовых растворов.

Была предпринята попытка определения наиболее активной составляющей неорганических флюсов.

Для проведения исследований использовались образцы из меди М1, припой ПОС61 и в качестве флюса – водные растворы хлористого цинка, активированные хлоридом цинка, хлоридом аммония, гидразином солянокислым и соляной кислотой. На подготовленные образцы размером 40х40х1,3 укладывали 0,6 граммов припоя, на который наносили несколько капель водного раствора изучаемого флюса. После чего образцы помещали в печь до расплавления припоя.

Одной из наиболее информативных характеристик активности флюса является площадь растекания припоя с использованием данного флюса. Для определения площади растекания припоя использовалась предложенная методика, отличающаяся простотой реализации. Не требующая применения сложного оборудования и обеспечивающая требуемую точность.

Анализ результатов исследований показал, что наиболее универсальным химическим соединением является хлористый аммоний. Он значительно улучшает растекание припоя ПОС61 по меди. Рекомендуемое количество хлористого аммония – 3 %. При дальнейшем увеличении содержания хлористого аммония в водном растворе хлористого цинка увеличение площади растекания припоя увеличивается незначительно.

УДК 681.2.084
ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ШЛИЦЕВЫХ ВАЛОВ

Е. Ю. ДЕМИДЕНКО, А. А. ЖОЛОБОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилёв, Беларусь

На окончательной стадии изготовления шлицевых валов важной операцией технологического процесса является контроль их параметров.

Контроль формы конкретного поперечного сечения шлица можно осуществить при помощи профильного калибра, а его изменение в продольном сечении и положение по отношению к оси вала и другим шлицам можно проконтролировать только при помощи специальных устройств. Если учесть, что форма поперечного сечения шлицев бывает прямобочная, треугольная и эвольвентная с симметричным взаимным расположением относительно друг друга и относительно оси, то и контрольное приспособление должно обладать возможностями для контроля всех параметров.

Задача по расширению функциональных возможностей устройств для контроля шлицевых валов решается благодаря тому, что приспособления содержат основание, базирующие элементы, устройство фиксации, направляющую и измерительную систему. Устройство фиксации снабжено набором сменных профильных опор и поворотным диском, а измерительная система хоботом с возможностью продольного перемещения и микрометрическим винтом, которым имеют возможность настраивать плечи измерительных коромысел.

Сущность приспособления поясняется рис. 1 и 2.

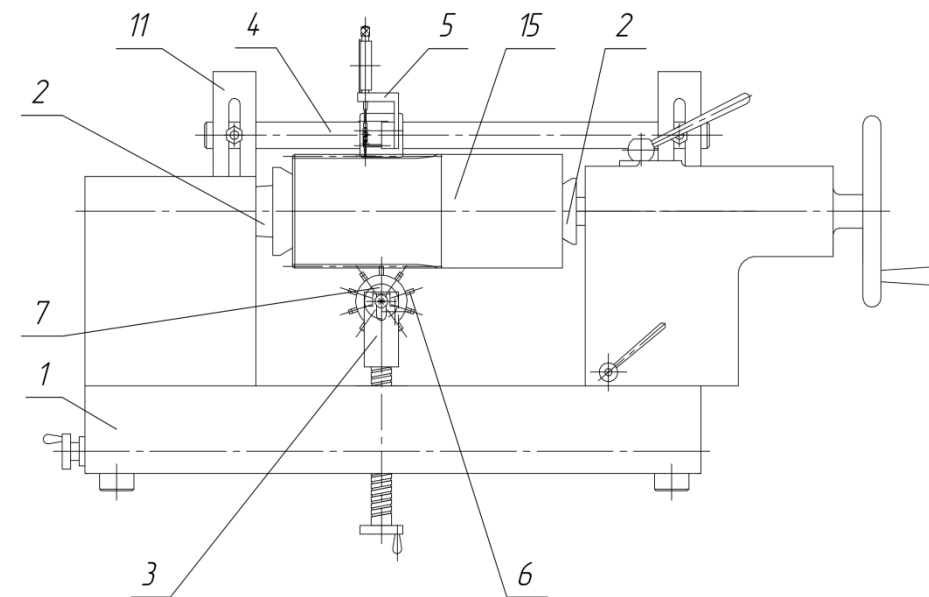


Рис. 1. Общий вид приспособления (вид фронтальный)

операционных усилителей, позволяющая регулировать величину управляющих импульсов напряжения в пределах 0...10 В при токе потребления не выше 15 мА. Запитывание цепи осуществляется внешним двухполярным источником питания ± 12 В. Вторая цепь – усиления цифровых сигналов на базе двух транзисторов и двух электромагнитных реле. Замыкающие контакты реле управляют включением/выключением сварочного тока. Запитывание цепи осуществляется внешним однополярным источником питания +5 В.

Цепь регулирования аналоговых сигналов предназначена для усиления и регулирования сигналов напряжения в диапазоне 0...10 В, воздействующих на позиции "НАГРЕВ 1" и "НАГРЕВ 2" РЦС (двухимпульсный режим сварки). Операционные усилители позволяют осуществлять раздельную балансировку переменным резистором 20 кОм и регулировку сигналов до требуемого уровня переменным резистором 100 кОм в обратной связи, изменяющим коэффициент усиления сигнала. Таким способом регулируется амплитуда и плавность нарастания первого и второго импульсов сварочного тока.

Цепь регулирования цифровых сигналов предназначена для усиления цифровых сигналов напряжения, воздействующих на входы РЦС "ЗАДЕРЖКА ЦИКЛА НА ПОЗИЦИИ "СЖАТИЕ" ("ЗЦНПС") и "ОГРАНИЧЕНИЕ СВАРОЧНОГО ТОКА" ("ОСТ"). При этом первый цифровой сигнал напряжения включением контакта электромагнитного реле запускает команду "ВКЛЮЧЕНИЕ СВАРОЧНОГО ТОКА", а второй цифровой сигнал – команду "ВЫКЛЮЧЕНИЕ СВАРОЧНОГО ТОКА" в определенные моменты времени, соответствующие условиям достижения энергией зоны сварки нормированного значения, независимо от начальных настроек регулятора.

Действия УС как части системы автоматического управления процессом:

- при нажатии педали контактной машины срабатывает позиция "ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СЖАТИЕ" на РЦС, сварочный ток при этом не включается и ожидает запуска имитационной модели регулирования процесса в среде LVW (расчет и сравнение значений энергии);

- при запуске имитационной модели в LVW включается первое электромагнитное реле УС и замыкает свой контакт, подключенный ко входу РЦС "ЗЦНПС", что приводит ко включению сварочного тока;

- после отработки имитационной модели процесса среда LVW подает сигнал на выработку импульса постоянного напряжения в виде цифрового сигнала, данный импульс поступает на УС, второе электромагнитное реле УС включает вход "ОСТ", выключающий сварочный ток, после этого РЦС включает позицию "ПРОКОВКА", после прохождения которой оба реле УС согласно циклу выключаются и размыкают цепь между УС и РЦС, т. е. система возвращается в исходное состояние до следующего цикла сварки. Быстродействие системы определяется временем выключения тиристоров после снятия с них импульсов управления в текущем полупериоде напряжения и составляет не более 0,01 с.

УДК 621.787

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО НАКАТЫВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

А. М. ДОВГАЛЕВ, С. А. СУХОЦКИЙ, Д. М. СВИРЕПА

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

В работе экспериментально определено влияние режимов процесса магнитно-динамического накатывания (МДН) на шероховатость упрочненной поверхности деталей из стали 40Х (30–35 HRC). С целью оптимизации режимов упрочняющей обработки для проведения эксперимента был выбран центральный композиционный рототабельный план второго порядка для трех факторов, состоящий из плана полного факторного эксперимента типа 2^3 , шести опытов в «звездных точках» и шести опытов в центре плана. Факторами в эксперименте выбраны: частота вращения инструмента n (660–1340 мин⁻¹); подача S (30–370 мм/мин) и диаметр деформирующих шаров d (7–17 мм), как оказывающие наибольшее влияние на шероховатость упрочненной поверхности.

Отделочно-упрочняющую обработку заготовок производили на фрезерном станке с ЧПУ мод. FSS-400 CNC. В качестве упрочняющего инструмента использовался двухрядный магнитно-динамический накатник с магнитным приводом деформирующих шаров. Магнитная система инструмента включала кольцевой постоянный магнит осевой намагниченности с размерами ($D \times d \times h$) 71x27x14 мм и магнитопровод в виде зубчатого диска. Материал магнита SmCo_5 . Величина магнитной индукции в зоне зубьев магнитопровода составляла – 0,6 Тл. Материал магнитопровода – сталь 3. Материал приводных и деформирующих шаров – ШХ15 (62-65 HRC). Диаметр приводных шаров составлял 20 мм. Степень точности приводных и деформирующих шаров – 100 (ГОСТ 3722-81).

Размеры упрочняемых заготовок: толщина – 15 мм; ширина – 190 мм; длина – 300 мм. Поверхность заготовок предварительно обрабатывали методом торцового фрезерования на станке модели ВФ 130. Материал режущей части фрезы – Т15К6. Режимы фрезерования: $V = 175$ м/мин, $S = 200$ мм/мин, $t = 0,5$ мм. Шероховатость поверхности заготовок после фрезерования $R_a = 4,5\text{--}4,1$ мкм.

Шероховатость упрочненной поверхности заготовок определяли на профилометре модели 296. За критерий шероховатости принимали высоту микронеровностей R_a , которая оценивалась по пяти измерениям упрочненного участка.

По результатам опытов были получены коэффициенты уравнения регрессии.

А. М. ДОВГАЛЕВ, Н. В. ТУЛУЕВСКИЙ, Л. В. ЖОЛОВА

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Перспективными направлениями создания поверхностей трения с заданными эксплуатационными свойствами являются разработка и усовершенствование комбинированных методов модификации поверхностного слоя детали с одновременным формированием антифрикционного покрытия. К числу таких методов относятся:

- поверхностное пластическое деформирование, совмещенное с нанесением покрытия гибким (проволочным) инструментом;
- совмещенные процессы вибрационной обработки и оксидирования деталей из алюминиевых сплавов;
- финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО);
- способ совмещенного гальвано-деформирующего упрочнения;
- комбинированная обработка поверхностным пластическим деформированием и микродуговым оксидированием;
- упрочняющая обработка детали роликом в спецжидкости с одновременным формированием антифрикционного покрытия.

Для повышения производительности получения антифрикционного покрытия предложено осуществлять упрочняющую обработку поверхности детали динамическими методами поверхностного пластического деформирования в специальной технологической среде с дополнительным воздействием магнитного поля инструмента на деталь, деформирующие шары и технологическую среду. В качестве технологической среды рекомендуется использовать соединения меди и вещества, восстанавливающие медь и активизирующие процесс растворения химически стойких окислов металлов. В результате комбинированного магнитно-химико-механического взаимодействия компонентов технологической среды, деформирующих шаров и обрабатываемой поверхности образуется покрытие, имеющее адгезионную или металлическую связь с материалом детали.

Для осуществления совмещенного метода формирования антифрикционных покрытий разработаны конструкции инструментов с магнитным приводом деформирующих шаров, обеспечивающих динамическое воздействие на обрабатываемую поверхность и технологическую среду, а также подачу или удержание технологической среды в зоне обработки.

А. Ю. ПОЛЯКОВ, С. М. ФУРМАНОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Одним из основных требований, предъявляемых к разрабатываемым системам автоматического управления параметрами режима контактной точечной и рельефной сварки, является обеспечение стабилизации процесса формирования литой зоны сварного соединения. Это осуществляется путем воздействия на величину, форму импульса сварочного тока и длительность его протекания независимо от первоначальных настроек регулятора цикла сварки (РЦС) в результате оптимизации полного тепловложения в зону сварки без остановки технологического процесса.

Для осуществления внешнего управления РЦС необходимо:

- зарегистрировать непосредственно в процессе сварки мгновенные синусоидальные сигналы сварочного тока и напряжения межэлектродной зоны (с помощью датчиков тока и напряжения);
- преобразовать "синусоиды" в кривые их действующих значений (имитационная модель программной среды LABVIEW (LVW));
- математически обработать полученные кривые программными операторами (деления, умножения, интегрирования) с целью расчета полной энергии, выделившейся в межэлектродной зоне (ЭВМ с LVW);
- проверить условие достижения фактической полной энергии зоны сварки нормированного значения, а затем именно в этот момент времени сформировать управляющие импульсы постоянного напряжения определенной величины (формы) (ЭВМ с LVW);
- подать сформированные импульсы напряжения на аналоговые выходы устройства сбора данных NATIONAL INSTRUMENTS (NI);
- направить управляющие импульсы с аналоговых выходов NI на аналоговые входы РЦС.

Для соединения аналоговых (цифровых) выходов устройства NI с аналоговыми входами РЦС необходимо специальное устройство, которое обеспечит:

- отдельную регулировку амплитуды управляющих импульсов напряжения;
- регулировку быстродействия передачи управляющих импульсов с NI на РЦС;
- возврат системы автоматического регулирования в исходное состояние по окончании каждого цикла сварки.

Было разработано устройство согласования (УС), состоящее из двух цепей. Первая цепь – регулирования аналоговых сигналов на базе двух

хрупкого разрушения; снижение статической и циклической трещиностойкости; нецелесообразность дальнейшей эксплуатации трубопровода в связи с увеличением затрат на ремонты.

Химический анализ и металлографические исследования образцов из поврежденных участков труб показали причины и механизм разрушения. Образцы из поврежденных участков трубы, вырезанной с теплотрассы, имели очаги сильного коррозионного повреждения сварного шва, а также наружной и внутренней поверхностей стенок трубы. Исследования коррозионного повреждения показали, что рядом с трубопроводом находится люк для слива дождевой воды. В зимний период пешеходный тротуар для предотвращения наледи посыпали солью, которая растворялась в талой воде и при ее утилизации через сливной люк попадала на трубу теплотрассы, что приводило к резкому увеличению интенсивности коррозионных процессов в сварных соединениях и на поверхности трубы.

При анализе образцов из другого поврежденного коррозией участка трубопровода установлено, что рядом с трубопроводом проложен высоковольтный кабель, что способствовало интенсификации коррозионных процессов, которые стали причиной повреждения сварных швов и металла труб. В некоторых местах труб утонение стенки произошло с 9 до 3 мм, причем в отдельных местах выявлены сквозные разрушения на всю толщину металла.

Воздействие растворенной в воде соли на металл трубопровода можно существенно уменьшить, разместив над трубой лист металла, который в первую очередь воспримет агрессивное воздействие соли.

Накопление в стальных трубах структурных изменений и повреждений механической, физической и коррозионной природы приводит к снижению пластичности, термоциклической долговечности и сопротивлению хрупкому разрушению материала труб. Остаточный технический ресурс трубопроводов теплотрасс, находящихся в условиях интенсивного коррозионного воздействия, не гарантирует надежность и не обеспечивает нормативную долговечность теплотрасс, поэтому производят ремонт поврежденных участков трубопроводов. Поврежденные участки труб в виде катушек вырезают газовой сваркой и заменяют новыми. Сварку кольцевых швов выполняют по специальной технологии.

Участки труб, которые подвергаются интенсивному коррозионному воздействию, необходимо покрывать специальными цинксодержащими составами для обеспечения анодной защиты металла. Последующий ремонт трубопроводов с противокоррозионными покрытиями следует производить своевременно, что позволит восстановить поврежденное или разрушенное покрытие и продлить срок эксплуатации теплотрассы.

УДК 621.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНЕТАРНОГО РОЛИКОВОГО РЕДУКТОРА С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

А. В. КАПИТОНОВ, Д. Н. КАЛЕЕВ, В. П. ЛЫСОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Планетарные малогабаритные передачи с телами качения шариками и роликами являются одними из наиболее перспективных передач, известных в настоящее время. Современная промышленность нуждается в малогабаритных планетарных передачах, имеющих большие передаточные числа. Передачи у которых сателлитами являются ролики имеют большую нагрузочную способность, чем передачи с сателлитами шариками. Роликовые передачи используются в силовых приводах с повторно-кратковременным режимом работы. Обладая рядом достоинств планетарные роликовые передачи имеют такие недостатки как невысокий КПД, невысокая нагрузочная способность вследствие малого количества роликов, находящихся одновременно в зацеплении, недостаточно высокая надежность. Для решения задач повышающих технический уровень данных передач необходимо совершенствовать их конструкцию и повышать точность изготовления деталей и точность сборки.

В планетарном роликовом редукторе сателлиты перемещаются по однопериодной и многопериодной кривым, замкнутым на плоскости. Сателлиты связаны с водилом, выполненным в виде диска с радиальными прорезями. Водило жестко связано с ведомым валом. Сателлиты-ролики могут быть нагружены консольно и симметрично. При симметричном нагружении роликов неподвижным звеном передачи являются симметрично расположенные детали с многопериодными дорожками, которые могут иметь форму дисков. Такое нагружение является предпочтительным, так как при этом уменьшаются перекос роликов и их заклинивание, нагрузки на каждый диск и износ дисков-сепараторов и дисков с многопериодными дорожками.

Для повышения технического уровня планетарных роликовых передач предложено изготовление цельного ведущего звена, а не сборного из двух дисков, что позволит сделать конструкцию редуктора более технологичной. Предложено изменить конструкцию роликов и установить на них втулки, что позволит избежать установку подшипников, которые снижают нагрузочную способность передачи. Также целесообразно использование сборного диска с многопериодной дорожкой, что позволит регулировать зазоры в зацеплении и повысить ее кинематическую точность.

Предложенные изменения элементов конструкции планетарного роликового редуктора позволят сделать его более технологичным и повысить его эксплуатационные характеристики.

УДК 621.9

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗМЕРНЫХ
ЦЕПЕЙ ЗВЕНЬЕВ ПЛАНЕТАРНОГО ЭКСЦЕНТРИКОВОГО
РЕДУКТОРА

А. В. КАПИТОНОВ, С. Г. ЧЕРНЯКОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Объектом исследования является планетарный эксцентриковый редуктор с модифицированным профилем зубьев сателлита. Данный тип редукторов имеет ряд существенных преимуществ перед известными и широко используемыми конструкциями планетарных зубчатых редукторов. При одном и том же передаточном отношении габаритные размеры планетарного эксцентрикового редуктора будут значительно меньше габаритных размеров соответствующего планетарного зубчатого редуктора. Планетарные эксцентриковые редукторы имеют высокую кинематическую точность. Они обладают повышенной нагрузочной способностью вследствие наличия многопарного зацепления сателлита с центральным колесом внутреннего зацепления.

Несмотря на преимущества эти редукторы в настоящее время не нашли широкого распространения, так как мало исследована их точность и технология изготовления. Поэтому одной из основных задач является проведение исследований точности сборки редуктора и разработка методики расчета пространственных размерных цепей его звеньев.

Согласно разработанной методике точность звеньев редуктора рассматривалась в трех координатных плоскостях. Определялись погрешности каждой из деталей, входящих в одну из размерных цепей редуктора, влияющих на точность сборки, определялись их смещения и повороты вдоль и вокруг координатных осей, затем производился расчет полученных размерных цепей. Замыкающими звеньями каждой размерной цепи приняты допуски на соосность осей валов и посадочных отверстий, позиционные допуски на расположение отверстий под подшипники пальцев в сателлите и во фланце ведомого вала, а также допуски на величину бокового зазора в зубчатом зацеплении.

В результате проведенных исследований были установлены допуски и посадки на сопрягаемые поверхности. Для расчета размерных цепей использовался теоретико-вероятностный метод. Были составлены матрицы преобразования пространства, получены уравнения, характеризующие допуски на замыкающие звенья в направлении трех координатных осей.

Разработанная методика позволяет обеспечить сборку планетарных эксцентриковых редукторов с заданной точностью, установить допуски на изготовление деталей передачи.

УДК 621.791.3

РЕМОНТ УЧАСТКОВ ТЕПЛОТРАСС ПРИ КОРРОЗИОННОМ
ПОВРЕЖДЕНИИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В. Г. ЛУПАЧЁВ, М. У. АКПАНУРОМ, Н. В. МАЛАШЕНКО

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В процессе эксплуатации трубопроводов теплотрасс под действием коррозионно-активных сред и тепловых нагрузок изменяются механические, физические и химические свойства сварных соединений и металла труб, приводящие к различным повреждениям.

Проведен анализ разрушения двух поврежденных участков трубопровода теплотрассы от внешней и внутренней коррозии металла. В эксплуатации трубы были менее трех лет.

При визуально-оптическом контроле сварных соединений и металла труб обнаружены различные повреждения: трещины в сварных швах и зоне термического влияния; уменьшение толщины стенок труб; местные повреждения стенок в виде углублений, канавок и язв; трещины по границам и по телу зерна с незначительными разветвлениями; проникновение транспортируемого продукта в несплошности металла и границы зерен; деградация свойств металла; сетка трещин, распространяющихся по телу зерен; изменение размеров и формы трубы, образование овальности и гофр на трубах.

Анализ повреждения металла труб показал, что их причинами являются: общая коррозия, вызванная взаимодействием металла с агрессивной средой и транспортируемым теплоносителем; коррозия под напряжением от эксплуатационных нагрузок; адсорбционное взаимодействие металла с транспортируемым продуктом; деструктивные процессы от деформационного старения, распад феррита с выделением третичного цементита, оксидов, нитридов; усталость материала стенки трубы из-за концентрации механических и температурных напряжений у мест с геометрической или структурной неоднородностью; не выявленные дефекты сварных соединений металлургического происхождения; низкотемпературная ползучесть; режимы эксплуатации трубопроводов с предельными нагрузками.

Выявленные повреждения могут иметь негативные последствия для работоспособности теплотрасс: снижение проектных параметров работоспособности; нарушение сплошности металла труб и сварных соединений, приводящая к протечке теплоносителя; снижение пластичности металла и смещение температурного перехода в хрупкое состояние в сторону более высоких температур; аварийное разрушение труб; возрастание интенсивности отказов трубопроводов; снижение надежности трубопровода по причине развития мелких трещин до критического размера и увеличение опасности

В. П. КУЛИКОВ, А. М. БЕЛЯГОВ, С. В. БОЛОТОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В условиях Таможенного союза порядок подтверждения соответствия сварочного оборудования и материалов существенно изменился. Связано это с вступлением технических регламентов Таможенного союза ТРТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты», ТРТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования», ТРТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования», ТРТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств». Требования к продукции сварочного производства, изложенные в указанных регламентах, являются обязательными при выходе ее в обращение на рынках России, Беларуси и Казахстана.

При этом объем необходимых испытаний для подтверждения соответствия значительного возрос. Например, для сварочных масок и щитков необходимы испытания на сферическую рефракцию и астигматизм, разность призматического действия, поля зрения, время срабатывания автоматических светофильтров и другие. Всего около двадцати видов испытаний. Оборудование для проведения указанных испытаний сложное, дорогостоящее, крупногабаритное. Такая же ситуация и со сварочным оборудованием.

Вместе с тем, следует отметить, что в Республике Беларусь отсутствует испытательная база и соответствующие аккредитованные лаборатории, входящие в Реестр Таможенного союза (это необходимое условие для взаимного признания результатов испытаний). Особенно проблематична проверка мощного сварочного оборудования на электромагнитную совместимость, что требует регламент ТРТС 020/2011.

В Центре сертификации и испытаний университета осуществляются испытания сварочного оборудования и материалов. В связи с вступлением новых технических регламентов Центром проведена работа по актуализации и расширению областей аккредитации органа по сертификации сварочного оборудования и материалов и испытательной лаборатории. Проведены процедуры аккредитации Белорусским государственным центром аккредитации. Ведущие специалисты центра прошли подготовку в Белорусском государственном институте переподготовки кадров по вышеуказанным регламентам в качестве экспертов-аудиторов.

А. И. КАШПАР, В. Н. ЛАПТИНСКИЙ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

Исследуется задача об определении распределения температуры в круговой цилиндрической оболочке (стенке), имеющей достаточно большую длину, чтобы теплоотводом с торцов можно было пренебречь, при этом граничные условия не зависят от полярного угла φ и продольной координаты z (см., например, [1, с. 36]). Поле температур в стационарном случае изменяется только по радиусу r .

Рассматривается случай температурного поля в цилиндрической стенке с постоянно действующим внутренним источником теплоты, удельная мощность которого – линейная функция температуры вида $q_v = w_0(1+bT)$.

Соответствующая граничная задача для уравнения теплопроводности в цилиндрической системе координат имеет вид [2, с. 16, 29]:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \lambda(T) \frac{dT}{dr} \right) + w_0(1+bT) = 0, \quad T(r_1) = \tilde{T}_1, \quad T(r_2) = \tilde{T}_2; \quad 0 < r_1 < r_2. \quad (1)$$

В данной работе предлагается метод решения задачи (1) с помощью алгоритма:

$$Y_{k+1}(r) = \frac{\tilde{T}_2 - \tilde{T}_1}{r_2 - r_1} - \int_{r_1}^{r_2} \varphi(r, s) \left[\frac{w_0}{\lambda(T_k(s))} (1+bT_k(s)) + \frac{1}{s} Y_k(s) + \frac{\lambda'(T_k(s))}{\lambda(T_k(s))} Y_k^2(s) \right] ds, \\ T_{k+1}(r) = \tilde{T}_1 + \int_{r_1}^r Y_{k+1}(s) ds, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (2)$$

$$\text{где } T_0 = 0, Y_0 = 0, \lambda'(T) = d\lambda(T)/dT, \quad \varphi(r, s) = \begin{cases} \frac{s-r_1}{r_2-r_1}, & r_1 \leq s \leq r \leq r_2, \\ \frac{s-r_2}{r_2-r_1}, & r_1 \leq r < s \leq r_2. \end{cases}$$

Исследованы вопросы сходимости, скорости сходимости алгоритма (2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / под ред. В. К. Кошкина. – М. : Машиностроение, 1975. – 624 с.
2. Теория тепломассообмена : учебник для вузов/ С. И. Исаев [и др.] ; под ред. А. И. Леонтьева. – М. : Высшая школа, 1979. – 495 с.

М. М. КОЖЕВНИКОВ, А. В. СТАРОВОЙТОВ, Л. А. ЛОБОРЕВА
Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»
Могилев, Беларусь

Одной из важных задач при разработке роботизированных технологических комплексов является задача автоматического управления манипуляционными системами при наличии технологических ограничений. Такие задачи возникают на производствах с большим удельным весом сборочных операций, и создание легко перенастраиваемого манипуляционного оборудования на базе промышленных роботов-манипуляторов является экономически целесообразным. Актуальность этой проблемы для Республики Беларусь обусловлена необходимостью в техническом перевооружении сборочных технологических процессов с целью повышения их эффективности, что включает в себя улучшение качества сборочных конструкций, рост производительности и гибкости производства.

Большинство известных методов управления сборочными манипуляционными системами, основаны на модели его конфигурационного пространства, заданной в виде дискретного множества свободных от столкновений локаций технологического инструмента. Эти локации генерируются, как правило, случайным способом. Общим недостатком методов управления сборочными манипуляционными системами, основанными на генерации случайных конфигураций, является то, что программа управления роботом может быть найдена за конечное время лишь с определенной вероятностью, т. е. свойство «полноты» решения также обеспечивается лишь с определенной вероятностью. В ряде работ показано, что при работе сборочного манипулятора в среде с препятствиями сложной формы методы управления, основанные на детерминистических схемах дискретизации конфигурационного пространства гораздо более эффективны по сравнению с вероятностными методами, вследствие их гарантированной сходимости за конечное число итераций. Однако детерминистические методы предполагают дискретизацию конфигурационного пространства с очень высоким разрешением, чтобы обеспечить существование прямолинейных участков траекторий (связанность) между узлами сетки дискретизации. Это ведет к тому, что количество тестов столкновения растет экспоненциально с ростом размерности конфигурационного пространства. С другой стороны вероятностные алгоритмы позволяют обойти проблему размерности, но не учитывают форму препятствий, звеньев манипулятора и ограничения на ориентацию технологического

Следует обратить внимание, что поток защитного газа даже в условиях реализации его подачи традиционным способом является в некотором отношении кольцевым, что обусловлено его обтеканием токоподводящего наконечника на выходе из сопла горелки (рис. 1, а).

Для реализации кольцевого способа подачи защитного газа был изготовлен комплект втулок различного диаметра, накручивающихся на токоподводящий наконечник (рис. 1, б, 5). Применение таких втулок позволило реализовать сплошной кольцевой поток газа и оперативно изменять ширину кольцевого канала, не меняя при этом конструкцию всего сопла.

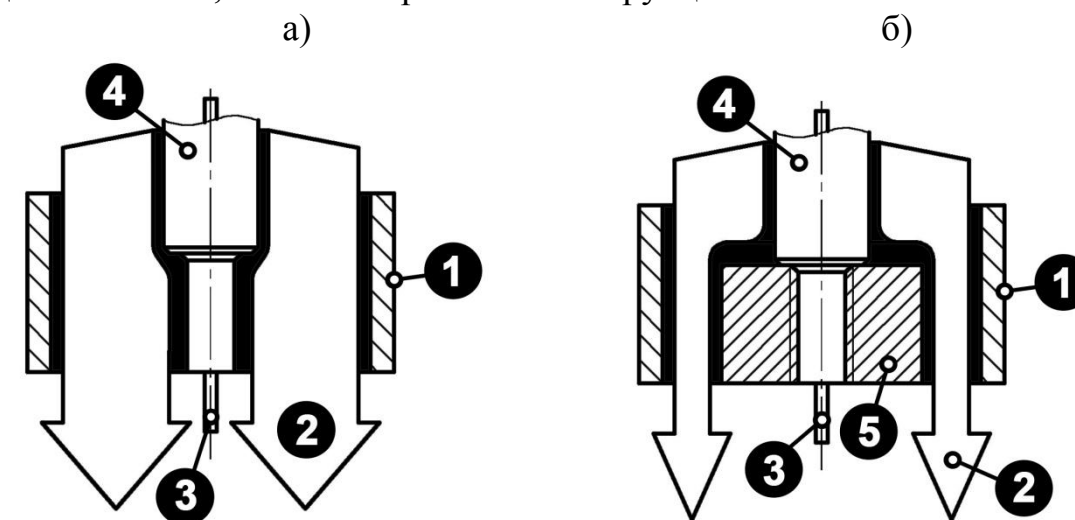


Рис. 1. Схемы подачи защитного газа в зону сварки при традиционном и комбинированном способе газовой защиты: а – схема с традиционной подачей защитного газа в зону сварки; б – схема с кольцевой подачей защитного газа; 1 – сопло сварочной горелки; 2 – поток защитного газа (CO_2); 3 – электродная проволока; 4 – токоподводящий наконечник; 5 – втулка для распределения газового потока

Авторами проведён ряд экспериментальных исследований, целью которых было определение влияния геометрических параметров и скорости истечения потока защитного газа на его способность препятствовать проникновению атмосферного воздуха в зону горения дуги, а также определение оптимальных для каждого конструктивного варианта проточной части сопла расходов защитного газа.

По результатам сравнительных механических испытаний сварных образцов установлены оптимальные значения геометрических параметров кольцевого сопла, а также расхода защитного газа.

А. О. КОРОТЕЕВ, В. П. КУЛИКОВ, М. А. КАДРОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В настоящее время, перспективным способом механизированной дуговой сварки, с точки зрения снижения расхода дорогостоящих компонентов газовых смесей, является сварка в условиях комбинированной защиты, основной особенностью которой является разделение потока защитного газа на две (и более) концентричных струи. Центральная струя, обеспечивает защиту зоны горения дуги и определяет характер плавления электродной проволоки и переноса расплавленного металла через дуговой промежуток. Внешняя, кольцевая струя, как правило, защищает расплавленный металл сварочной ванны от взаимодействия с атмосферой. При этом, защитные газовые струи независимы друг от друга и могут иметь различный химический состав, теплофизические свойства, и кинематические параметры.

Очевидно, что сопло сварочной горелки, в этом случае, должно иметь специальные, концентрично расположенные кольцевые выходные отверстия, по которым каждый из компонентов комбинированной защиты будет, независимо друг от друга, поступать в зону сварки.

Так как наружный кольцевой канал выполняет основную защитную функцию, то проектирование сопел неизбежно будет связано с определением геометрических параметров этого канала, определяющего в свою очередь габаритные размеры сопла горелки. Анализ литературных источников показал, что исследования процесса сварки в кольцевом потоке газа немногочисленны и направлены, в первую очередь, на стабилизацию процесса горения дуги на малых токах в условиях снижения расхода защитного газа. В нашем же случае, с точки зрения проектирования сопел сварочных горелок, представляет интерес экспериментально оценить влияние геометрических параметров кольцевого сопла, а также оптимального для каждого конструктивного варианта расхода защитного газа, на его способность препятствовать проникновению воздуха в зону сварки.

Способность кольцевого газового потока препятствовать проникновению воздуха в зону сварки и связанное с этим качество газовой защиты будет зависеть от многих параметров, среди которых можно выделить как геометрические характеристики выходной кольцевой части сопла, так и расход защитного газа, а также расстояние от сопла до поверхности свариваемой детали. В данном случае это расстояние будет совпадать с вылетом электрода.

инструмента, что приводит к реализации траекторий крайне низкого «качества» с большим объемом движений, причем сходимость достигается, только с некоторой вероятностью.

В данной работе предложен новый метод управления сборочной манипуляционной системой, основанный на использовании нейронной сети, которая моделирует весовую функцию, характеризующую расположение манипуляционной системы относительно технологического оборудования и предметов манипулирования. Такой подход в отличие от известных позволяет синтезировать движения манипулятора без предварительной проверки его движений на соответствие ограничениям накладываемым технологическим процессом сборки, что обеспечивает приемлемое количество проверок при фиксированном шаге дискретизации.

В соответствии с предложенным подходом первоначально генерируется приближенная траектория движения манипуляционной системы, конфигурационное пространство которой дискретизировано с низким разрешением, а также предполагается отсутствие ограничений при движении между узлами сетки дискретизации. Если при движении манипуляционной системы такой траектории зафиксирован выход за пределы ограничений, то матрица связей в нейронной сети модифицируется и генерируется новая траектория движения при неизменном разрешении сетки дискретизации. Такой метод, в отличие от известных, позволяет генерировать программные траектории робота без предварительной проверки его движений на столкновение и проверки выхода за технологические ограничения, что обеспечивает приемлемое количество тестов столкновения при сохранении свойства «полноты» при фиксированном шаге дискретизации.

Разработанный метод алгоритмизирован и реализован программно. Тестирование проводилось в экспериментальной системе автономного программирования сборочных роботов. На основе моделирования выполнена оценка показателей эффективности работы предложенного метода и его сравнение с известными методами управления манипуляционными системами для роботизированной сборки. В работе приведены результаты сравнительной оценки эффективности.

Эффективность предложенного алгоритма подтверждается примерами практического применения при построении программных траекторий движения сборочных манипуляционных систем на базе роботов-манипуляторов FANUC.

В. А. ЛУКАШЕНКО, И. В. РУСЕЦКАЯ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Известно, что в процессе обработки деталей резанием образуется теплота в результате: внутреннего трения между частицами обрабатываемого материала; трения стружки о переднюю поверхность инструмента; трения поверхности резания и обработанной поверхности о задние поверхности инструмента; отрыва стружки, диспергирования.

При этом, в зависимости от вида обработки, от 5 до 60 % образованной теплоты переносится в деталь, что вызывает ее нагрев и изменение размеров. Наибольшее количество теплоты поступает в деталь при их обработке на многоцелевых станках с ЧПУ. Это связано с тем, что такие операции содержат большое число переходов; в оперативном времени 80–90 % занимает машинное время (время воздействия инструмента на деталь); операции содержат технологические переходы с закрытыми зонами резания: сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы метчиками, фрезерование.

Механизм образования погрешностей координатных размеров осей отверстий при обработке деталей на станках с ЧПУ состоит в следующем.

В программе обработки детали обычно задают номинальные значения координатных размеров. В процессе обработки деталь нагревается и ее размеры увеличиваются. Однако стол перемещается, обеспечивая заданные номинальные значения координатных размеров. После обработки деталь остывает, ее размеры уменьшаются и уменьшаются координатные размеры, образуя погрешность.

На кафедре «Технология машиностроения» Белорусско-Российского университета были проведены исследования температурных деформаций деталей. В деталях типа «плита» с размерами 210x120x24 мм обрабатывали два отверстия диаметром 28 с межосевым расстоянием 90 мм. Обработка выполнялась в следующей последовательности: сверление, рассверливание, зенкерование. Температура детали измерялась терморезисторами МТ-56, а удлинение детали – индикаторами 1МИГ. Изменения межосевого расстояния измерялись в специальном приспособлении при остывании детали. Таким образом, было установлено, что погрешность межосевого расстояния составила 0,020–0,024 мм, что сопоставимо с допуском на межосевое расстояние.

цессов служила величина изменения изобарно-изотермического потенциала ΔG^0_T :

$$\Delta G^0_T = \Delta H^0_T - T\Delta S^0_T,$$

где ΔH^0_T – тепловой эффект процесса, ΔS^0_T – изменение энтропии процесса.

Поскольку реальные количества образующихся атомарных газов в силу объективных причин экспериментально определить трудно, расчет проводили при стандартном давлении. Такой подход позволяет установить температурный интервал, в котором данный процесс между известными веществами приведет к образованию предполагаемых продуктов реакции [5]. Проведенные расчеты показали, что для реакций между атомарными азотом и кислородом, атомарным азотом и озоном, атомарным азотом и углекислым газом характерны большие отрицательные значения ΔG^0_T в широком интервале температур, что свидетельствует о достаточно высокой вероятности протекания этих реакций. Более того, эти расчеты свидетельствуют о больших значениях (порядка тысяч кДж) теплоты, выделяющейся при таких процессах, что может провоцировать возгорание окружающих предметов.

Безусловно, рассмотренный в данной работе механизм развития электросварочного процесса является не единственно возможным, а одним из вероятно возможных, наряду с другими в большей или меньшей степени вероятными процессами. Дальнейшие исследования в данном направлении позволят уточнить данный подход к изучаемой проблеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некрасов, Б. В. Основы общей химии. / Б. В. Некрасов. – 3-е изд., исправл. и доп. : в 2 т. – М. : Химия, 1974. – Т. 1. – 688 с.
2. Курс физической химии: под общ. ред. Я. И. Герасимова. – 2-е изд., исправл. : в 2 т. – М. : Химия, 1973.
3. Химическая энциклопедия: в 5 т. – М. : Сов. энциклопедия, 1988. – Т. 1. – С. 59.
4. Волков, А. И. Большой химический справочник / А. А. Волков, И. М. Жарский. – Минск : Современная школа, 2005. – С. 278–323.
5. Поляченко, О. Г. Физическая и коллоидная химия. Практикум: учеб. пособие для студентов химич. и технологич. специальностей / О. Г. Поляченко, Л. Д. Поляченко. – Минск : БГТУ, 2006. – 380 с.

УДК 621.791
ВОЗМОЖНОСТЬ УЧАСТИЯ АТОМАРНЫХ ГАЗОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ
В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ, В ВОЗГОРАНИИ МАТЕРИАЛОВ

П. В. КИРЕЕВ
Научно-практический центр учреждения
«МОГИЛЕВСКОЕ ОБЛАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЧС
Республики Беларусь»
Могилев, Беларусь

Вопросы безопасного проведения сварочных работ были актуальны всегда, однако до сих пор изучены в недостаточной степени из-за сложности процессов, сопровождающих дуговую сварку. Во многом это также объясняется одновременным протеканием ряда химических реакций с образованием промежуточных продуктов, об участии которых в этих процессах можно говорить только с той или иной степенью вероятности, вследствие кратковременности их существования и, следовательно, трудностью их экспериментального обнаружения. Однако с точки зрения химической термодинамики вероятность образования тех или иных даже короткоживущих и неустойчивых веществ может быть оценена с использованием термодинамических характеристик веществ, вступающих в данную химическую реакцию, и образующихся в результате этого процесса.

Целью данной работы было изучение возможности использования термодинамического подхода к описанию процессов, сопровождающих дуговую сварку.

Общеизвестно, что в процессе дуговой сварки происходит образование такого химически активного вещества, как атомарный кислород [1, 2]. Наряду с этим в воздухе содержится большое количество (около 80 объемн. %) молекулярного азота, химически неактивного в обычных условиях, но который под действием электрического разряда и при пониженном давлении способен образовывать активный азот – смесь возбужденных молекул и атомов азота [3]. Таким образом, вполне логично предположить участие атомарных кислорода и азота в процессе электросварки и их воздействие на окружающие предметы. Интерес к реакциям с участием атомарных газов обусловлен еще и тем, что с точки зрения химической кинетики, занимающейся изучением скоростей химических реакций, они гораздо легче вступают в реакции. Такие реакции характеризуются высокими скоростями, так как энергии активации реакций с участием свободных атомов обычно весьма малы, часто – близки к нулю [1].

Был проведен расчет теоретической возможности протекания различных реакций с участием атомарных азота и кислорода по термодинамическим характеристикам веществ [4]. Для этого в качестве количественного критерия возможности самопроизвольного протекания предполагаемых про-

УДК 621.91.002
АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МАШИН С КОМПЕНСАТОРАМИ –
ЧЛЕНАМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО РЯДА

О. А. МЕДВЕДЕВ, К. А. МАРЧУК
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Использование неподвижных компенсаторов в виде тонких прокладок широко применяется для достижения точности замыкающих звеньев сборочных конструкторских линейных размерных цепей машин в условиях серийного сборочного производства. Анализ точности такой сборки достаточно подробно освещен в технической литературе, однако в большинстве источников не учитываются существенные погрешности формирования размера компенсатора на этапе предварительной сборки изделия, а также тот факт, что поле рассеяния набора из нескольких тонких прокладок больше допуска одной прокладки.

Известным эффективным способом сокращения числа прокладок в комплекте на один экземпляр изделия, необходимого для компенсации суммарного допуска составляющих звеньев конструкторской размерной цепи, является использование прокладок, толщины которых являются членами геометрической прогрессии со знаменателем равным 2, а первый член равен ступени компенсации C . Применение такого ряда обусловлено тем, что при выборочном сложении размеров компенсаторов можно получить суммарный размер любой кратности по отношению к ступени компенсации. Это позволяет компенсировать любое отклонение суммарного составляющего звена сборочной конструкторской размерной цепи в пределах TA_{Σ} . Однако в технической литературе отсутствуют методики расчета рациональной величины C и минимально достаточного числа компенсаторов n в комплекте на одно изделие с учетом погрешностей выполнения сборочных работ.

Значение n можно определить из равенства той части TA_{Σ} , которую нельзя компенсировать за счет допуска замыкающего звена конструкторской размерной цепи TA_{Δ} (то есть величины $TA_{\Sigma} - C$), сумме n членов геометрического ряда со знаменателем 2. После преобразований указанного равенства получено выражение

$$n = \log_2 (TA_{\Sigma} / C) = \log_2 TA_{\Sigma} - \log_2 C .$$

При окончательной сборке изделия из комплектующих деталей и выбранного компенсатора, отклонение замыкающего звена конструкторской цепи от его номинала будет равно отклонению толщины набора выбранных

прокладок от размера полости под компенсатор, которая сформировалась при предварительной сборке экземпляра изделия.

Подробный анализ влияния сборочных действий и сборочной оснастки на толщину выбранных прокладок во время предварительной сборки позволил установить, что это отклонение складывается из погрешностей изготовления ε_z и установки ε_{yz} эталона замыкающего звена, погрешности измерения полости под компенсатор ε_u , погрешности выбора набора прокладок (равна величине ступени компенсации C), суммарной погрешности изготовления n выбранных прокладок nTK (TK – допуск одной прокладки).

Поэтому условие достижения точности сборки при необходимом числе компенсаторов в наборе n можно выразить неравенством

$$TA_{\Delta} \geq \varepsilon_z + \varepsilon_{yz} + \varepsilon_u + c + n \cdot TK.$$

С учетом формулы для n предыдущее выражение показывает взаимосвязь между допусками звеньев конструкторской сборочной размерной цепи и погрешностями формирования суммарной толщины принятых прокладок

$$TA_{\Delta} \geq \varepsilon_z + \varepsilon_{yz} + \varepsilon_u + c + TK[\log_2(TA_{\Sigma} / C)].$$

Наибольшие приемлемые значения погрешностей сборочной оснастки и прокладок следует определять при обращении последнего выражения в равенство. При этом с увеличением ступени компенсации потребуется применять более точную сборочную оснастку и прокладки и, наоборот, при уменьшении ступени компенсации (увеличении числа прокладок в комплекте) можно использовать менее точную и более дешевую сборочную оснастку и прокладки.

Для облегчения практического использования полученного выражения для определения взаимосвязанных приемлемых значений погрешности формирования толщины набора прокладок, их допуска, ступени компенсации его численное решение выполнялось с помощью компьютерной программы, разработанной с помощью табличного редактора Excel на языке Visual Basic for Application (VBA) и результаты расчетов представлены в виде таблиц и графиков.

Полученные оригинальные зависимости позволяют обоснованно определить параметры точности сборочной оснастки и компенсаторов – членов геометрического ряда, обеспечивающих точность сборки. Они могут быть полезны инженерам технологам, проектирующим техпроцессы сборки машин.

УДК 621.791.35

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПАЯНЫХ ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Е. В. ИГНАТОВА, Т. С. ЛАТУН, Ю. А. ЦУМАРЕВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Тавровые соединения нашли широкое применение в технике пайки. Однако все известные их разновидности характеризуются значительной концентрацией напряжений, что снижает статическую, циклическую и ударную прочность паяных швов и соединений в целом. Высокий уровень концентрации напряжений предопределяет низкую стойкость паяных соединений таврового типа к хрупким разрушениям. Для повышения характеристик работоспособности паяных соединений таврового типа авторами были разработаны новые конструкции, которые обеспечивают снижение уровня максимальных рабочих напряжений не только в паяных швах, но и в основном материале.

Первый вариант, разработанный авторами, представляет собой стандартное паяное соединение типа ПТ-1, дополненное двумя симметрично установленными конструктивными элементами в виде галтелей из конструкционного материала. Каждая из галтелей припаивается к деталям таврового соединения.

Ввиду того, что предлагаемые галтели имеют довольно сложную форму, их применение целесообразно только в условиях массового или крупносерийного производства, позволяющего использовать технологии литья или объемной штамповки. Поэтому было предложено упростить конструкцию паяного таврового соединения путем замены дополнительных галтельных конструктивных элементов аналогичными элементами пластинчатой формы.

Третий из предлагаемых вариантов является аналогом стандартного таврового паяного соединения ПТ-2. Отличие заключается в том, что вместо одной канавки прямоугольного сечения вводится пара канавок-выкружек полукруглого сечения. Предлагаемые выкружки обеспечивают плавное сопряжение соединяемых деталей и тем самым повышают прочность соединения при динамических нагрузках.

С целью определения технической эффективности предлагаемых решений был проведен сравнительный конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния паяных тавровых соединений с привлечением программного комплекса SOLID WORKS. Результаты расчетов подтвердили высокую эффективность предлагаемых решений. Наблюдалось снижение уровня максимальных рабочих напряжений не менее, чем на 30 % по сравнению с наиболее прочным из известных тавровых соединений, т. е. соединением ПТ-2.

В. В. ДЕСЯТНИК

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

При проектировании сварных соединений используют показатели прочности, такие, как допускаемое напряжение или расчетное сопротивление, которые для материалов с площадкой текучести получают, используя предел текучести материала и различные коэффициенты запаса. Для материалов без площадки текучести используется так называемый условный предел текучести, т. е. напряжение, при котором деформация достигает величины 0,2 %. Показатели пластичности материала, такие, как относительное удлинение или относительное сужение в расчетах не используют. Их роль сводится к тому, чтобы при выборе основного или присадочного материала сравнительно оценить деформационную способность материалов. При нагрузках, неизменных во времени, использование указанных показателей уместно и оправдано практикой проектирования и эксплуатации конструкций.

При переменных во времени нагрузках, механизм разрушения, как показывают многочисленные исследования, существенно отличается от механизма разрушения при статических нагрузках, и как правило, связан с микродеформационными процессами на уровне дислокаций.

В этих случаях зарождение и дальнейшее развитие усталостной трещины связано с исчерпанием деформационной способности материала, т. е. так называемого «запаса пластичности».

В комплексе показателей механических свойств такой показатель отсутствует.

Автором предлагается использовать в качестве указанного показателя число циклов до разрушения при повторно-статическом изгибе с характеристикой цикла нагружения $r = -1$. При этом для оценки основного металла использовать образцы используемые при испытаниях на угол загиба. При оценке свойств наплавленного металла использовать такие же образцы вырезанные из стыкового сварного соединения, сваренного двухсторонним швом без непроваров и несплавленный и со снятым с обеих сторон усилением шва.

Полученный показатель механических свойств может быть использован при прогнозировании долговечности сварных соединений с использованием деформационных теорий усталости.

М. Н. МИРОНОВА

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Ключевыми факторами эффективности современного машиностроительного производства являются сжатые сроки и высокое качество его технологической подготовки, включающей назначение оптимальных режимов обработки, обеспечивающих точность механической обработки, а также разработку технологической оснастки. От того, насколько качественно выполнена технологическая подготовка производства, зависят и эффективность производства, и качество выпускаемых изделий.

Установлено, что устранение основных причин, порождающих погрешности обработки, гораздо выгоднее и удобнее, чем внедрение сложных систем управления. Поэтому, основные направления повышения точности обработки деталей на отдельных операциях технологического процесса должны быть связаны с компенсацией составляющих суммарной погрешности обработки.

Общая погрешность обработки может быть наиболее существенно снижена при компенсации погрешности, связанной с применением приспособления. Так как использование станочных приспособлений позволяет заметно снизить величины отдельных составляющих погрешности обработки – погрешность базирования и закрепления заготовки в приспособлении, погрешность, вызванную неточностью его изготовления, погрешность установки его на станке и ряд других погрешностей.

В этой связи обеспечение оптимальной конструкции приспособления, в том числе, на этапе технологической подготовки производства, может рассматриваться как один из путей повышения точности механической обработки на основе комплексной многокритериальной оптимизации параметров технологического процесса и технологической оснастки на базе функциональных семантических сетей.

Для реализации такого подхода была создана интеллектуальная система *SEMANTIC*, предназначенная для управления точностью механической обработки, включающая возможность оптимизации проектирования станочных приспособлений посредством функциональных семантических сетей.

Система обладает существенным преимуществом по сравнению с традиционными программными средствами. Здесь жесткий алгоритм отсутствует и формируется самой системой в процессе решения. Это существенно упрощает и ускоряет процесс поиска решения.

Основой модели представления знаний в системе служит функциональ-

ная семантическая сеть, которая представляет собой в общем случае неориентированный двудольный граф с двумя типами вершин. Первый тип представляет собой параметры рассчитываемых задач, в том числе исходные данные. Второй тип вершин описывает отношения, определяющие функциональные зависимости между параметрами сети.

При традиционном решении задач на функциональной семантической сети определяются минимально замкнутые подсистемы отношений, у которых выявляются входные и выходные параметры, что приводит к преобразованию отношений в соответствующие функции. В результате этого происходит формирование цепочек функций, на основе которых механизмом логического вывода системы осуществляется решение поставленных задач. При этом для каждой поставленной задачи определяется своя минимально замкнутая подсистема отношений и формируется своя цепочка функций, что обеспечивает возможность использования этого алгоритма в компьютерных программах, выполняющих управление точностью и расчет проектируемых станочных приспособлений.

Установлено, что такой подход может быть использован, как правило, при однофакторной оптимизации. В силу сложности пространства поиска и в связи с возникновением так называемых стыков, вилок и циклов, линейный алгоритм не может быть применен к решению задачи многофакторной оптимизации, примером которой является задача обеспечения точности механической обработки.

Для этого предложен алгоритм многофакторной оптимизации на базе алгоритма случайного поиска с возвратом. При этом решение задачи многофакторной оптимизации может быть сведено к решению случайной последовательности задач однофакторной оптимизации.

При определении оптимальных параметров элементов станочных приспособлений системой задается структура объекта, исходя из его функционального назначения и имеющихся реальных элементов, а также накладываются ограничения на параметры системы, значения которых не должны быть меньше заданных или превышать их.

Задача, связанная с нахождением оптимальной структуры станочного приспособления, решается при условии, что заданы параметры проектируемой системы и требуется найти из множества допустимых вариантов структурных схем такую структуру системы, при которой обеспечивается экстремум критерия оптимальности. Для этого выполняется расчет различных вариантов структурных схем приспособлений, а затем определяются те из них, которые соответствуют лучшим проектным характеристикам или обеспечивают допустимые значения отдельных проектных характеристик.

Использование разработанной системы позволяет проектировщику заранее оценить и проанализировать последствия выбора каждого решения, исключить недопустимые варианты и выделить наиболее удачные решения, вследствие чего дает возможность повысить научную и инженерную обоснованность, снизить субъективный фактор принимаемых решений и, таким образом, обеспечить качественное управление технологическим процессом.

ны, вскипания сварочной ванны), простотой применения, не требующей высокой квалификации сварщика (автоматический поджиг и удержание дуги, постоянный контроль качества шва).

Результаты проведенных исследований говорят о возможности замены контактно-точечного способа сварки дуговым способом сварки полуавтоматом в среде активного газа. Однако в настоящее время, она практически не может использоваться для сварки арматуры малых диаметров (до 10 мм), которая широко применяется в современном панельном домостроении. Это обусловлено отсутствием нормативной базы, регламентирующей требования к дуговой сварке арматуры малых диаметров. Зачастую разработчики нормативных документов не учитывают технической возможности предприятий-изготовителей железобетонных изделий. Поэтому необходимо нарабатывать результаты практических испытаний по данному виду сварки для дальнейшей разработки технологического регламента и внедрения его в современное производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СТБ 2174-2011.** Изделия арматурные сварные для железобетонных конструкций. Технические условия. – Введ. 2011-02-23. – Мн. : Госстандарт, 2011. – 46 с.
2. **Врублевская, В. В.** Диагностика прочности сцепления арматуры крестообразного соединения / В. В. Врублевская, А. А. Васильев, Д. М. Гурский // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т. – 2012. – С. 248–250.
3. **Врублевская В. В.** Уменьшение трудоемкости изготовления арматурных блоков для наружных стеновых панелей / В. В. Врублевская, А. А. Васильев, Д. М. Гурский // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VI междунар. науч.-техн. конф. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С 280–281.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ ДЛЯ КРЕСТООБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ АРМАТУРЫ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ

В. В. ВРУБЛЕВСКАЯ

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Гомель, Беларусь

Область применения дуговой сварки полуавтоматами в среде защитных газов все больше расширяется благодаря простоте процесса, возможности ее применения в различных пространственных положениях и получения высокого качества сварных швов. Однако существует ограничение по номинальному диаметру свариваемых стержней, который, согласно нормативным документам [1], должен быть не менее 10 мм.

Целью работы явилось определение прочности сцепления крестообразного соединения арматурных стержней диаметрами менее 10 мм, выполненного дуговой сваркой полуавтоматом в среде активного газа CO_2 плавящимся электродом, и возможности применения данного вида соединения крестообразных узлов для армирования наружных стеновых панелей типа 3 НС в ОАО «Гомельский ДСК».

При исследовании прочностных характеристик крестообразных соединений арматуры различного диаметра были изготовлены испытательные образцы. Эксперименты проводились в несколько этапов:

- определение прочности сцепления крестообразного соединения выполненного дуговой сваркой полуавтоматом в среде активного газа [2];
- сравнение прочности сцепления крестообразных соединений, выполненных наиболее распространенными способами сварки для арматуры диаметром менее 10 мм;
- сравнение энергозатрат контактно-точечного способа сварки арматурного каркаса и дуговой сварки полуавтоматом в среде активного газа [3].

Анализ результатов испытаний, технических характеристик применяемого оборудования и времени сварки показывает явные преимущества дугового способа сварки полуавтоматом в среде активного газа перед контактно-точечной. Экономический эффект дугового процесса сварки будет проявляться в снижении трудоемкости изготовления, сокращении времени сварки, увеличении производительности выпуска арматурных блоков для наружных стеновых панелей без потери качества и прочности сварных соединений. Преимущества дуговой сварки полуавтоматом в среде активного газа обеспечиваются минимальным воздействием на структуру и свойства металла, прилегающего к зоне сварки (высокая плотность тока, локальный нагрев), высоким качеством шва, уменьшением трудоемкости его обработки (отсутствие окали-

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ ПРИ ЕЕ СТРУКТУРНОМ ФОРМИРОВАНИИ

М. И. МИХАЙЛОВ

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. П. О. Сухого»

Гомель, Беларусь

Современные достижения микроэлектроники способствуют быстрому развитию станков с ЧПУ. Из исследований, выполненных в ФРГ, США, Швейцарии и других странах известно, что эффективное время обработки на традиционных металлорежущих станках и станках с ЧПУ в случае участия человека (оператора) составляет только 6...10 % годового фонда рабочего времени. Известно также, что в структуре времени обработки деталей на основе традиционных технологий доля основного времени составляет только около 30 %, а оставшаяся часть приходится на вспомогательное и подготовительно-заключительное время [1, 2].

Для широкономенклатурных ГПС, характеризующихся частой сменой объектов производства, длительные периоды отладки процесса приводят к значительному снижению эффективности [2].

Поэтому в ГПС применяют системы контроля и подналадки, которые повышают стоимость системы, снижая риск отказа и увеличивая продолжительность наработки на отказ [3, 4].

В состав системы инструментообеспечения структурно включали: режущую и рабочую части инструмента, а так же накопитель режущих инструментов. При этом анализ производился применительно к торцовым фрезам.

На основе анализа влияния каждого элемента системы инструментообеспечения на ее вероятность безотказности составлялась структурная схема, при этом на первом этапе допускалось, что система не ремонтируема и не резервируема. Анализ производился для наиболее часто встречающихся случаев отказа: в виде микроразрушений и износа режущей кромки. При этом было принято, что наработка на отказ в результате износа согласуется с усеченным нормальным законом распределения, а микровыкрашивание – с экспоненциальным [5]. По предварительным экспериментам определялась наработка на отказ каждого элемента T_i и интенсивность отказов λ_i , каждого элемента. Затем рассчитывалась наработка на отказ T_c всей системы.

$$T_c = \frac{\prod_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n T_i}, \quad \lambda_c(t) = \frac{\sum_{j=0}^m f_j(t) \prod_{i=j}^m Q_i(t)}{1 - \prod_{i=0}^m Q_i(t)},$$

где f_c и f_i – функции распределения системы и элемента, Q_i – функция вероятности отказа.

Если расчётное значение наработки на отказ меньше допускаемого производилось резервирование. При этом рассматривалось: общее резервирование элементов системы инструментаобеспечения, которое было реализовано только замещением, либо поэлементное, которое для накопителя и режущего инструмента так же реализовывалось замещением, а для режущей части и режущих кромок рассматривалось как с постоянным, так и с резервированием замещением.

Для всей системы инструментаобеспечения с резервированием замещением показатели надёжности соответствовали показателям при скользящем резервировании. При постоянной интенсивности отказов основной системы, интенсивность отказа резервированной системы увеличивается с течением времени, стремясь к постоянной величине, равной интенсивности отказов нерезервированной системы. Вероятность безотказной работы при усеченном нормальном законе в течение длительного времени работы $t=[0...70]$ остаются практически постоянными и система высоконадёжна, затем в течении короткого времени она теряет ресурс и быстро становится ненадёжной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шимарев, В. Ю.** Надёжность технических систем / В. Ю. Шимарев. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 304 с.
2. **Дианов, В. Н.** Диагностика и надёжность автоматических систем / В. Н. Дианов. – М. : Изд-во МГИУ, 2005. – 378 с.
3. **Венцель, Е. С.** Теория вероятности и ее инженерные приложения / Е. С. Венцель, Л. А. Овчаров. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 464 с.
4. **Сольников, Р. И.** Автоматизация проектирования ГПС / Р. И. Сольников, А. Е. Кононюк, Ф. М. Кулаков. – Л. : Машиностроение, 1990. – 415 с.
5. **Михайлов, М. И.** Сборный металлорежущий механизированный инструмент: ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов; под ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2008. – 339 с.

изменении угла открытия тиристоров, по сигналу отрицательной обратной связи по току во вторичном контуре сварочного трансформатора.

Отсутствие прямого преобразования энергии питающей сети при конденсаторной сварке создаёт определённые трудности, связанные с тем, что в тиристорно-конденсаторных машинах форма сварочного импульса задаётся до начала сварки, а тиристорный контактор, являясь неуправляемым вентилем, не позволяет оказать влияния на процесс формирования соединения. Замена тиристоров на современные IGBT или MOSFET транзисторы позволяет решить указанную проблему.

Гальваническая развязка, аналого-цифровое преобразование и согласование сигналов обеспечивается модулями ввода-вывода системы NI CompactRIO. В качестве устройства аналогового ввода сигнала с датчика тока используется четырёхканальный модуль NI 9223 на 16 бит с частотой оцифровки 1 МГц и диапазоном входных напряжений ± 10 В. Для обеспечения повышенной точности измерение тока проводится непосредственно на сварочных электродах. Регистрация мгновенного значения сварочного тока осуществляется при помощи датчика ДТПХ—32000 на основе эффекта Холла с пределами измерения 0..32 кА, погрешностью измерения в диапазоне рабочих температур – не более 5 %.

Формирование сигналов управления тиристорами однофазных контактных машин и силовыми транзисторами конденсаторных машин осуществляется 32 канальным устройством цифрового ввода / вывода NI 9403 уровня ТТЛ логики +5В. Быстродействие модуля—7 мкс. Управление пневмоклапанами привода сжатия производится 8 канальным модулем NI 9422 напряжением 24 В с нагрузкой до 8 А. Быстродействие модуля – 250 мкс. Для удалённого управления системой используется интерфейс Ethernet с поддержкой FTP/HTTP. Система CompactRIO помещена в надёжный корпус, позволяющий работать в диапазоне температур от -20 °С до +55 °С с ударными нагрузками до 50 g.

Использование программного управления посредством NI CompactRIO позволяет производить регулирование процесса контактной сварки в режиме реального времени методом нечеткой логики, реализовывая алгоритмы управления любой сложности, тем самым обеспечить минимизацию количества дефектов в точечных сварных соединениях, добиться значительного повышения их качества за счёт управления формой импульса сварочного тока. Среда разработки NI LabVIEW значительно сокращает затраты на программирование и отладку таких систем.

С. В. БОЛОТОВ, И. В. КУРЛОВИЧ, Н. В. ГЕРАСИМЕНКО

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Нагрев при контактной сварке, в зависимости от используемого оборудования, производят переменным током промышленной частоты, импульсами постоянного и униполярного тока. Амплитудно-временные характеристики импульса сварочного тока являются определяющими при формировании сварного соединения.

Необходимость в контроле и регулировании тока в процессе сварки обусловлена тем, что жестко заданная устройством управления величина тока изменяется под действием различных возмущений, что может приводить к недопустимым отклонениям формы его импульса и, как следствие, к появлению различных дефектов сварных соединений, в частности, выплесков расплавленного металла и непроваров.

Длительность протекания сварочного тока при сварке на однофазных машинах переменного тока составляет от единиц до десятков периодов сетевого напряжения. При сварке на конденсаторных машинах этот параметр лежит в пределах десятков миллисекунд. Это накладывает повышенные требования к быстродействию систем управления процессом сварки, работающих в режиме реального времени.

Управление импульсами сварочного тока как на относительно мягких режимах при сварке на однофазных машинах, так и “сверхжестких” режимах конденсаторной сварки возможно при построении аппаратуры управления на основе современных микроконтроллеров и ПЛИС. Для управления сварочным током конденсаторных машин используется система NI CompactRIO, программируемая при помощи среды разработки приложений LabVIEW.

Система NI CompactRIO 9075 включает в себя промышленный контроллер реального времени на базе процессора Freescale с тактовой частотой 400 МГц, ОЗУ 128 МБ и реконфигурируемое шасси с ПЛИС (FPGA) напрямую подключенное к модулям ввода-вывода. Поскольку каждый модуль подключен к FPGA непосредственно, а не через шину, практически отсутствуют задержки управления, связанные с реакцией системы. ПЛИС обеспечивает программе или контроллеру реального времени доступ к вводу-выводу с джиттером между циклами менее 500 нс.

Регулирование амплитудно-временных параметров сварочного импульса на однофазной машине переменного тока, заключается в

М. И. МИХАЙЛОВ

Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. П. О. Сухого»
Гомель, Беларусь

Геометрическому моделированию контакта твердых тел посвящено большое количество работ, которые обобщены и представлены в монографиях [1–3] и др. Однако эти работы базируются либо на экспериментальных данных, либо на детерминированных теоретических. Определение погрешностей положения стола станка относительно станины производили посредством элементарных перемещений и поворотов, совершаемых последовательно одним элементом относительно другого из номинального положения в предельное.

Исследования проводились поэтапно. На первом этапе производились измерения отклонений от плоскостности базовых поверхностей направляющих стола и станины в определенных точках.

В результате получили N-ое количество профилей базирующих поверхностей. Чтобы перейти к вероятностной форме базовых поверхностей находили значения отклонений от плоскостности каждой точки этих поверхностей с определённой вероятностью. Для этого разбивали весь интервал значений отклонений от плоскостности в точке (i, j) на n интервалов с серединой X.

Очевидно, что вероятность попадания точки (i, j) в рассматриваемый интервал (Z) будет равно отношению количества попаданий в данный интервал к общему количеству всех значений [1]

$$Z = \frac{Y_{ij}}{Y_n}.$$

Как известно фактическое положение стола зависит от положения базовых точек.

Для анализа точности вводилась система координат XYZ, в которой задавались координаты номинальных точек контакта базовых поверхностей стола.

Затем определялись коэффициенты уравнений плоскостей касательных к базовым поверхностям.

Так как в опорной плоскости расположена одна точка контакта, то воспользовавшись свойством взаимного расположения касательных плоскостей, находили угол между направляющей и опорной гранями:

$$\cos(\beta) = \frac{(|A_2| \cdot A_3 + |B_2| \cdot \frac{(A_3 \cdot |B_2| + |C_1|)}{|A_2|}) + |C_2| \cdot (\frac{|C_2|}{|A_2|} \cdot (A_3 \cdot |B_2| + |C_1|) + |A_1|)}{\sqrt{(|A_2|)^2 + (|B_2|)^2 + (|C_2|)^2 \cdot \sqrt{(A_3)^2 + (\frac{A_3 \cdot |B_2| + |C_1|}{|A_2|})^2 + (\frac{|C_2|}{|A_2|} \cdot (A_3 \cdot |B_2| + |C_1|) + |A_1|)^2}}},$$

$$\text{где: } B_3 = \frac{A_3 \cdot |B_2| + |C_1|}{|A_2|}; \quad C_3 = \frac{\frac{|C_2|}{|A_2|} \cdot (A_3 \cdot |B_2| + |C_1|) + |A_1|}{|B_2|};$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{bmatrix} B_1 = \begin{bmatrix} z_2 - z_1 & x_2 - x_1 \\ z_3 - z_1 & x_3 - x_1 \end{bmatrix} C_1 = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{bmatrix};$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} y_5 - y_4 & z_5 - z_4 \\ |B_1| & |C_1| \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} z_5 - z_4 & x_5 - x_4 \\ |C_1| & |A_1| \end{bmatrix}, C_2 = \begin{bmatrix} x_5 - x_4 & y_5 - y_4 \\ |A_1| & |B_1| \end{bmatrix};$$

$$D_1 = -(|A_1| \cdot x_1 + |B_1| \cdot y_1 + |C_1| \cdot z_1) \quad D_2 = -(|A_2| \cdot x_4 + |B_2| \cdot y_4 + |C_2| \cdot z_4).$$

Решая совместно полученные уравнения, находили координаты x_E, y_E, z_E точки пересечения базовых плоскостей.

Далее производили расчёт коэффициентов плоскостей в действительных координатах по методике изложенной выше. Точность позиционирования находили как геометрическую сумму разности между действительными и номинальными координатами точек пересечения трех плоскостей

$$\delta = \sqrt{(x_E - x_{E^1})^2 + (y_E - y_{E^1})^2 + (z_E - z_{E^1})^2}.$$

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что погрешность позиционирования увеличивается в 2 раза при увеличении погрешности изготовления на каждые 0,1 мм.

При одинаковой погрешности изготовления точки контакта могут располагаться на различном расстоянии друг от друга. Так при увеличении расстояния между точками направляющей на 3 мм погрешность позиционирования увеличивается в 1,2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Демкин, Н. Б.** Качество поверхностей и контакт деталей / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. – М. : Машиностроение, 1981. – 221 с.
2. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход) / А. П. Хусу [и др.]. – М. : Наука, 1975. – 344 с.
3. **Билик, Ш. М.** Макрогеометрия деталей машин / Ш. М. Билик. – М. : Машиностроение, 1972. – 344 с.

женно-деформированного состояния металла покрытия, при котором минимизируются касательные напряжения и деформации, и возникает максимальное сопротивление пластическому течению металла покрытия в направлении от центра к периферии сварной точки;

– по величине начальных (холодных) сопротивлений контактов электродов с деталями можно определить возможность точечной сварки без выплесков расплавленного металла с сохранением покрытия на лицевых поверхностях;

– минимальные сдвиговые деформации, обеспечивающие сохранение защитного покрытия, достигаются поддержанием падения напряжения на контактах электродов с покрытием не выше 80–90 % от величины напряжения размягчения и давлений в зоне сварки, не превышающих предел текучести материала покрытия;

– для сохранения покрытия необходимо учитывать характер изменения начального сопротивления контактов электродов с деталями и осуществлять плавное нарастание (модуляцию) сварочного тока;

– ковочное усилие должно быть приложено до момента снижения температуры в зоне контактов электродов и покрытия, при котором материал покрытия остывает до температуры, предотвращающей налипание покрытия на электроды;

– при контактной точечной сварке темп сварки должен выбираться, исходя из нагрева контактной поверхности сварочного электрода не выше температуры размягчения покрытия. Использование электродов с улучшенным охлаждением рабочей поверхности до низких температур (минус 40 °С) позволяет в 3–5 раз повысить стойкость сварочных электродов;

– сохранение защитного покрытия на уровне не менее 90 % от его первоначального значения можно обеспечить использованием промежуточных электродов в виде фольги, при выборе ее толщины и материала в зависимости от теплофизических свойств и толщин основного металла и покрытия по разработанным рекомендациям;

– при контактной точечной сварке металлов с покрытиями на основе эпоксидной смолы из-за её низкой температуры текучести и разложения сохранить покрытие со стороны контактов с электродами весьма затруднительно. Поэтому необходимо использовать двухимпульсную циклограмму процесса сварки. Первый импульс небольшой величины способствует удалению покрытия из зоны контакта деталей с электродами, второй – образованию сварной точки.

УДК 621.791.763
О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ТОЧЕЧНОЙ
СВАРКИ МЕТАЛЛОВ С ПОКРЫТИЯМИ

В. П. БЕРЕЗИЕНКО, С. Н. ЕМЕЛЬЯНОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В различных отраслях промышленности достаточно широко применяется контактная точечная сварка металлов с покрытиями. Одни покрытия используются для увеличения долговечности изделий, предохраняют их от интенсивного развития коррозии (оловянные, цинкосодержащие, свинцованные, алюминиевые, алюминий-кремниевые, алюминий-цинковые, алюминий-железистые и т.п.), другие предназначены для придания изделию декоративного вида (никелевые, хромистые, оловянные и др.). В последние годы за рубежом начали применяться многослойные покрытия с использованием эпоксидной смолы и органических составляющих.

Наличие покрытий на стали оказывает влияние на физико-механические свойства материала в зоне сварки, в частности, на величину контактных сопротивлений, что влечет за собой изменение условий эксплуатации электродов и получения качественных сварных соединений.

В процессе точечной сварки металлов, покрытых легкоплавкими покрытиями, происходит повышенный массоперенос металла покрытия на контактную поверхность электродов, вследствие чего изменяются форма их рабочей поверхности, величина сопротивлений контактов электродов с деталями и термомеханический цикл сварки. Требуется частая зачистка электродов, снижается производительность процесса сварки.

При сварке сталей с никелевыми и хромистыми покрытиями из-за наличия начальных выплесков и цветов побежалости на лицевых поверхностях в местах постановки точек ухудшается товарный вид изделий.

В технической литературе приводятся параметры режима сварки металлов с наиболее распространенными покрытиями (цинковым, алюминиевым). Проведенный анализ этих параметров, коррозионных и механических свойств соединений и внешнего вида изделий показал, что авторы публикаций озабочены только получением сварных точек необходимого диаметра. Ранее исследователи не решал вопросы сохранения покрытия, создания способов и устройств, позволяющих получать качественные соединения с высокими эксплуатационными свойствами и товарным видом.

Проведенные исследования процессов точечной сварки металлов с покрытиями позволили сделать следующие выводы:

– обязательным условием сохранения защитного покрытия является создание в зоне контактов сварочных электродов с изделием такого напря-

УДК 621.01
ОЦЕНКА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ
ПОГРЕШНОСТЕЙ ПЕРЕДАЧ

В. М. ПАШКЕВИЧ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Геометрическое моделирование образования кинематических погрешностей передач описано в [1] и связано с поворотом в пространстве трехмерных моделей элементов зацепления до момента исчезновения их интерференции, что соответствует беззазорному контакту этих элементов в передаче.

К сожалению, такой алгоритм, реализованный в современных САД-системах (*AutoCAD*, *SolidWorks* и др.) требует для реализации значительного времени. Одной из причин этого является необходимость многократной проверки наличия интерференции трехмерных моделей и корректировки положения элементов зацепления до ее исчезновения. Эта задача усложняется также тем, что вычисление объема интерференционного пространства связано с оценкой пересечения, как правило, невыпуклых трехмерных тел (зубчатые колеса, червяки и т.п.).

Существенно ускорить процедуру проверки интерференции позволяет описанная ниже процедура, связанная с декомпозицией трехмерных тел на выпуклые сегменты, каждый из которых затем в плоскости зацепления представляется элементарной выпуклой плоской фигурой (треугольником) (рис. 1).

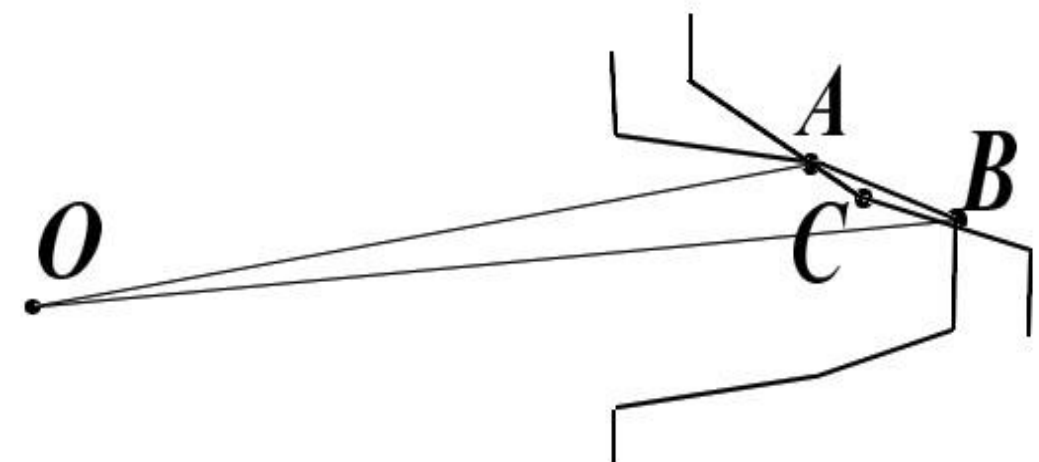


Рис. 1. Схема к определению интерференции трехмерных моделей

Проверка пересечения элементов зацепления заключается в попарной проверке взаимного положения точек A и B ведущего звена, образующих его контур, и ближайшей к ним точки C ведомого звена. Очевидно, что интерференция присутствует в том случае, если точки O и C находятся в одной и той же полуплоскости, границей которой служит линия AB .

Данное условие выполняется в том случае, если

$$d = W(O) \cdot W(C) > 0, \quad (1)$$

где $W(O)$, $W(C)$ – значения дискриминантной функции в точках O и C .

Дискриминантная функция, проходящая через точки A и B , описывается элементарным уравнением

$$w(x; y) = a_0 + a_1x + y, \quad (2)$$

$$\text{где } a_1 = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}; \quad a_0 = y_A - a_1x_A.$$

Модуль произведения (1) может также использоваться в качестве оценочной функции для определения направления перемещения трехмерных моделей при компенсации их интерференций.

Аналогичным образом может вестись оценка интерференции трехмерных объектов. При этом определяется взаимное положение трех пространственных точек ведущего звена и ближайшей к ним точки ведомого звена. Для построения дискриминантной функции в этом случае используется уравнение плоскости, проходящей через 3 точки:

$$w(x; y; z) = a_0 + a_1x + a_2y + z. \quad (3)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение точности механических передач на основе компьютерного моделирования и использования технологий искусственного интеллекта / В. М. Пашкевич [и др.] – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – 139 с.

Авторами создана математическая модель процесса сварки металлов трением на основе программного комплекса DEFORM-2D. Для исследований использовалась осесимметричная модель, заданная телом вращения и состоящая из 803 узлов и 711 элементов. Температура окружающей среды 20°C . Исследования проводились на стали AISI 1040 (аналог стали 40).

Скорость вращения 600 об/мин. Скорость сближения 25 мм/с. Давление нагрева – 6,5 МПа, давление проковки – 10,2 МПа.

Исследования показали, что максимальная температура в начале относительного вращения возникает на периферийной зоне соединения. В начале процесса можно наблюдать искрение в этих зонах, что указывает на механическое взаимодействие микровыступов металла. Вокруг первых участков ювенильных поверхностей и первых очагов схватывания возникают высокие температуры. Металл на периферии соединения нагревается и растет его пластичность, происходит уменьшение давления, оказываемого на эту зону, вследствие чего уменьшается сила трения, и соответственно, тепловыделение.

Тепловыделение при трении место не только на поверхностях точек физического контакта. Деформирование микровыступов, на которое затрачивается некоторая доля энергии при трении, также является причиной теплогенерирования. Поэтому следует говорить о тепловыделяющем поверхностном слое, имеющим некоторую толщину. В пределах этого слоя, а благодаря теплопроводности и в слоях, расположенных глубже, при трении образуется температурное поле.

В центре же соединения начальная температура ниже и металл этой зоны менее пластичен. По этой причине давление на центральную зону возрастает за счет уменьшения контактной площади. Это вызывает увеличение силы трения и способствует росту тепловыделения в указанной зоне, т.е. область нагрева начинает смещаться к центру соединения. Затем происходит расширение области нагрева по направлению к периферии соединения. Завершающей стадией является переход к фазе квазистационарного процесса трения.

Проведенные металлографические исследования образцов показали, что в стыке и прилегающих к нему зонах термического влияния металл приобретает структуру с равноосным и резко измельченным (по сравнению с основным металлом) зерном. Указанная структура образуется в результате быстрого локального нагрева малых объемов металла и высоких скоростей их охлаждения в присутствии значительных давлений, достигающих 30–50 МПа. Кроме того в процессе трения имеет место механическое измельчение зерен.

В. П. БЕРЕЗИЕНКО, *В. И. НОВИКОВ, *В. И. ДЬЯЧЕНКО

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*ПО «МИНСКИЙ ТРАКТОРНЫЙ ЗАВОД»
Могилев, Минск, Беларусь

Сварка трением применяется при изготовлении деталей круглого сечения со ступенчатым по длине профилем, составных би- или триметаллических деталей с целью экономии более дефицитного или более дорогого материала, деталей в виде композиций из различных материалов.

По сравнению с другими способами сварка трением имеет следующие преимущества:

- высокая производительность: объем тонкого слоя металла настолько незначителен, что весь цикл его нагрева обычно укладывается в весьма малый промежуток времени;
- малое потребление энергии и мощности: малый объем металла, нагреваемого при сварке трением, предопределяет и исключительно высокие энергетические характеристики процесса;
- высокое качество сварного соединения: при правильно выбранном режиме сварки металл стыка и прилегающих к нему зон обладает прочностью и пластичностью не меньшими, чем основной металл;
- стабильность качества сварных соединений: партия деталей, выполненных с помощью сварки трением без перенастройки машины, обладает постоянством качества по ряду показателей, колебание величин не превышает 7–10 %;
- возможность сварки металлов и сплавов в различных сочетаниях и деталей с необработанными поверхностями;
- гигиеничность процесса;
- простота механизации и автоматизации.

Для получения соединений высокого качества главной задачей является правильный выбор параметров процесса сварки. Однако на практике имеет место значительный разброс в рекомендованных параметрах режимов сварки, которые подбираются в каждом конкретном случае для данной детали и данной пары металлов. К сожалению, в литературных источниках нет единого представления о кинетике формирования соединений сваркой трением. Одни исследователи считают, что процесс нагрева зоны соединения начинается в центральной зоне, другие – с нагрева периферии соединения. При изучении кинетики образования соединений при сварке трением не были использованы современные методы исследования.

М. Ф. ПАШКЕВИЧ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В металлообработке находят широкое применение поводковые устройства для передачи вращающего момента от шпинделя станка к заготовке при выполнении токарных, фрезерных и других операций. Однако среди таких устройств незаслуженно мало внимания уделено поводковым устройствам, передающим вращающий момент фрикционным путем, при использовании торцовых поверхностей заготовок. А между тем, использование для передачи вращения от шпинделя к заготовкам их торцовых поверхностей несколько не снижает надежности обработки без брака и не приводит к снижению передаваемого момента по сравнению с хомутиками даже при относительно небольших осевых усилиях. Но при этом наружная поверхность заготовки оказывается свободной для обработки по всей ее длине.

Для оценки возможностей фрикционных поводков с ведущими кольцевыми элементами был изготовлен подпружиненный (плавающий) центр для токарного станка и собрана экспериментальная установка на базе токарно-винторезного станка модели 16К20. Схема этой установки приведена в [1, рис. 3.1].

Заготовка посредством вращающегося центра, установленного в пинноли задней бабки станка, поджималась к фрикционному кольцевому элементу, закрепленному на торце ведущего поводкового устройства, установленного своим хвостовиком в трехкулачковом патроне станка. Кольцевой фрикционный элемент с наибольшим диаметром 60 мм и наименьшим – 40 мм надевался своими отверстиями на четыре штифта поводкового устройства [1, рис. 3.2].

Для измерения силы, с которой заготовка своим левым торцом поджималась к фрикционному кольцу, использовался динамометр сжатия, на который непосредственно воздействовал вращающийся центр. Оценка величины момента, который могут передать силы трения между торцом заготовки и фрикционным кольцом, осуществлялась при помощи порошкового электромагнитного тормоза типа ПТ16М.

Задача исследований состояла в получении экспериментальных зависимостей между наибольшим моментом трения M_T и осевой силой Q .

Ведущие кольцевые элементы изготавливались из стали 45 сырой и закаленной до твердости HRC 40–42; текстолита; серого чугуна СЧ20; ретинакса марки Б; асбестового материала ЭМ-2; резины.

Экспериментальные данные показали, что во всех случаях зависимости между наибольшим моментом трения M_T и осевой силой Q практически линейные, которые с достаточной для практического применения точностью (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,982-0,996$) могут быть описаны соотношениями, приведенными в табл. 1.

Табл. 1. Математические зависимости между наибольшим моментом трения M_T и осевой силой Q

Материал ведущего кольцевого элемента	Зависимость $M_T = f(Q)$ (Q в Н; M_T в Нм)	Достоверность аппроксимации R^2
Сталь 45	$M_T = 0,0025 Q$	0,9933
Сталь 45 HRC 40 – 42	$M_T = 0,0036 Q$	0,9819
Текстолит	$M_T = 0,0042 Q$	0,9830
Серый чугун СЧ-20	$M_T = 0,0031 Q$	0,9850
Ретинакс	$M_T = 0,0109 Q$	0,9914
Асбест. материал ЭМ-2	$M_T = 0,0131 Q$	0,9957
Резина	$M_T = 0,0154 Q$	0,9963

Приведенные в табл. 1 зависимости $M_T = f(Q)$ позволяют определить величины силы Q при заданных материалах ведущего кольцевого элемента и условиях резания, которые характеризуются моментом резания $M_p = P_z R$. В последнем соотношении P_z – это тангенциальная составляющая силы резания, а R – наибольший радиус обрабатываемой поверхности.

Приравняв M_T и M_p с учетом коэффициента запаса $k=1,2-1,5$ получим следующие соотношения для Q при различных материалах колец:

$Q = k P_z R / 0,0025$ – из стали 45;

$Q = k P_z R / 0,0036$ – из стали 45 HRC 40–42;

$Q = k P_z R / 0,0042$ – из текстолита;

$Q = k P_z R / 0,0031$ – из серого чугуна СЧ20;

$Q = k P_z R / 0,0109$ – из ретинакса;

$Q = k P_z R / 0,0131$ – из асбестового материала ЭМ-2;

$Q = k P_z R / 0,0154$ – из резины.

По полученным зависимостям можно определить режимы резания, допускаемые силой Q , используя эмпирические формулы для P_z .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологическая оснастка. Проектирование поводковых устройств: учеб. пособие по технологической оснастке для студ. машиностроительных вузов / М. Ф. Пашкевич [и др.]; под ред. М. Ф. Пашкевича. – Минск : БГПА, 1998. – 180 с.

УДК 621.791

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АКТЫ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Т. И. БЕНДИК, В. В. ВЫДРОВА

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

За последние годы в Республике Беларусь введено в действие более 250 гармонизированных с европейскими и международными нормами технических кодексов и стандартов (ТКП, СТБ EN, СТБ ISO), регламентирующих проектирование, изготовление и монтаж конструкций различного назначения.

В области проектирования сварных конструкций, начиная с 2007 года, введены в действие следующие основные ТНПА, регламентирующие требования к объектам строительной отрасли, машиностроения и теплоэнергетики: ТКП EN 1993-1-8-2009 «Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1–8. Расчет соединений», ТКП EN 1993-1-6-2009 «Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-6. Прочность и устойчивость оболочек», ТКП EN 1993-1-9-2009 «Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1–9. Усталостная прочность», ТКП EN 1993-4-2-2009 «Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 4–2. Резервуары», ТКП EN 1993-4-3-2009 «Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 4–3. Трубопроводы», ТКП 45-1.03-236-2011 «Строительно-монтажные работы. Сварочные работы. Правила производства».

Для резервуарных конструкций и сосудов, работающих под давлением, приняты следующие нормы: ТКП 45-5.04-172-2010 «Стальные вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов. Правила проектирования и устройства», СТБ EN 14015-2009 «Проектирование и производство резервуаров для хранения жидкости стальных, сварных, наземных, с плоским дном, цилиндрических, вертикальных, монтируемых на строительной площадке в условиях не ниже температуры окружающей среды. Технические требования», СТБ EN 1708-1-2012 Сварка. Соединения сварные стальных деталей. Конструктивные элементы сварных соединений оборудования, работающего под давлением», а также серия стандартов СТБ EN 13445.

Перечисленные ТНПА не отменяют действия предшествующих национальных норм проектирования, а основной задачей их введения является снятие технических барьеров по целому ряду направлений, в том числе, проектированию сварных конструкций, проведению сборочно-сварочных работ, применяемым сварочным материалам, квалификации персонала в области сварочного производства.

УДК 621.914.2:669
СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ
КОМПЛЕКСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА
И ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В. М. ШЕМЕНКОВ, Ф. Г. ЛОВШЕНКО, *Г. Ф. ЛОВШЕНКО, М. А. БЕЛАЯ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Могилев, Минск, Беларусь

Проблема повышения износостойкости инструментальных твердых сплавов в последнее время имеет большое значение. Из-за низких показателей износостойкости инструмента значительно снижается эффективность металлообработки.

Одним из перспективных способов повышения износостойкости является модифицирующая обработка материалов комплексным воздействием высоковольтным тлеющим разрядом постоянного тока и постоянным магнитным полем. Данное воздействие обеспечивает формирование уникальных структурно-фазовых состояний в приповерхностных слоях, а также широкий масштаб модификации структуры.

Для установления закономерностей и механизмов структурно-фазовых превращений, протекающих в поверхностном слое при обработке, были проведены исследования на партии образцов, изготовленных из твердых сплавов ВК8 и ТН-20.

В результате микродюрометрических исследований установлено, что обработка приводит к повышению твердости сплава ВК8 на 10–15 %, а сплава ТН-20 – на 15–20 %.

На основании металлографических исследований, с помощью электронной сканирующей микроскопии установлено, что в процессе обработки в твердом сплаве ВК8 формируется блочно-фрагментированная структура карбидной фазы WC.

При проведении рентгеноструктурного анализа было выявлено, что обработка приводит к увеличению размера фрагментов кобальтовой связки и изменению соотношения фаз α -Co и β -Co, а также в граничной и объемной диффузии Co в WC. В твердом сплаве ТН-20 происходит уменьшение искажений как в связующих материалах (Ni + Mo), так и в твердой фазе (TiC); перераспределение TiC по глубине.

Полученные результаты, за исключением микротвердости, незначительно отличаются от результатов, полученных ранее при обработке твердых сплавов лишь тлеющим разрядом.

Стоит отметить, что комплексное воздействие приводит к более существенным изменениям морфологии поверхности, а это объясняется интенсификацией процесса распыления.

УДК 674.055
СПОСОБ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПЛИТНЫХ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСПИРАЦИИ

П. В. РУДАК, О. Г. РУДАК,
*А. БАЛТРУШАЙТИС, *Г. КЯТУРАКИС
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
*«КАУНАССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь; Каунас, Литва

Задачей описываемой разработки является повышение эффективности аспирации, сокращение энергетических затрат на удаление стружки и пыли из зоны резания плитных древесных материалов, обеспечение свободного выхода стружки и пыли из зоны резания благодаря использованию кинетической энергии стружки и пыли – их направлению в благоприятном, с точки зрения их удаления, направлении (в верхнем направлении – в сторону колпака системы аспирации или в нижнем направлении – в сторону транспортера отходов), т.е. в направлении пылестружкоприемника.

Решение задачи достигается тем, что процесс фрезерования плитного древесного материала осуществляется фрезой, ось которой наклонена в направлении подачи или в направлении, противоположном направлению подачи под углом, значение которого подбирается для обеспечения выхода стружки и пыли из зоны резания в направлении пылестружкоприемника.

Древесная стружка и пыль, выходя из межзубой впадины инструмента, выбрасываются из зоны резания в виде снопа, обладающего значительными начальной скоростью и кинетической энергией. Стружка и пыль в таком снопе медленно теряют скорость, испытывая сопротивление воздуха, – их улавливание сопряжено с необходимостью обеспечения высоких скоростей воздушных потоков в колпаке системы аспирации, т.е. со значительными энергетическими потерями и низкой эффективностью.

Дереворежущие фрезы эксплуатируются при высоких значениях частот вращения и скоростей подачи без применения смазывающе-охлаждающих жидкостей в связи с чем древесные стружка и пыль приобретают высокие начальные скорости, что затрудняет их улавливание.

На рис. 1 показана фреза 1, ось которой наклонена в направлении подачи под углом наклона оси фрезы χ . Фреза совершает вращение относительно собственной оси с угловой скоростью ω и осуществляет фрезерование заготовки 2 плитного материала со скоростью подачи V_s .

Стружка и пыль в процессе выхода из зоны резания формируют сноп 3, направленный в сторону пылестружкоприемника 4 (колпака системы аспирации).

рации), что облегчает захват частиц стружки и пыли воздушными потоками пылестружкоприемника (показаны пунктирными линиями).

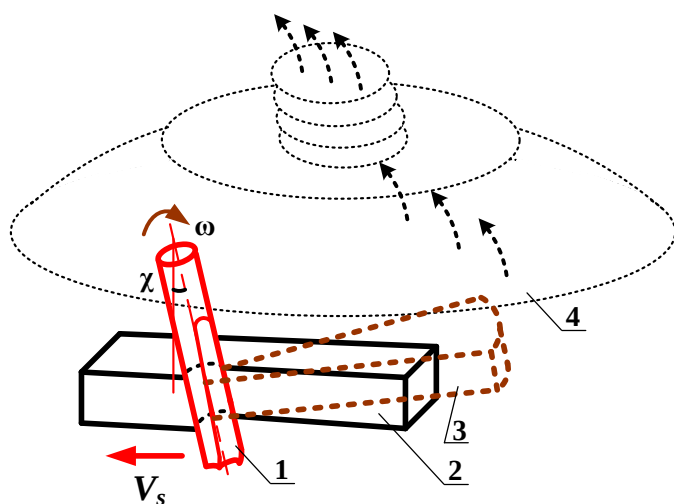


Рис. 1. Схема обработки фрезой (ось наклонена в направлении подачи)

На рис. 2 показана фреза 1, ось которой наклонена в направлении, противоположном направлению подачи под углом наклона оси фрезы χ .

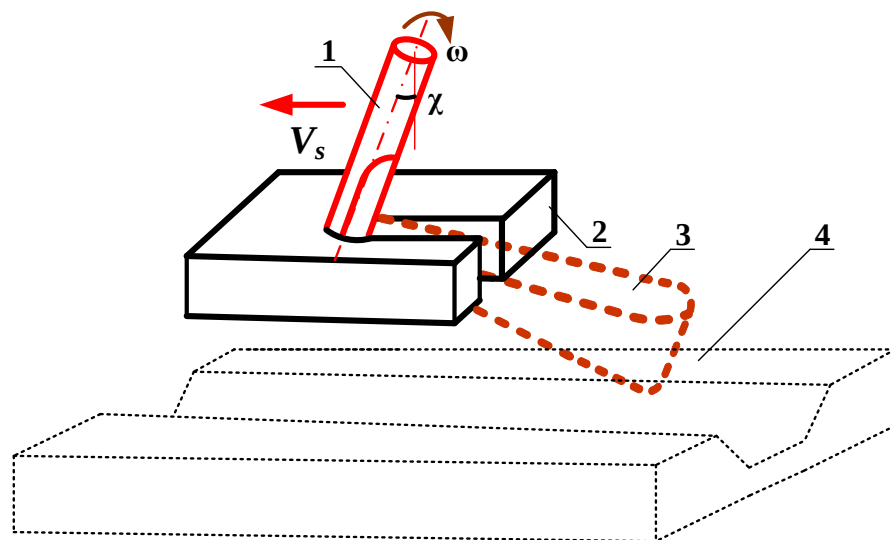


Рис. 2. Схема обработки фрезой (ось наклонена в направлении, противоположном направлению подачи)

Инструмент осуществляет фрезерование заготовки 2 плитного материала со скоростью подачи V_s .

Стружка и пыль в процессе выхода из зоны резания формируют сноп 3, который направлен в сторону пылестружкоприемника 4 (транспортера отходов обработки станка), что сокращает дальность распространения стружки и пыли от зоны резания, предотвращает загрязнения элементов станка и около-станочного пространства.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (ФФ12-074).

ка антифрикционных покрытий обладающих низким коэффициентом трения, высокой коррозионной стойкостью, термостойкостью, является актуальной задачей для современного машиностроения. Многослойные покрытия были изучены достаточно хорошо, однако, нанокпозиционные покрытия были получены не так давно и свойства их сейчас интенсивно изучаются. Интерес к данному классу покрытий обусловлен тем, что покрытия показывают высокие механические характеристики. Механизм, увеличивающий прочностные характеристики нанокпозиционных покрытий заключается в том, что количество атомов находящихся в граничной области сопоставимо с количеством атомов в самом зерне. Такое строение препятствует зарождению дислокаций и развитию трещин. Представляет интерес изучение энергетических характеристик покрытий AlTiN, полученных при различных технологических режимах формирования. Проведенные исследования показали, что значения поверхностной энергии и ее составляющие зависят от условий нанесения покрытия, а также от разности потенциалов, подаваемых на катод. С увеличением напряжения на катоде, минимум значений поверхностной энергии смещается в область более высоких давлений. Дальнейшее увеличения давления реакционного газа в камере приводит к увеличению значений поверхностной энергии получаемых покрытий.

Покрытия AlTiN, сформированные при высоком вакууме в камере характеризуются большим количеством включений, которые имеют фактически одинаковые физико-механические характеристики с матрицей покрытия. Увеличение давления газов в вакуумной камере приводит к увеличению геометрических размеров включений, при увеличении их концентрации в матрице покрытия. Данный характер распределения включений наблюдается при напряжении смещения на катоде минус 50 В. Возрастание значений смещения напряжения на катоде приводит к изменению характера распределения включений в матрице покрытий. С увеличением давления реакционного газа в камере, происходит диспергирование структурных составляющих в покрытии AlTiN. Изменение условий формирования покрытий на базе AlTiN должно приводить к изменению морфологии и структуры получаемых адсорбированных пленок. В целом, в осажденных покрытиях, полученных из сплавных катодов TiAl с использованием дугового испарения, преимущественно формируются нитриды титана и алюминия. Покрытия AlTiN, сформированные при высоком вакууме в камере характеризуются большим количеством включений, которые имеют фактически одинаковые физико-механические характеристики с матрицей покрытия.

Н. М. ЧЕКАН, Е. В. ОВЧИННИКОВ, Е. И. ЭЙСИМОНТ

Учреждение образования

«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Я. Купалы»

Гродно, Беларусь

В условиях рыночного производства наблюдается постоянное повышение цен на энергоресурсы, материалы, трудовые ресурсы, что оказывает большое влияние на формирование стоимости выпускаемых товаров и изделий. В связи с этим приоритетом в развитии современного машиностроения является создание ресурсосберегающих технологий, создание материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками на базе развития нанотехнологий, наноматериалов, инженерии поверхности. Большой интерес проявляется к покрытиям, получаемым с помощью плазмохимических методов, основанных на вакуумных технологиях. Известно, что покрытия на базе алмазоподобного углерода (АПУ), получаемые из плазмы катодно-дугового разряда, обладают высокой твердостью – до 60–80 ГПа, низким коэффициентом безсмазочного трения (порядка 0,08–0,1 в парах с различными материалами), высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью к большинству агрессивных сред, в том числе и к воздействию биологически активных сред (кровь, синовиальная жидкость и т.п.). Однако данным покрытиям присущ ряд недостатков, не позволяющий в полной мере использовать их в технике. Алмазоподобные покрытия характеризуются высоким уровнем остаточных напряжений, приводящих к резкому снижению значений адгезии связи покрытия с подложкой; наличием в плазменном потоке макрочастиц, уменьшающих антифрикционные и антикоррозионные свойства покрытий; препятствуют широкому использованию алмазоподобных углеродных покрытий (АПУ) при формировании упрочненных слоев на рабочих поверхностях металлообрабатывающего инструмента, прецизионных пар трения и оснастки, используемой при литье изделий из пластмасс, нефтехимического комплекса. Разработка технологических основ процесса упрочнения изделий машиностроения из конструкционных сталей путем нанесения антифрикционных, коррозионностойких покрытий с малым уровнем механических напряжений и характеризующихся низкой плотностью макродефектов является актуальной проблемой, решение которой позволит повысить рабочий ресурс изделий. Одним из направлений получения таких защитных слоев является получение комбинированных покрытий, включающих в свой состав несколько химических элементов. Так широко применяются в машиностроении, авиастроении покрытия на базе нитрида титана, карбида титана, карбонитрида титана, недостатками данных покрытий является недостаточная термостойкость находящаяся в области 800–873 К. Таким образом, разработ-

П. В. РУДАК, Д. В. КУИС, О. Г. РУДАК,

*А. БАЛТРУШАЙТИС, *Г. КЯТУРАКИС

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*«КАУНАССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Беларусь; Каунас, Литва

Разработка относится к области обработки материалов фрезерованием и может быть использована для определения коэффициента трения между стружкой и поверхностью лезвия и коэффициента трения задней поверхности лезвия и примыкающей к ней режущей кромки при исследовании режимов фрезерования древесины и плитных древесных материалов.

На рис. 1 показано лезвие, осуществляющее обработку заготовки со скоростью резания V_e при угле резания δ .

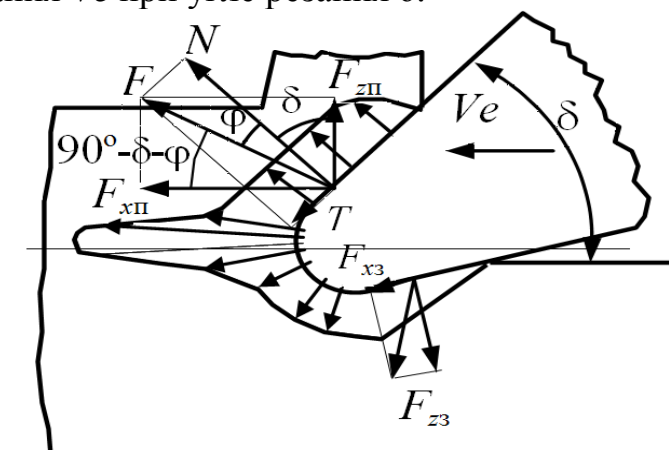


Рис. 1. Схема сил по поверхностям лезвия

По передней поверхности лезвия действуют: N – сосредоточенная сила, T – сила трения и равнодействующая F указанных сил.

Проекции силы F на направление V_e скорости главного движения и на нормаль к нему дают следующие силы: F_{xp} – касательную силу резания по передней поверхности; F_{zp} – нормальную силу резания по передней поверхности. По задней поверхности лезвия действуют: F_{xz} – касательная сила резания по задней поверхности; F_{z3} – нормальная сила резания по задней поверхности.

Значение коэффициента трения μ скольжения частицы стружки по передней поверхности лезвия:

$$\mu_2 = \operatorname{tg}(\gamma - \operatorname{arctg}(\frac{F_z - F_{z3}}{F_x - F_{x3}})) \quad (1)$$

Коэффициент f трения задней поверхности лезвия и примыкающей к ней режущей кромки:

$$f = \frac{F_{x3}}{F_{z3}} \quad (2)$$

На рис. 2 показана схема определения сил по поверхностям лезвия в процессе фрезерования плитных древесных материалов.

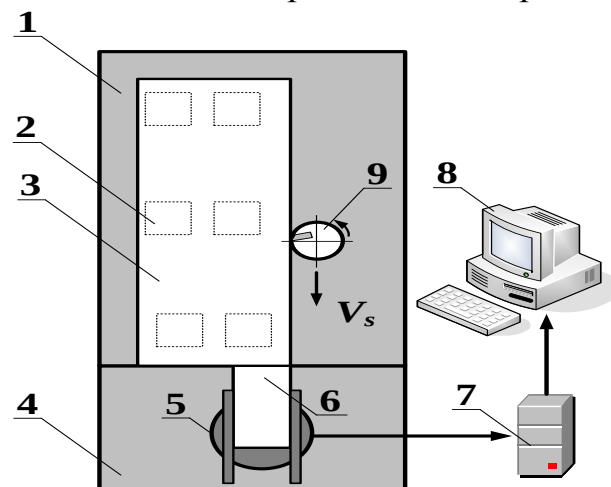


Рис. 2. Схема определения сил по поверхностям лезвия

На фиксаторах 2 рабочего стола 1 станка устанавливается заготовка 3 плитного древесного материала, которая обрабатывается фрезой 9, совершающей движение подачи со скоростью V_s .

На рабочем столе 4 станка закрепляется динамометр 5, в котором устанавливается заготовка 6 плитного древесного материала для динамометрирования. Торцы заготовок 6 и 3 устанавливаются встык.

От динамометра 5 в процессе резания заготовки 6 сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь 7 и далее на персональный компьютер, где происходит его обработка и визуализация.

Первоначально выполняется динамометрирование сил резания по задней поверхности лезвия в процессе фрезерования с нулевой высотой снимаемого слоя, что позволяет определить усилия F_{x3} и F_{z3} и по уравнению (2) рассчитать коэффициент f трения.

Далее, выполняют динамометрирование усилий F_x и F_z при снятии припуска, и по уравнению (1) выполняют расчет коэффициента μ трения.

На рабочем столе 1 реализуют процесс фрезерования заготовки плитного древесного материала типичной для производства длины на исследуемом режиме (скорость резания, толщина стружки, условия аспирации), что позволит воссоздать температурный и другие режимы процесса реальной эксплуатации инструмента непосредственно перед выполнением динамометрирования заготовки на рабочем столе 4.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (ФФ12-074).

Табл. 1. Концентрация химических элементов в разных точках зон влияния (масс.%)

№	Al	Si	Ca	K	Pb	Mg	Fe	Mn	Ti	Zn
1	61,41	12,44	7,50	3,64	10,54	2,24	0,88	0,50	0,80	0,00
2	94,64	1,41	0,05	0,06	1,19	2,17	0,10	0,35	0,01	0,00
3	69,87	13,43	4,54	3,22	5,49	2,08	0,24	0,00	1,11	0,00
4	79,49	0,33	0,24	0,07	0,60	0,00	7,65	0,05	1,84	0,00
5	75,72	2,26	0,27	0,00	1,66	0,00	9,82	7,48	0,06	2,71
6	1,94	14,48	0,49	3,14	2,35	0,25	76,86	0,25	0,06	0,15
7	51,30	3,92	0,63	0,00	5,36	0,00	9,93	4,62	0,14	24,08
8	86,9	12,75	0,00	0,00	0,03	0,01	0,13	0,06	0,00	0,05

Примечание: №1 – усреднение по поверхности 200×300 мкм; №8 – исходный анализ после литья заготовки

В зонах влияния обнаруживается большое количество легирующих элементов. Например, легирующие элементы, которые отсутствовали в исходном материале. Были обнаружены калий и кальций (K и Ca). Эти элементы в процессе изготовления (литья) по технологическим причинам удаляются из расплава. Концентрация Ca в различных точках зоны изменялась от 0,05 до 7,5 масс.%. Концентрация K меняется до 3,64 масс.%. При данном анализе возможная ошибка не превышает 0,4 масс.%. Значение концентрации Pb в зоне влияния во всех анализах от 0,60–10,54 масс.%, что превышает фоновое содержание в исходном сплаве (0,03 масс.%). Титана не было в исходном сплаве. Концентрация Ti в зоне влияния колеблется от 0,01 до 1,84 масс.%. Цинк был в исходном сплаве в качестве примеси – 0,05 масс.%. Концентрация Zn в двух точках анализа оказалась значительно выше фонового значения от 2,71 до 24,08 масс.%, поэтому результаты нельзя объяснить как приборную ошибку. Прошивка алюминиевой матрицы частицами приводит к сильным искажениям в зоне проникновения. Размер поперечного сечения в канальной зоне всегда меньше, чем исходный размер ударника.

Основные выводы.

1. В алюминии и сплаве Al-12%Si зона «влияния» представляет собой матрицу, простроченную волокнами из синтезированного при СГП материала.

2. В комплексе материал зоны «влияния» отличается от матрицы специфической реакцией на химическое и электрохимическое травление. За счет отличия в химических и электрохимических свойствах удалось установить, что доля зон «влияния» составляет 8–10% от объема образца материала.

3. Материал зон «влияния» можно активировать или ингибировать по сравнению с металлической матрицей, используя различные порошки.

4. Алюминий и сплав Al-12%Si при СГП армируются по объему зонами «влияния» из перестроенного материала и приобретают структуру и свойства типичного композиционного материала.

УДК 534.2
ЛОКАЛЬНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
ВВЕДЕНИЕМ СГУСТКОВ ДИСКРЕТНЫХ ПОРОШКОВЫХ ЧАСТИЦ

С. М. УШЕРЕНКО, Е. И. МАРУКОВИЧ, Ю. С. УШЕРЕНКО
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым
направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ
Минск, Могилев, Беларусь

Развитие технологии получения легированных материалов и сплавов происходит в условиях резкого изменения ключевых условий операций литья и дополнительного легирования. Причиной этих изменений является скачкообразное повышение стоимости энергии и стоимости вводимых легирующих добавок.

Для минимизации стоимостных потерь в этой ситуации необходимо, во-первых, значительное сокращение количества легирующих добавок за счет легирования материалов в форме композиционных материалов. При легировании армирующих зон по объему можно существенно сократить объем легированного материала, получая высокий уровень физико-химических свойств. Уменьшить энергетические затраты легирования литых материалов можно за счет использования нетрадиционной технологии порошковой металлургии, известной под названием процесс сверхглубокого проникания. При этом сгусток дискретных порошковых частиц примерно равный 0,1 кг вводится в объем твердого тела за время в несколько сотен микросекунд. При этом затраты импульсной энергии по абсолютной величине оказываются равным 50–100 КДж.

Качественным отличием процессов статического и динамического массопереноса является то, что флуктуации энергии и состава при динамическом переносе есть правило, а не исключение как при статике. Основной механизм перераспределения химического состава – ударно-волновое воздействие. Наличие градиентов по плотности в объеме металлической заготовки в автомоделном режиме приводит к градиентам легирования в объеме алюминиево-кремниевого сплава Al-12%Si. При введении в этот сплав смеси порошков свинца и карбида кремния обеспечивается длинномерное (до 180 мм) локальное армирование. При этом состав легированной арматуры будет существенно отличаться от исходного состава литой заготовки (табл. 1).

УДК 658.512.2
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ
СИНТЕЗ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ
МЕХАНОСБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

А. Н. РЯЗАНЦЕВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В процессе структурно-параметрического синтеза специальных средств технологического оснащения механосборочных операций конструктору требуется выполнять достаточно большой объем вычислений параметров сопрягаемых деталей с использованием сведений из государственных, отраслевых стандартов и нормативов. Например, для определения 17 параметров поршня пневмоцилиндра необходимо выполнить 16 операций поиска данных в таблицах стандартов и нормативов, а затем выполнить 7 вычислительных операций. При проектировании сложных объектов с большим количеством оригинальных деталей конструктор может затрачивать на поиск данных и расчеты до 90 % времени от общего времени проектирования конструкции.

В настоящее время существует семейство САПР (WinMachine НТЦ "АПМ" и др.) имеющих подсистемы параметрического проектирования различных видов разъёмных и неразъёмных соединений, механических передач и т.п. Некоторые представители семейства CAD-систем имеют в своём составе базы данных и библиотеки графических изображений, часто встречающихся типовых конструктивных элементов (метизы, подшипники и т.п.), что позволяет в некоторой степени повысить уровень автоматизации проектирования. Но, к сожалению, подобные системы не могут обеспечить автоматизированный параметрический синтез всех задач, которые встречаются в практике инженерного проектирования.

Учитывая многообразие инженерных задач, а во многих случаях и ограниченную область их применения, создать большое количество специализированных систем для автоматизированного проектирования различных изделий силами софтверных компаний не представляется возможным. Кроме того, создание узкоспециализированных систем автоматизированного проектирования требует привлечения большого количества высококвалифицированных специалистов в различных областях инженерных знаний и постоянной поддержки баз данных в актуальном состоянии в связи с возможными изменениями стандартов и методик проектирования изделий. Эти обстоятельства вызывают сомнение в экономической целесообразности создания подобных узкоспециализированных систем.

С целью повышения уровня автоматизации структурно-параметрического синтеза специальных средств технологического оснаще-

ния механосборочных операций разработана методика, которая позволяет автоматизировать этот этап проектирования без привлечения программистов и значительных затрат времени на создание автоматизированных проектных процедур и операций.

В основе разработанной методики лежит аппарат формализации описания поиска нормативных данных с помощью информационно-логических таблиц (ИЛТ). Табличные процессоры позволяют довольно просто описать структуру ИЛТ и с помощью встроенных функций реализовать операции поиска данных и вычисления параметров. Например, в среде табличного процессора Microsoft Excel эта процедура может быть реализована встроенными функциями: ЕСЛИ, И, ИНДЕКС, ПОИСКПОЗ, ИСТИНА. Например, в показанном на рис. 1 фрагменте листа электронной таблицы в области данных поиск выполнен с помощью следующей формулы =ЕСЛИ (Поршень!\$B\$17<=A17;ИСТИНА), а область результатов формируется выражением =ИНДЕКС(\$C\$17:\$I\$22;ПОИСКПОЗ (ИСТИНА;\$B\$17:\$B\$22;0);0).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
16	D		d ₂	s	h _{спр}	C	E	H _{спр}	b	
17	25	ЛОЖЬ	2,5	0,15	1,15	3,2	0,1	2,15	3,2	
18	45	ИСТИНА	3,6	0,25	1,55	4	0,2	3,25	4,5	
19	70	ЛОЖЬ	4,6	0,3	1,8	5,7	0,2	4,3	5,7	
20	100	ЛОЖЬ	5,8	0,3	1,8	7	0,2	5,3	7	
21	145	ЛОЖЬ	7,5	0,3	1,83	90	0,2	6,8	9	
22	250	ЛОЖЬ	8,5	0,3	2,4	10	0,2	7,8	10	
23										
24	Результат выбора значений параметров резинофтаропластовых уплотнений по диаметру поршня									
25			d ₂	s	h _{спр}	C	E	H _{спр}	b	
26			3,6	0,25	1,55	4	0,2	3,25	4,5	

Рис. 1. Фрагмент листа электронной таблицы с функциями поиска

Возможность автоматизации создания ИЛТ с помощью систем распознавания текста и путем копирования формул позволяют в кратчайшие сроки создать информационное обеспечение необходимое для автоматизированного проектирования в сочетании с процедурами поиска данных и вычисления параметров изделия.

Разработанная методика автоматического проектирования узкоспециализированных задач средствами инвариантного программного обеспечения прошла проверку при выполнении практических заданий и курсовых работ студентами специализации «Автоматизация производства деталей и узлов машин» и показала свою эффективность с точки зрения простоты автоматизации решения задач структурно-параметрического синтеза, так и сравнительно небольших затрат времени на их реализацию.

f_1 – коэффициент трения порошкового материала по поверхности волокни; D_0, D_x – начальный и текущий диаметр деформационной зоны волокни.

Деформация отдельных частиц порошка имеет место по всей длине рабочей зоны волокни. Однако в первой стадии волочения преимущественное значение в уплотнении порошкового материала имеет относительное перемещение частиц, а во второй стадии преобладает их деформация.

В результате деформации частиц и протягиваемой проволоки происходит увеличение их поверхностей. Относительное увеличение поверхности частицы порошка вследствие протекания пластической деформации можно рассчитать по зависимости:

$$\Delta = 1,5 (16 / 9\pi)^{1/3},$$

а относительное увеличение площади боковой поверхности проволоки в результате пластической деформации по отношению к исходной

$$\Delta = \sqrt{\mu} ,$$

где μ – вытяжка, характеризующая степень деформации.

Адгезия покрытия из металлического порошкового материала идет с высоким уровнем активации частиц в результате их деформации, которая приводит к увеличению и обновлению поверхности, повышению потенциальной энергии атомов и выделению тепла. Весь комплекс физико-химических явлений, происходящих как внутри порошкового слоя, так и на поверхности проволоки приводит к получению соединения в твердой фазе.

Указанным способом осуществлялось формирование покрытий на стальной проволоке из порошков олова, свинца, меди и цинка. Толщину покрытия защитного слоя измеряли на поперечных микрошлифах с использованием металлографического микроскопа.

В результате математической обработки полученных экспериментальных данных была получена эмпирическая зависимость для определения толщины слоя

$$h = A \left(1 - d \ln \frac{d}{d_{\text{вол}}} \right),$$

где A – коэффициент, определяемый опытным путем и зависящий от скорости волочения, материала проволоки, вида порошкового материала и геометрии волочильного инструмента; d – диаметр проволоки; $d_{\text{вол}}$ – диаметр волокни.

С увеличением дисперсности порошкового материала наблюдается увеличение толщины покрытия из порошкового металлического материала, а с увеличением скорости волочения – толщина защитного слоя на проволоке уменьшается.

УДК 621.762
 ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА
 ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Г. П. ТАРИКОВ, А. Т. БЕЛЬСКИЙ, В. В. КОМРАКОВ
 Учреждение образования
 «ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
 им. П. О. Сухого»
 Гомель, Беларусь

До настоящего времени нанесение покрытий методами обработки металлов давлением представляет собой определенный интерес. Учитывая, что волочение является высокопроизводительным процессом, была разработана технология нанесения защитных покрытий на длинномерное изделие в процессе волочения.

Формирование порошкового покрытия осуществлялось на волочильном стане барабанного типа следующим образом.

Длинномерное изделие протягивается через волочильный инструмент в рабочий конус которого подается порошковый материал. Активными силами трения порошок увлекается проволокой в деформационную зону волоки, где происходит его деформация.

Схватывание частиц порошка друг с другом, а также адгезия к материалу длинномерного изделия происходит вследствие возникающих нормальных напряжений в очаге уплотнения и деформации.

Распределение нормальных напряжений вдоль очага деформации определяется по зависимости:

$$\sigma = \frac{[k - B/(m + A)](D_x^2 - d^2)^A}{(D_0^2 - d^2)^{m+A}} + \frac{B}{(m + A)(D_x^2 - d^2)^m},$$

где k , B и A – постоянные коэффициенты, определяемые по зависимостям:

$$k = \beta n_T n_v \nu_k^m (D_k^2 - d^2)^m \sigma_{mc}; B = k \left(m + 1 + \frac{d}{2tg\alpha D_{cp}} \right);$$

$$A = 1 + \frac{f_1 + tg\alpha}{tg\alpha(1 - f_1 tg\alpha)},$$

β – коэффициент Лоде; n_v – коэффициент, учитывающий влияние скорости; n_T – коэффициент, учитывающий влияние температуры; ν_k – относительная плотность покрытия; D_k – диаметр волоки, где порошковый материал достигает плотности компактного металла; d – диаметр проволоки; m – коэффициент, принимающий значение от 3 до 5; σ_{mc} – усредненное значение сопротивления металлической порошка пластической деформации; 2α – угол рабочего конуса волоки; D_{cp} – средний диаметр в зоне деформации волоки;

УДК 621.7.043:621.785
 К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
 МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ С ПОМОЩЬЮ АТОМНО-СИЛОВОЙ
 МИКРОСКОПИИ

И. Н. СТЕПАНКИН, И. А. ПАНКРАТОВ, В. С. МАКСАЧЕВ
 Учреждение образования
 «ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
 им. П. О. Сухого»
 Гомель, Беларусь

Требования современного машиностроительного производства во многом направлены на создание деталей параметры, которых в наибольшей степени приспособлены к условиям их эксплуатации. Наряду с необходимостью достижения заданной точности формы и размеров детали, важным аспектом ресурсного проектирования, является формирование комплекса свойств материала, обеспечивающего снижение повреждающих воздействий наиболее неблагоприятных эксплуатационных факторов. Данная задача решается за счет создания градиента свойств по сечению детали. Выбор способа поверхностного упрочнения определяется в первую очередь функциональными характеристиками поверхностного слоя, которые на стадии проектирования технологического процесса упрочнения поверхности необходимо определять с наименьшими потерями времени.

В этих условиях актуальной становится разработка методики определения модуля упругости модифицированных слоев, как критерия работоспособности оснастки с использованием атомно-силовой микроскопии.

В данной работе для оценки упругих характеристик модифицированных слоев высоколегированных сталей Р6М5 и Х12М был использован метод атомно-силовой микроскопии. Экспериментальный образец, изготовлен из двух металлических пластин. На сопрягаемых поверхностях пластин сформированы упрочненные слои. Модули упругости одного из слоев и материала пластин известны. Модуль упругости искомого слоя определяется из сопоставительного анализа фазового контраста материалов пластин и слоев при атомно-силовом сканировании поперечного микрошлифа образца.

Результаты представляются в виде гистограмм, отражающих зависимость изменения фазы колебаний зонда от опорной частоты колебаний кантилевера (рис. 1, а). Из предположения, что упругие характеристики, определяемые в динамическом режиме работы зонда находятся в линейной зависимости от изменения фазы колебания кантилевера строится сопоставительная гистограмма (рис. 1, б). Линейная интерполяция между значениями отражающими сдвиг фазы колебания при сканировании всех исследуемых слоев позволяет определить модуль упругости искомого материала.

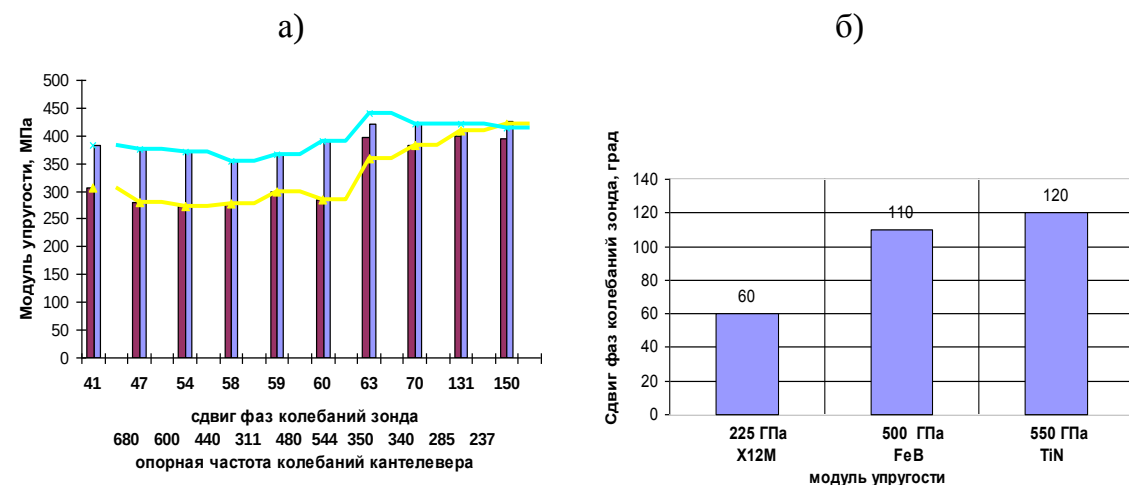


Рис. 1. Анализ фазового контраста слоев

Практическая апробация методики, проведенная на образце, из стали X12M, с нанесенными на сопрягаемые поверхности упрочненными слоями FeV и TiN показала, что модуль упругости FeV составил порядка 500 ГПа. В качестве известных характеристик принимали модуль упругости TiN – 550 ГПа и модуль упругости стали X12M – 225 ГПа. Определенное значение FeV совпадает со справочными данными и подтверждает достоверность результатов, полученных с использованием данного способа.

Полученные результаты согласовываются с методикой, основанной на статическом индентировании испытуемой поверхности кантилевером предложенной в работе [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цуан, Я. Наноиндентирование тонких титаносодержащих углеродных покрытий методом атомно-силовой микроскопии / Я. Цуан, С. А. Чижик // Трение и износ. – 2005. – Т. 26. – С. 385–390.

УДК 621.74 ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ СИЛУМИНОВЫХ ОТЛИВОК ДИАМЕТРОМ 75 мм

В. Ю. СТЕЦЕНКО, Р. В. КОНОВАЛОВ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

В настоящее время основным антифрикционным сплавом, работающим в условиях фрикционного трения, является бронза. Это относительно дорогостоящий материал и далеко не каждое предприятие может приобретать в необходимых количествах. Силумин является более дешевым и доступным сплавом, но, для повышения его антифрикционных свойств этого материала, структура заготовок должна быть наноструктурной.

В ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси» разработана принципиально новая технология, позволяющая получать заготовки из эвтектического силумина с наноструктурным кремнием, которые наиболее приемлемы для получения сплавов с высокой фрикционной износостойкостью. Это достигается увеличением скорости затвердевания отливки при литье закалочным затвердеванием. Технология основана на применении кристаллизатора со струйной системой охлаждения и устройства затопленно-струйного вторичного охлаждения.

Разработаны кристаллизатор и устройство затопленно-струйного вторичного охлаждения. Для получения отливок диаметром 75 мм из наноструктурного силумина, были определены рациональные конструкционные параметры технологической оснастки, режимы литья и охлаждения. Установлено, что для того чтобы получить отливки диаметром 75 мм из эвтектического наноструктурного силумина со средним размером кристаллов кремния 660 нм необходимо: перегреть расплав до 900 °С, выдерживать его в печи 3 часа, а процесс литья закалочным затвердеванием осуществлять при расходе охладителя не менее 42 м³/час.

Детали, из полученных заготовок, успешно прошли промышленное испытание в условиях действующего производства в качестве подшипников скольжения и червячных колес и поставляются на предприятия Республики Беларусь (ЧТПП «ВС-Техника» г. Полоцк, ОАО Станкозавод «Красный борец» г. Орша, ОАО «Белшина» г. Бобруйск, ОАО «Завод Оптик» г. Лида). ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси» имеет возможность поставлять наноструктурные антифрикционные заготовки и детали из них в количестве 7 т в год. Стоимость 1 кг наноструктурного сплава составляет 10 USD.

УДК 621.74
АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ ИЗ
ОТВАЛЬНЫХ ШЛАКОВ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. Ю. СТЕЦЕНКО, А. П. ГУТЕВ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

В настоящее время в России скопились миллионы тонн отвальных шлаков медеплавильного производства, которые не подлежат обычной карботермической переработке. Эти шлаки представляют собой обогащенную железистую руду с повышенным содержанием серы: FeO – 45...48 %, SiO_2 – 30...40 %, FeS – 8 %, остальное – оксиды Cu , Al , Zn , Ca . Переработка отвальных шлаков в металлические слитки является актуальной задачей.

В ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси» разработан алюминотермический способ переработки доменного присада, железосодержащей окалины и стружки алюминиевых сплавов в стальные слитки. Способ не требует энергетических затрат, поскольку температуры реакции хватает, чтобы расплавить сталь и увеличить ее температуру до 2100 °С, что позволяет провести легирование стали. Созданная опытная установка позволяет переработать за один раз до 40 кг отходов. Использовали следующую шихту: шлак медеплавильного производства – до 60 %, окалина (Fe_2O_3) – до 30 %, стружка алюминиевых сплавов (технический алюминий, силумин, дюралюминий) – 20...25 %, негашеная известь (CaO) – 8...15 %. Стружка очищалась от органических веществ и сушилась при температуре 200 °С в течение 0,5 часа, а затем измельчалась до фракции 5 мм. Отвальные шлаки и окалина очищались от органических веществ, сушились при температуре 200 °С в течение 1 часа и измельчались до фракции 5 мм. Шихта дозарировалась и смешивалась в заданной пропорции, ее масса составляла 32 кг. Для проведения алюминотермической реакции шихта нагревалась до 400...500 °С. С целью повышения выхода годного и стабильности реакции использовали дугу мощностью 300 кВт. Это позволяло нагреть глиноземистый шлак до 2000 °С и поддерживать его в жидком состоянии до разливки металла. В результате металлотермической реакции получили стальные слитки следующего химического состава, вес. %: Si – 6,5; Al – 2,7; Cu – 3,8; Mn – 0,51; C – 1,2; S – 0,1; P – 0,07; Fe – остальное. Выход годного литья составлял 40 %. Избыток серы в виде Al_2O_3 уходил в шлак.

Таким образом, метод алюминотермического восстановления позволяет перерабатывать отвальные шлаки медеплавильного производства в стальные слитки.

УДК 621.865.8
РАЗРАБОТКА ЦИКЛОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ

А. М. ФЕДОРЕНКО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

На кафедре «Технология машиностроения» в лаборатории «Автоматизации технологических процессов» установлены два промышленных робота РФ-202М, предназначенных для выполнения погрузочно-разгрузочных работ на технологическом оборудовании. Исследование технического состояния указанных устройств показало удовлетворительное состояние механической части пневмоприводов и электроавтоматики, а так же полную неисправность системы управления СУ-202М. В результате было принято решение о создании новой системы управления на основе современной элементной базы.

Была разработана структурная схема системы управления рис. 1.

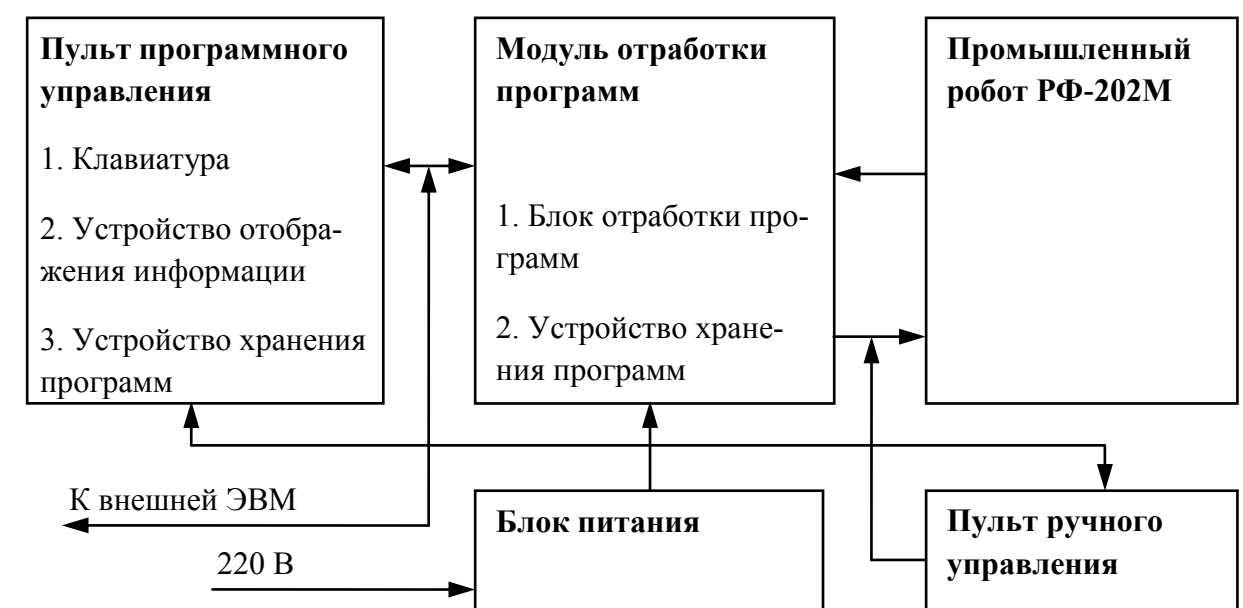


Рис. 1. Структурная схема системы управления

Разрабатываемая система управления состоит из следующих основных модулей: пульт программного управления, модуль обработки программ, пульт ручного управления.

Пульт программного управления построен на основе микроконтроллера (PIC16F628A) и включает в себя устройство ввода, редактирования управляющей программы (клавиатура), устройство вывода информации (символь-

ный или графический дисплей). Долговременное хранение программ осуществляется в энергонезависимой памяти контроллера.

Модуль отработки программ так же построен на основе контроллера PIC16F628A и выполняет следующие функции: хранение и исполнение управляющей программы, декодирование управляющей программы в управляющие сигналы электроавтоматики пневмоклапанов, контроль исполнения команд программы по сигналам датчиков положения робота.

Блок питания предназначен для преобразования сетевого напряжения 220 В в напряжения питания электроклапанов и контроллеров – 30 В и 5 В.

Пульт ручного управления предназначен для непосредственного управления электроклапанами робота.

Стрелками показаны каналы связи между различными модулями: стрелки выходящие из блока питания – подача питающего напряжения к различным модулям системы управления; входящие в блок питания – подача сетевого напряжения 220 В; двунаправленные стрелки – канал связи для обмена информацией между контроллерами пульта, модуля отработки программ и внешней ПЭВМ; стрелка выходящая из ПР – канал информации о состоянии датчиков; стрелка входящая в ПР – сигналы управления электроклапанами.

Построение системы управления по модульному принципу позволяет в дальнейшем развивать каждый из элементов системы независимо друг от друга, а также допускает эксплуатацию робота и системы управления в следующих основных конфигурациях:

1) робот РФ-202М совместно с блоком питания и пультом ручного управления – используется для демонстрации элементарных перемещений исполнительных органов робота, а также для работы в условиях неисправности системы управления;

2) робот РФ-202М совместно с блоком питания и модулем отработки программ – отработка программ в автоматическом режиме;

3) робот РФ-202М совместно с блоком питания, модулем отработки программ и пультом программного управления – создание, редактирование и исполнение управляющих программ в автоматическом и пошаговом режиме;

4) робот РФ-202М совместно с блоком питания, модулем отработки программ и ПЭВМ – предоставляет более широкие возможности по созданию, хранению управляющих программ, наблюдению за функционированием ПР. В такой конфигурации возможно объединение нескольких ПР, одной или нескольких ПЭВМ в локальную сеть;

5) только пульт программного управления – просмотр, создание и редактирование управляющих программ;

6) пульт программного управления совместно с ПЭВМ – обмен программами, сохранение программ на жестком диске ПЭВМ.

Разработанная система управления отличается низкой стоимостью, малым количеством дискретных элементов и высокой надежностью.

Объектом исследования являлись матрицы для изготовления болтов железнодорожного крепежа М 22×70. Оценку напряженного состояния инструмента осуществляли с помощью метода конечных элементов, реализуемого программным продуктом ANSYS.

Результаты оценки напряженного состояния рабочей полости матриц для изготовления головки болтов железнодорожного крепежа показали, что наиболее высокая концентрация напряжений возникает в зоне радиуса сопряжения отверстия под стержень болта с рабочей полостью матриц. Величина эквивалентных напряжений, рассчитываемых по Мизесу на рабочей поверхности матрицы прототипа, составила порядка 5300 МПа при величине радиуса сопряжения – 1,5 мм. Контактная нагрузка на рабочую поверхность матриц в рассматриваемой зоне возникает как реакция со стороны деформируемой заготовки. Полученное в расчетах значение эквивалентной нагрузки соответствует предельному значению предела прочности на сжатие быстрорежущих сталей, из которых изготавливаются матрицы. Пульсирующее воздействие на материал инструмента приводит к интенсивному изнашиванию гравюры и сопровождается постепенным увеличением радиуса сопряжения в инструменте. Прекращение эксплуатации матриц производится после того, как величина радиуса сопряжения формообразующих поверхностей инструмента достигла величины 5 мм. Это значение является предельной величиной рассматриваемого геометрического параметра. К моменту окончания эксплуатации, рабочая поверхность инструмента в зоне радиуса сопряжения имеет множественные повреждения, значительно искажающие профиль гравюры инструмента и форму поковки.

Для оптимизации напряженно-деформированного состояния матриц были проведены расчеты напряженного состояния, для случаев изменения радиуса в диапазоне 1,5–5,0 мм, а также изготовления на боковых поверхностях инструмента разгружающих камер. Результаты расчетов сопоставили со скоростью изнашивания гравюры инструмента в процессе наработки и постепенного увеличения радиуса сопряжения. Полученная зависимость показывает, что увеличение радиуса до предельно допустимого значения позволяет обеспечить существенное снижение скорости изнашивания гравюры штампа и изменить механизм разрушения материала оснастки. В случае эксплуатации матриц, начальный радиус сопряжения формообразующих поверхностей которых составлял 1,5 мм, в поверхностном слое инструмента интенсивно развивались очаги контактной усталости материала. Матрицы, радиус сопряжения формообразующих поверхностей которых составлял 5 мм, практически не изнашивались за счет избирательного разрушения гравюры благодаря тому, что величина контактных напряжений на их рабочей поверхности не превышала 2300 МПа. Их эксплуатация сопровождалась постепенным углублением полости инструмента без искажения профиля и отклонения размеров поковки за пределы требований чертежа. Проведенные мероприятия позволили увеличить стойкость инструмента в 2–2,5 раза.

УДК 621.715.2
К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ГРАВЮРЫ ХОЛОДНОВЫСАДОЧНЫХ
МАТРИЦ НА МЕХАНИЗМ ИХ РАЗРУШЕНИЯ

И. Н. СТЕПАНКИН, Л. С. ХРОМОВА
Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. П. О. Сухого»
Гомель, Беларусь

При изготовлении деталей холодной высадкой одной из наиболее важных производственных задач является достижение высокой стойкости инструмента. Сложная форма рабочей поверхности, в первую очередь матриц, способствует перераспределению эксплуатационных нагрузок. Это приводит к существенной концентрации контактных напряжений на отдельных участках гравюры и снижает ресурс эксплуатации инструмента за счет избирательного изнашивания поверхностного слоя металла. Требования к форме поковок, изготавливаемых холодной высадкой, регламентируются условиями последующей технологичности создания изделий, а именно возможностью их использования в качестве сборочной единицы без последующей механической обработки. Этому критерию соответствуют крепежные изделия – болты и гайки, которые производят путем холодной высадки. Допуски на размеры этих поковок составляют от нескольких миллиметров до десятых долей миллиметра. Как правило, наиболее жесткие требования к величине допуска предъявляются к поковкам небольших размеров. При их изготовлении стойкость инструмента достаточно высока, по причине малого объема деформируемого металла. С увеличением типоразмера крепежных изделий и соответственно возрастанием объема заготовки, стойкость оснастки снижается из-за увеличения контактной нагрузки на гравюру штампа. При этом увеличивается и величина допусков на линейные размеры детали, что находит свое отражение в требованиях к размерам рабочей полости инструмента.

Одним из путей увеличения наработки на отказ оснастки для крупных метизов является изготовление гравюры штампа с минимальными отклонениями от требований чертежа. При этом контролируемое изнашивание наиболее нагруженных участков гравюры в допусковом диапазоне размеров позволяет эксплуатировать инструмент в течение определенного периода времени. Однако, при изготовлении сложнопрофильных изделий, некоторые элементы гравюры штампа подвергаются высоким по величине контактными нагрузкам, что изменяет механизм изнашивания поверхностного слоя и ускоряет его разрушение.

В работе исследовано влияние геометрических характеристик гравюры холодновысадочных матриц на их напряженно-деформированное состояние и стойкость.

УДК 621.9.042
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА ПРИЗМАТИЧЕСКОГО РЕЗЦА С ЦЕЛЮ
ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИ ПОЛУЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ

Д. Г. ШАТУРОВ, А. А. ЖОЛОБОВ, Г. Ф. ШАТУРОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Износ инструмента оказывает значительное влияние на формирование систематической погрешности, особенно при обработке длинномерных валов. Из поверхностей призматического резца, образующих лезвие, преимущественно изнашивается его задняя поверхность, имеющая, по сравнению с передней поверхностью, большую в 2...3 раза скорость взаимного перемещения инструмента и заготовки.

Кривые износа задней поверхности резца от времени обработки могут иметь выпуклую или вогнутую относительно оси абсцисс форму. В результате проведенных теоретических исследований получена следующая зависимость для определения износа задней поверхности резца от времени обработки

$$h_z = \frac{\delta_0}{T_0^{n_0}} \tau^{n_0}, \quad (1)$$

где

$$n_0 = \left[\frac{VT_0 u_0}{1000 \delta_0 \cdot K_p} \right]^{0,6}; \quad (2)$$

$$K_p = \frac{\sin \varphi_1 + \sin \varphi}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \operatorname{tg} \alpha_z. \quad (3)$$

V – скорость резания, м/мин; T_0 – период стойкости резца, мин; τ – время резания, мин; δ_0 – оптимальный износ задней поверхности резца, мкм; n_0 – показатель степени; φ, φ_1 – главный и вспомогательный углы в плане резца соответственно; α_z – задний угол заточки резца, град; u_0 – относительный удельный размерный износ лезвия резца, мкм/км.

Величина размерного износа лезвия резца меньше величины линейного износа и определяется по формуле

$$\delta_p = h_z \cdot K_p, \quad (4)$$

K_p – коэффициент перевода линейного износа задней поверхности резца в радиальный (размерный) износ лезвия; δ_p – величина размерного износа резца, мкм.

Погрешность обработки, связанная с износом лезвия призматического резца и заключающаяся в увеличении диаметра обрабатываемой поверхности обычно определяют по следующей зависимости, которая характерна для периода установившегося износа лезвия резца.

$$\Delta D_1 = 2 \frac{u_0}{1000} (l + 1000) = 2 \left(\frac{u_0 l}{1000} + u_0 \right), \quad (5)$$

где l – путь резания, $l = V\tau$; τ – время резания.

Погрешность обработки с использованием зависимости (4) равна

$$\Delta D = 2\delta_p = \delta_0 \left(\frac{\tau}{T_0} \right)^{n_0} \cdot K_p. \quad (6)$$

Она учитывает изменение погрешности обработки не только за период установившегося износа, но и за весь период стойкости инструмента, включая период приработки лезвия резца.

Относительная ошибка в определении погрешности диаметральных размеров вала по известной зависимости (5), по сравнению с полученной (6), значительна и составляет от 25 до 60 %. Полученные зависимости позволяют, исходя из принятых режимов резания, рассчитать погрешность диаметральных размеров вала на стадии проектирования операции. Или решить обратную задачу: определить такие режимы обработки, которые обеспечат минимальную систематическую погрешность, связанную с износом лезвия резца.

В результате такого характера образования и роста, получаемое покрытие имеет химический состав, отличный от стехиометрического. Кроме этого, высокие скорости охлаждения ТП способствуют аморфизации покрытия и образованию искаженной, фрагментированной структуры, имеющей высокую степень несовершенств. В результате физико-механические свойства кремнийсодержащего ТП отличаются от свойств компактного материала в сторону их увеличения.

Проведенные исследования на оборудовании фирмы "Buehler" (ФРГ) "Micromet-5100" дали возможность измерить микротвердость ТП (индентор Кнупа) и интегральную микротвердость композиции ТП – подложка (индентор Виккерса) для поверхностей с ТП после воздействия высоких контактных давлений. Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

- микротвердость барьерного износостойкого ТП после воздействия высоких контактных давлений не изменяется, т.к. ТП, имеющее более высокие физико-механические свойства, чем подложка, в процессе воздействия высоких контактных давлений является промежуточным слоем, через который передаются нагрузки непосредственно на поверхностные слои подложки, при этом отсутствует компрессионный механизм когезионного разрушения ТП;

- прочностные свойства композиции барьерное износостойкое ТП – подложка определяются в основном состоянием приповерхностного слоя подложки, испытывающего упругие и пластические деформации в результате действия высоких контактных давлений;

- действие высоких контактных давлений, в пластической стадии деформирования подложки, вначале сопровождается незначительным снижением микротвердости композиции барьерное износостойкое ТП – подложка, а при дальнейшем увеличении контактных давлений – ростом микротвердости.

УДК 621.732

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ИЗНОСОСТОЙКИХ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ
ПОКРЫТИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ КОНТАКТНЫХ
ДАВЛЕНИЙ

А. М. СТАРОВОЙТОВ, *А. Л. ГОЛОЗУБОВ, *В. А. ВОРОНЧУК
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Учреждение образования
«МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» им. И. П. Шамякина
Могилев, Мозырь, Беларусь

Особенностью исследования физико-механических свойств тонкопленочных покрытий (ТП), в отличие от компактных массивных материалов, является необходимость рассмотрения отдельных характеристик в тесной взаимосвязи, с учетом их взаимовлияния, что позволяет создать целостную картину их свойств.

Защитные свойства ТП определяются не столько абсолютными значениями отдельных характеристик, сколько их относительным взаимодействием и взаимовлиянием, и во многом определяются соотношением между когезией и адгезией. Преобладание когезии над адгезией является причиной разрушения покрытий по адгезионному механизму – за счет отслаивания от подложки с потерей барьерных свойств ТП. Превалирование адгезии может быть причиной разрушения по когезионному механизму за счет образования сетки трещин в ТП. Поэтому необходимо создавать рациональное сочетание адгезионных и когезионных свойств в системе покрытие – подложка.

Основными характеристиками защитных покрытий наряду с адгезией, являются когезионные свойства материала – предел прочности, модуль упругости первого рода, коэффициент Пуассона. В настоящее время отсутствуют методики исследования свойств тонкопленочных покрытий. Наиболее достоверным способом оценки физико-механических свойств тонкопленочных покрытий является измерение микротвердости.

Одна из наиболее важных особенностей образования на металлических подложках барьерных упрочняющих износостойких тонкопленочных покрытий – высокая скорость охлаждения тонкопленочного покрытия и поверхностных слоев подложки в процессе нанесения ТП, достигающая 10^5 – 10^6 К/с. Наличие значительного градиента температур обусловлено малой толщиной ТП; невысокой эффективной мощностью дугового плазмотрона, связанной с его конструктивными особенностями (плазмотрон косвенного действия); цикличностью нанесения ТП; интенсивным теплоотводом от поверхностных слоев в глубину подложки.

УДК 621.9.042

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ
РЕЗАНИЕМ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ
ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Д. Г. ШАТУРОВ, А. А. ЖОЛОБОВ, Г. Ф. ШАТУРОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Управление термической и силовой напряженностью процесса резания можно осуществлять путем предварительного изменения физико-механических свойств срезаемого слоя металла, воздействуя на него поверхностным (ППД) или опережающим (ОПД) пластическим деформированием. Предварительное пластическое деформирование срезаемого слоя металла, как правило, осуществляется обкатыванием роликом как поверхности резания, так и необработанной поверхности (авт. св. 933266, СССР; 1673275, СССР) с регулированием глубины и степени пластического деформирования за счет усилия P_d обкатывания. При этом пластическое деформирование поверхности резания может проводиться не по всей ширине срезаемого слоя металла. В последнем случае – это резание с частичным опережающим пластическим деформированием (ЧОПД) (авт. св. 1535672, СССР).

При резании моменту стружкообразования предшествует процесс сжатия полосы металла передней поверхностью перемещающегося относительно заготовки инструмента с последующим сдвигом некоторой ее части по линии наибольших касательных напряжений и отрывом от основы по линии расположения лезвия за счет растягивающих напряжений.

После ОПД максимум тангенциальных сжимающих напряжений располагается на некоторой глубине от упрочненной наружной поверхности. В глубинных слоях обработанной ППД заготовки возникают уравнивающие их растягивающие напряжения меньшей величины, чем наружные напряжения сжатия.

В процессе формообразования резец в некотором объеме металла, прилегающему к поверхности, создает дополнительное силовое поле из сжимающих и растягивающих напряжений.

Поскольку силовое поле сжимающих и растягивающих напряжений, созданных после ОПД, взаимодействует с силовым полем напряжений, создаваемым резцом, то, очевидно, при резании необходимо дополнительно создать меньшие рабочие сжимающие напряжения, чтобы достигнуть на условной плоскости сдвига напряжения, равного пределу текучести, соответствующего наступлению пластического состояния металла.

Это способствует переходу напряженного состояния отделяемого от заготовки элементарного объема металла при стружкообразовании в пластическое при меньших усилиях резания.

Эффективность процесса обкатки с ОПД оценивается безразмерным параметром

$$\eta_{PZ} = \frac{P_Z - P_{Z_0}}{P_Z} = 1 - \frac{P_{Z_0}}{P_Z},$$

где P_Z, P_{Z_0} – тангенциальные составляющие сил резания при обработке резанием без ОПД и с ОПД соответственно.

Параметр η_{PZ} меняется по параболическому закону с расположением вершины параболы при $t_x = 1,5t_1$, где параметр η_{PZ} принимает максимальное значение

$$\eta_{PZ} = 0,75 + 0,25 \frac{\sigma_m}{\sigma_{\tau 0}},$$

где $\sigma_{\tau 0}, t_1$ – максимальное тангенциальное напряжение сжатия и глубина его залегания; σ_m – тангенциальное напряжение сжатия на поверхности детали; t_x – текущая глубина резания или толщина снимаемого слоя металла.

Наибольшего эффекта уменьшения силовой напряженности ($\eta_{PZ} = 1,0$) можно достигнуть при $\sigma_{\tau 0} = \sigma_m$, то есть при шлифовании с малыми глубинами резания.

В том случае, когда глубина резания соответствует глубине расположения растягивающих напряжений, то это обстоятельство способствует при меньших усилиях резания отрыву от заготовки объема металла. В этом случае имеем второе экстремальное значение коэффициента η_{PZ} .

Установлено, что уменьшение тангенциальной составляющей усилия резания в большей степени (до 25–35 %) обеспечивается при малых ($t_x < 0,2 \text{ мм}$) и в меньшей степени при средних ($t_x = 0,3 - 0,4 \text{ мм}$) глубинах резания, что полностью подтверждает теоретические предпосылки.

Таким образом, уменьшение усилия при резании с ОПД можно достигнуть как при точении, фрезеровании и зенкеровании, так и при шлифовании, поскольку эффективность процесса повышается при снятии малых глубин резания, характерных для шлифования.

ваются при увеличении площади нагружения на 1,5–2 %. В дальнейшем наблюдается рост количества фрагментов и изменение их формы на более округлую, с изменением характера разрушения по краям фрагмента и образованием сетки трещин. При увеличении площади нагружения до 7–10 % размеры зон вспучивания ТП (отслоившихся от подложки фрагментов) уменьшаются, при этом образуется мелкая сетка трещин.

На основании анализа этапов развития процессов разрушения в ТП и кинетики процессов в приповерхностном слое подложки при действии высоких контактных давлений можно сделать следующие выводы:

1) учитывая высокие физико-механические свойства ТП (превышающие свойства подложки), а также особенности его образования – осаждение из газовой фазы путем конденсации на подложке и связанную с этим высокую адгезию, малую толщину (0,1–1,5 мкм), экспериментально подтверждено, что работоспособность композиции «барьерное износостойкое ТП – подложка» зависит не только от свойств самого ТП, но и от свойств подложки;

2) из рассмотренного ранее видно, что наиболее эффективно наносить износостойкое ТП на металлические подложки, имеющие высокую твердость, так как в данном случае отсутствует механизм разрушения, связанный с проламыванием покрытия из-за пластической деформации поверхностных слоев подложки при передаче через более прочное покрытие высоких удельных нагрузок;

3) подложки, изготовленные из структурно однородных материалов с нанесенным на их поверхность барьерным износостойким ТП при нагружении высокими контактными давлениями, имеют более высокую стойкость ТП к отслаиванию.

УДК 621.732

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИИ ИЗНОСОСТОЙКОЕ
ТОНКОПЛЕНОЧНОЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕЕ ПОКРЫТИЕ –
ПОДЛОЖКА, РАБОТАЮЩЕЙ ПРИ ВЫСОКИХ КОНТАКТНЫХ
ДАВЛЕНИЯХ

А. М. СТАРОВОЙТОВ, *А. Л. ГОЛОЗУБОВ, *В. А. ВОРОНЧУК
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Учреждение образования
«МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» им. И. П. Шамякина
Могилев, Мозырь, Беларусь

Важным аспектом работы композиции барьерное износостойкое тонко-
пленочное (ТП) – подложка является поведение ТП в случае формоизмене-
ния поверхности подложки. В случае изменения фактической поверхности в
ТП и на границе раздела фаз ТП – подложка будут возникать напряжения:

- 1) сдвига (на границе раздела фаз ТП – подложка);
- 2) сжимающие или растягивающие нормальные напряжения в самом
ТП;
- 3) изгибающие напряжения в ТП.

Совместное действие сжимающих напряжений и напряжений изгиба
способно вызвать когезионное разрушение ТП с образованием трещин в
местах перехода выпуклой поверхности к плоской. Напряжения сдвига при
достижении значений, превышающих адгезию ТП к подложке, могут при-
вести к локальному отслоению ТП от подложки.

Другим возможным вариантом формоизменения поверхности подложки
может быть увеличение фактической поверхности с нанесенным ТП. В этом
случае можно ожидать появления в ТП более опасных напряжений растяже-
ния, а также напряжений сдвига по поверхности раздела фаз ТП – подложка.
Совместное действие напряжений изгиба и растяжения является наиболее
неблагоприятным вариантом нагружения ТП. В этом случае стоит ожидать
образования трещин не только в местах перехода одной формы поверхности
в другую, но и по всей площади нагружения.

Проведенные, методами оптической микроскопии с использованием
РЭМ "Nanolab-7" фирмы Opton и оптического микроскопа "Microvert -
Planar" поста микроконтроля МК-3, исследования подтвердили теоретиче-
ские предпосылки возможных вариантов разрушения ТП.

Сопоставление данных о контактных давлениях на композицию ТП –
подложка и роста площади нагружения (оцениваемой по соотношению пло-
щадей отпечатка и его проекции на плоскую подложку), а также характера
разрушения ТП показывает, что первые признаки разрушения ТП обнаружи-

УДК 621.914.2:669

ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ КОМПЛЕКСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ
ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА И ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В. М. ШЕМЕНКОВ, М. А. БЕЛАЯ, А. С. БАТРАКОВ, *А. Л. ШЕМЕНКОВА
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*Могилевское ОАО «КРАСНЫЙ МЕТАЛЛИСТ»
Могилев, Беларусь

Срок службы любой машины или механизма в большей степени зависит
от усталостной прочности, а так же сопротивления пар трения износу.

Резервы повышения износостойкости оснастки за счет создания новых
материалов в значительной степени уже исчерпаны или связаны со значи-
тельными материальными затратами. Поэтому особое значение приобретают
вопросы, связанные с внедрением на производстве технологических процес-
сов модифицирующей обработки поверхностей деталей.

В настоящее время все большее распространение получают такие спо-
собы, как нанесение износостойких покрытий и поверхностное упрочнение
изделий из металлов и сплавов методами ионно-плазменной обработки.

Одной из перспективных является обработка тлеющим разрядом, воз-
буждаемым в среде остаточных атмосферных газов (или смеси реакционных
и инертных газов). Однако обработка тлеющим разрядом имеет ряд недос-
татков, связанных с жесткой зависимостью плотности тока от давления ра-
бочей среды в камере и неустойчивым горением самого разряда. Что влияет
на качество ионной бомбардировки и как следствие качество процесса уп-
рочнения обрабатываемой поверхности.

Предлагаемый способ отличается от классического способа обработки
тлеющим разрядом тем, что катод, на котором находится изделие, распо-
ложен в силовых линиях постоянного магнитного поля. Данное решение по-
зволяет добиться того, что в процессе обработки, эмитированные с катода
под действием ионной бомбардировки, электроны захватываются магнитным
полем, и оказываются в его ловушке. Электроны циркулируют в магнитном
поле до тех пор, пока не произойдет несколько ионизирующих столкновений
с атомами остаточных атмосферных газов, в результате которых они теряют
полученную от электрического поля энергию. Тем самым значительно по-
вышают эффективность процесса ионизации и концентрацию положитель-
ных ионов у поверхности катода. Что приводит к увеличению интенсивности
ионной бомбардировки изделия и значительному росту скорости упрочне-
ния, тем самым сокращая время обработки.

УДК 621.89
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПАР ТРЕНИЯ
ТИПА “ВАЛ-ВТУЛКА” В ПРОЦЕССЕ ПРИРАБОТКИ

А. П. АКУЛИЧ, Я. А. АКУЛИЧ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Процесс приработки пар трения, характерный для начального периода эксплуатации во многом определяет безотказную работу механизма в целом. Формирование в результате правильной приработки рабочих поверхностей трения при минимальном износе обеспечивает значительное повышение долговечности узла трения.

Исследования проводились на образцах типа “вал-втулка” рабочие поверхности которых получены разными методами механической обработки (табл. 1). Радиус рабочей поверхности образцов $R_{раб.}=17,5$ мм. Образцы “вала” изготовлены из стали 40Х, материал втулок – бронза БрОЦС 5-5-5.

Трибологические испытания проводились на машине трения 2070 СМТ-1, снабжённой камерой для испытаний в жидкой среде. В качестве среды использовано масло И-40А ГОСТ 20799-88. Испытания проводились при нагрузке $P=1000$ Н, скорости скольжения $V=1,0$ м/с. Контроль температуры среды осуществлялся с помощью погружной термопары “хромель-алюмель”.

Полученные в результате экспериментальных исследований показатели параметров шероховатости поверхностей представлены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты испытаний пар трения в процессе приработки

Время испытания t, мин	Обработка точением		Обработка шлифованием	
	вал Ra, мкм	втулка Ra, мкм	Вал Ra, мкм	втулка Ra, мкм
0	1,27	1,31	0,24	0,27
5	0,94	0,93	0,27	0,29
10	0,72	0,73	0,32	0,30
15	0,62	0,63	0,34	0,31
20	0,58	0,60	0,35	0,31
25	0,55	0,55	0,35	0,32
30	0,54	0,53	0,35	0,32
35	0,54	0,53	0,35	0,32

Изменение полученных значений параметров шероховатости говорит о том, что в процессе приработки была получена оптимальная шероховатость для данных условий, которая должна обеспечить наиболее приемлемый износ пары трения. Следует отметить, что значение параметра оптимальной шероховатости было, как больше, так и меньше исходного, что свидетельст-

Табл. 1. Вид, подложка и толщина диффузионных покрытий

Покры- тие	Материал подложки	Толщина по- крыт., мкм
Ni	пресс-порошковое железо ПЖ-4М, железо-углеродистые и легированные стали, спецсплавы	10÷60
Pt	армко-железо, углеродистые стали, медь	5÷150
Ag	железо, углеродистые стали, медь	5÷95
Pd	железо, углеродистые стали, медь	10÷75
Pd-In	железо, углеродистые и легированные стали	10÷120
Ni-Al	пресс-порошковое железо, железо, углеродистые и легированные стали, спецсплавы	15÷130
Cr	железо, различные стали, спецсплавы	15÷120
B	железо, стали, ванадий, ниобий, спецсплавы	50÷900
Al	углеродистые стали	20÷500
Ti	углеродистые стали	50÷400
W	углеродистые и легированные стали	20÷100
Ge	углеродистые стали	20÷100
Be	углеродистые стали	20÷150
Si	железо, хромо-никелевые и никелевые сплавы, мо-либден, ниобий, спецсплавы	40÷150
WSi2	ниобий	до 40
B+Si	железо, хромо-никелевые и никелевые сплавы, мо-либден, ниобий, спецсплавы	50÷180
V	железо, хромо-никелевые и никелевые сплавы	до 50

Установлено, что формирование диффузионного покрытия на поверхности пресс-порошкового изделия можно условно разделить на следующие этапы:

1) просачивание транспортного расплава в матрицу до определенной глубины;

2) осаждение диффузанта на внутренних поверхностях дефектов и выталкивание транспортного расплава на поверхность;

3) формирование поверхностного слоя.

Рост поверхностного слоя на порошковом основании происходит по тому же механизму, что и на компактном. Полученные результаты показали, что материалы из железистых пресс-порошков после никелирования в жидкометаллических растворах, объединенного с процессом спекания, не уступают компактным и материалам, прошедшим спекание отдельно, кроме того они могут конкурировать с нержавеющей сталью, поскольку не уступают им не только по сопротивлению износу, но и по коррозионной стойкости.

С. В. СИНЬИЙ, *В. В. ШИРОКОВ, А. В. ШОСТАК
«ЛУЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*«УКРАИНСКАЯ АКАДЕМИЯ ПЕЧАТИ»
Луцк, Львов, Украина

Для защиты деталей из пресс-порошковых материалов эффективно нанесение на их поверхность покрытий. Предпочтительно диффузионные, минимизирующие проблему их отслаивания и наводораживания подложки в процессе формирования. Учитывая малогабаритность порошковых изделий, наиболее приемлем способ получения покрытий в жидкометаллических средах на основе легкоплавких металлов – позволяющий защищать небольшие детали любой конфигурации, обеспечивая доставку диффузанта на значительную глубину и проникновение в микродефекты (границы зерен, поры и прочие). Причём, использование в качестве транспортной среды расплавов металлов, более активных к примесям внедрения, чем подложка, уменьшает концентрацию сегрегаций последних в междучастичном пространстве, отрицательно влияющих на физико-механические свойства металлических материалов. Получение покрытий из жидкометаллических сред на изделиях из компактных материалов достаточно отработано, базируется на эффекте интенсификации термо- и массопереноса в металлических расплавах между разнородными материалами. Комплекс работ, проведенный на изучение особенностей формирования и свойств диффузионных никелевых покрытий на пресс-порошковых и компактных железистых материалах в жидкометаллических транспортных средах, позволил установить оптимальные температурно-временные параметры нанесения и возможность их соответствия процессу спекания, совмещения этих процессов, оценить физико-механические и др. свойства. Параметры получаемых покрытий на порошковой подложке и компактной в табл. 1. Выбор транспортного расплава зависит от его температуры плавления, растворимости диффузанта, стойкости матрицы, проницаемости в каналы и пустоты порошковой матрицы. К особенностям технологии нанесения покрытий из транспортных металлических расплавов в частности относят: использование активно взаимодействующих с компонентами воздуха лития или натрия; потребность спецоборудования для заполнения и герметизации контейнеров с последующей выдержкой в них при соответствующей температуре покрываемых изделий. Но это не касается свинца или, например, кальция и висмута. На основании предварительной термодинамической оценки и анализа возможных основных и сопутствующих физико-химических процессов при нанесении, расчета предельной растворимости никеля, компонентов матрицы и контейнера, в качестве транспортной среды выбраны литий и свинец, материал ванны-контейнера – сталь 12Х18Н9Т.

вует о влиянии метода обработки контактирующих поверхностей на износные характеристики пары трения.

Динамика изменения величин коэффициента трения и температуры смазочной среды от времени испытания представлены на рис. 1 и 2.

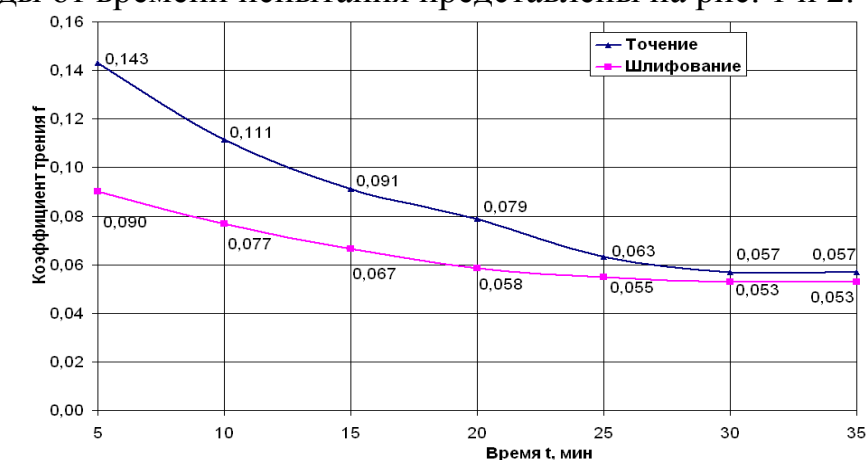


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от времени испытания пар трения в процессе приработки

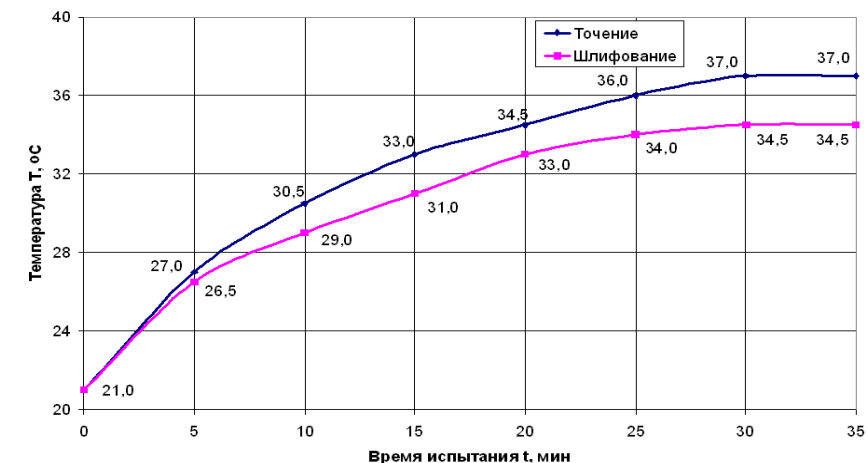


Рис. 2. Изменения температуры в процессе приработки пар трения

Как видно из приведенных зависимостей, через 25–30 минут после начала испытаний наблюдались стабильные значения коэффициента трения, что говорит о переходе исследуемой пары трения в равновесное динамическое состояние. Момент стабилизации температуры смазочной среды так же является одним из критериев, указывающих на завершение приработки.

Следует отметить, что процесс приработки поверхностей пар трения обработанных шлифованием проходит быстрее. Отметим так же более низкие значения коэффициента трения и температуры среды для данной пары трения. Очевидно, что время приработки, сопровождаемое интенсивным изнашиванием сопряженных поверхностей, будет зависеть от того, насколько исходные параметры шероховатости будут близки к эксплуатационным, что обуславливает технологическое обеспечение оптимальных параметров качества взаимодействующих поверхностей пар трения на стадии изготовления.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ БЫСТРОХОДНОЙ СТУПЕНИ
ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА

Л. А. БОРИСЕНКО, В. Л. КОМАР, Д. Н. КАЛЕЕВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

При разработке и реализации новой схемы двухступенчатого планетарного механизма по патенту РБ N 7322 наибольшую сложность представляет выбор параметров быстроходной ступени, в качестве которой используется двухколесный планетарный механизм схемы К-Н-V с разностью чисел зубьев колес в один зуб.

Создание двухколесных планетарных механизмов для силовых передач, реализующих в одной ступени большое передаточное отношение не целесообразно из-за ограниченного усилия, которое может воспринимать одна пара зубьев в зацеплении и снижения КПД. В то же время использование этого варианта зацепления в качестве быстроходной ступени с малым передаточным отношением порядка 30 в двухступенчатом механизме в нагруженных передачах возможно и, по-нашему мнению, целесообразно.

Использование в этих передачах обычных эвольвентных зубчатых колес с 20° исходным контуром зубьев представляется на первый взгляд наиболее простым из-за широкой распространенности такого зацепления. Однако в практическом исполнении возникает ряд трудностей.

Из-за малой разности чисел зубьев сателлита и неподвижной шестерни в один зуб (только такой вариант передачи обеспечивает большое передаточное отношение) возникает интерференция зубьев второго рода, т.е. наложение головок зубьев колеса и сателлита. Интерференция первого рода заключающаяся в том, что происходит врезание вершины зуба одного колеса в переходную кривую у ножки зуба сопряженного колеса.

Интерференция второго рода, как и интерференция первого рода приводит к заклиниванию передачи или невозможности введения внутреннего колеса, т.е. такая передача в принципе невозможна.

Было изготовлено и испытано в лабораторных условиях большое число работоспособных двухколесных планетарных передач с разностью чисел зубьев в один зуб, реализующих широкий диапазон передаточных отношений от 30 до 180.

Достоинство этих передач состоит в том, что при правильном выборе межцентрового расстояния, возникает беззазорное зацепление из-за того, что зубья слева и справа касаются левым и правым боковым профилем. При этом сохраняется боковой зазор, необходимый для смазки зубьев. Величина межосевого расстояния, замеренная по колесам, для передач модуля 1 мм

После заправки серебряной заготовки в медную трубку производили фиксацию её на острильной машине с одного конца медной трубки. Затем производили волочение с суммарными обжатиями 75 %, при единичных обжатиях 10–15 %, с промежуточными отжигами при 600°C , на стане среднего волочения до конечного диаметра $0,35 \pm 0,01$ мм. Пластические свойства проволоки обеспечивают без разрушения, перегиб на стержне диаметром 2 мм на суммарный угол 720° .

Как известно, использование ультразвуковых колебаний (УЗК) в процессе обработки металлов давлением позволяет снизить усилия деформирования и увеличить единичные обжатия за проход. Источником УЗК служил магнитострикционный преобразователь ПМС15А-18, питаемый от генератора УЗГ2-4М. Волоку с помощью резьбового соединения крепили в пучности смещений волновода продольных колебаний.

Об эффективности воздействия ультразвука на процесс волочения судили по степени снижения усилия волочения. При обжатиях 10–15 % УЗК снижают усилие волочения на 50–60 % при скорости протягивания 10 м/мин. При обжатии 25 % снижение усилия волочения составляет 30–40 %. Применение УЗК позволило увеличить единичные обжатия в 1,5 раза без разрушения сердечника. Из анализа кривых на растяжение после обычного волочения и волочения наложением УЗК видно, что прочностные свойства биметаллической проволоки после волочения с УЗК несколько ниже, чем после волочения в обычных условиях. При этом относительное удлинение проволоки Cu-Ag, характеризующее ее пластические свойства, после волочения с УЗК несколько выше. С учетом этого был разработан маршрут волочения биметаллической проволоки с суммарными обжатиями между термообработками около 80 %. Такой маршрут является оптимальным с точки зрения получения проволоки с высокими механическими свойствами. В дальнейшем проволоку использовали для изготовления ВМС.

Разработанная технология, оборудование и маршруты волочения с промежуточными отжигами позволяют полностью обеспечивать потребности ЗАО «Медицинское предприятие «Симург» в биметаллической проволоке для производства ВМС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клубович, В. В. Технология волочения биметаллической медной проволоки с серебряным сердечником / В. В. Клубович, В. В. Рубаник, Ю. В. Царенко // Авангардни машиностроителни обработки : 8 междунар. конф. – Кранево, Болгария, Sofia : DMT Product, 2008. – С. 89–93.

2. Клубович, В. В. Применение ультразвуковых колебаний при волочении и термообработке композиционных материалов / В. В. Клубович, В. В. Рубаник, Ю. В. Царенко // Тенденции развития технологии машиностроения : материалы междунар. конф. – Зелена Гура, Польша, 1990. – Ч.2. – С. 45–49.

В. В. РУБАНИК, Ю. В. ЦАРЕНКО, *В. Г. ДОРОДЕЙКО,

В. В. РУБАНИК (мл.), А. В. МОСИН, В. Ю. НОВИКОВ

Государственное научное учреждение

«ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКИ НАН Беларуси»

*Закрытое акционерное общество

«МЕДИЦИНСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «СИМУРГ»

Витебск, Беларусь

Одними из наиболее эффективных и распространенных противозачаточных средств являются внутриматочные спирали (ВМС) на основе биметаллической проволоки медь-серебро. Медь представлена в виде оболочки с центральной жилой из серебра, выполняющей роль каркаса, на котором закреплена оболочка из меди, обеспечивающая контрацептивное действие.

Исследование процессов, протекающих на границе медь-серебро в ультразвуковом поле, представляет как научный интерес в плане изучения процессов диффузии и образования промежуточного слоя переменного состава, так и практический как способ получения биметаллической проволоки с заданными физико-химико-механическими свойствами.

Волочение биметаллической проволоки отличается рядом специфических особенностей от процесса протягивания монометаллической. На результаты деформирования слоистой проволоки оказывают большое влияние неоднородность материала по сечению, величина внешнего трения и межслойного сцепления, относительное объемное содержание компонент в проволоке, их деформационные показатели упрочнения, соотношение прочностных свойств и т.д. При волочении биметаллической проволоки наиболее характерным видом брака является обрыв серебряного сердечника внутри медной трубки. Разрушение монослоев биметаллической проволоки вызывается напряжениями, значение которых зависит от перечисленных параметров.

Целью данной работы являлась разработка технологии изготовления биметаллической проволоки с сердечником из серебра с улучшенными физико-механическими свойствами для производства ВМС.

Разработанная технология предусматривает предварительное изготовление серебряной проволоки диаметром 10 мм степенью чистоты 99,999 %. Отливку расплава серебра производили в стальной изложнице. Далее слиток серебра прокатывали до диаметра 3,5 мм и подвергали волочению до диаметра 0,4 мм. При сборке заготовки использовали медную трубку диаметром 3,0 мм с содержанием Cu не ниже 99,97 %. Очистку внутренней поверхности медной трубки осуществляли азотной кислотой с промывкой водой и сушкой.

составляет примерно 1,2 мм вне зависимости от чисел зубьев колес. Выборка зазора осуществляется путем регулирования эксцентриситета сателлита.

В нашем случае тоже имеет место интерференция, но она не приводит к заклиниванию передачи. Передача оказывается работоспособной. При этом на картине зацепления наблюдается отмеченное выше «зависание» колес из-за того, что зубья сопрягающихся колес соприкасаются срединными участками. Такое явление можно назвать интерференцией «третьего» рода.

Проводилась проверка изготовленных пар зубчатых колес на перекрытие зубьев и на «зависание» с помощью пятна контакта. Для этого шестерня с нанесенной на зубья краской устанавливалась внутрь колеса и путем покачивания шестерни получался отпечаток пятна краски на колесе.

В передаче 90–89 модуль 1 мм на колесе симметрично слева и справа было отмечено пятнами краски примерно по 10 разноименных (левых и правых) боковых профилей зубьев. На средних зубьях пятен краски не было, таких зубьев было порядка 10. Следует считать, что в «зависании» оказываются примерно по 10 зубьев с каждой стороны. Касание начинается с кромки вершин зубьев в колесе и распространяется далее к ножке зуба, но не на полную глубину зуба.

В передаче 33–32 модуль 1 мм отмеченными оказались по четыре зуба и непомеченными четыре зуба между ними – в «зависании» четыре зуба.

Примерно такая же ситуация наблюдалась и для других вариантов передач. Рекомендуемые значения коэффициента смещения для передачи 90–89 для колеса составляет от +1,2 до -1,5, для шестерни от 0 до -0,2.

Предпринимались попытки использования колес, изготовленных долбяком с зубьями с эвольвентным 30° исходным контуром. Такой инструмент применяется при изготовлении шлицевого соединения. Никаких проблем при использовании этого инструмента для нарезания эвольвентных зубчатых колес не возникает. Контроль расчетных параметров осуществляется также с помощью роликов, по формулам, откорректированным с учетом измененного угла исходного контура.

Нам удалось реализовать в опытном образце такую передачу. Из анализа картин зацепления можно заключить, что использование такого зацепления уменьшает «зависание» сателлита. Проверка по пятну касания показывает, что в касании находятся 5–6 зубьев практически без «зависания». Кроме того, из-за увеличенной толщины зуба увеличивается прочность колес. Все это существенно увеличивает нагрузочную способность передачи и ведет к снижению потерь в зацеплении и повышению КПД.

Кроме того, что удалось реализовать безинтерференционную передачу внутреннего зацепления с разностью чисел зубьев в один зуб, здесь уменьшено расстояние между полюсом зацепления и зубьями, что, как известно, уменьшает скольжение колес и потери на трение. Найденный вариант передачи можно считать оптимальным компромиссным решением проблемы большого передаточного отношения – уменьшенный КПД передачи.

А. С. ГАЛЮЖИН

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В конструкции современных мобильных машин широкое распространение получил пневматический привод, в котором рабочим телом является сжатый воздух. От качества сжатого воздуха во многом зависит надежность элементов пневмопривода. Наибольшее влияние на надежность работы оказывает влияние конденсата в пневмоприводе. При эксплуатации мобильной машины в условиях отрицательных температур конденсат будет замерзать и, как правило, будет наблюдаться отказ пневмопривода. Наиболее опасным является отказ пневмопривода при движении мобильной машины с пневматической тормозной системой, так как это может привести к дорожно-транспортному происшествию.

Очевидно, что в первую очередь необходимо удалить из сжатого воздуха конденсат. Кроме того, необходимо удалить и некоторую часть пара, поскольку, при поступлении сжатого воздуха в элементы пневмопривода происходит его охлаждение и дополнительное образование конденсата.

В настоящее время промышленность выпускает достаточно большой спектр устройств осушки сжатого воздуха. Для мобильных машин чаще всего используются устройства адсорбционного типа. Такие устройства эффективны только в начальный период эксплуатации. Через 15–20 тыс. км пробега эффективность устройства осушки резко снижается. Причиной этого является невозможность полной регенерации адсорбента с помощью специальной системы, встроенной в пневмопривод. В результате необходима постоянная регенерация адсорбента с помощью специальных устройств и приспособлений в стационарных условиях. В этом случае необходима разборка устройства осушки и извлечение адсорбента, а через 2–3 цикла регенерации необходима замена адсорбента. Это приводит к повышению эксплуатационных расходов.

Творческим коллективом университета было спроектировано и изготовлено современное устройство влагоотделения.

Для сравнительной оценки эффективности разработанного влагоотделителя проведены сравнительные стендовые испытания следующих устройств осушки сжатого воздуха: «Сиккомат», АКСМ 201-2302 с новым адсорбентом, АКСМ 201-2302 после пробега 10 тыс. км пробега и разработанного центробежно-магнитного влагоотделителя. Испытания проводились при раз-

Синтезированный материал использовали при торцевом шлифовании.

Абразивной обработке подвергали латунный диск диаметром 18 мм и толщиной 0,3 мм (рис. 1). Абразивные порошки фракции 0,3÷0,5 мм получали из шихты, содержащей 50 % железо-алюминиевого термита. Размолотые в мельнице спеки просеивали через соответствующий набор сит.

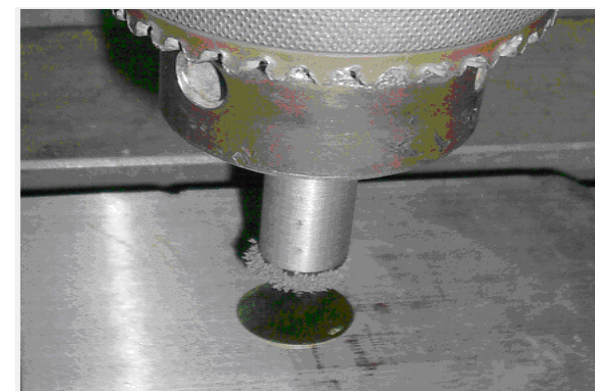


Рис. 1. Вид магнитоабразивного инструмента

Установлено (рис. 2), что режущая способность (ГОСТ 28924-91) порошков, полученных методом СВС, при обработке латуни примерно одинакова и составляет в нашем случае 0,4 мг/мин, при этом, абразивная способность (ГОСТ 28924-91) порошка, полученного СВС с приложением центробежной перегрузки (ЦБП) выше, чем порошка, полученного при обычной силе тяжести.

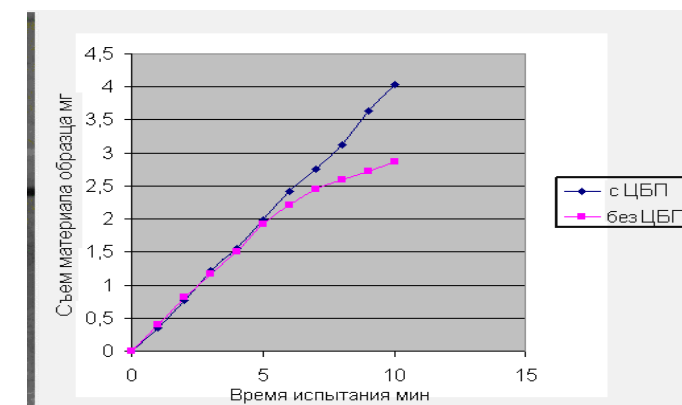


Рис. 2. Зависимость съема материала образца от времени шлифования

Таким образом, в качестве магнитоабразивного материала более подходящим оказался абразив содержащий 50 % термита, так как он содержит больше железа и лучше удерживается на магнитном инструменте. Центробежная перегрузка слабо влияет на режущую способность полученных материалов, но существенно повышает его абразивную способность. Фазовый состав и микроструктура абразивного материала улучшаются под действием центробежной перегрузки. В конечном продукте возрастает количество целевых фаз и снижается количество непрореагировавших исходных компонентов.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы».

УДК 536.46+541.12.03
СИНТЕЗ МАГНИТОАБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СВС С
ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В. В. РУБАНИК, В. Г. САМОЛЁТОВ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКИ НАН Беларуси»
Учреждение образования
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Витебск, Беларусь

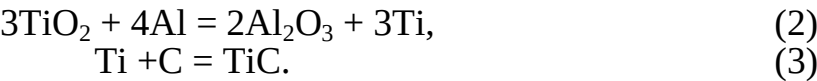
В последнее время проведены фундаментальные исследования, направленные на создание высокоэкономичных методов получения карбида титана. При этом перспективным представляется использование в качестве сырья вместо порошка титана диоксид титана.

Проведен термодинамический анализ и математическое моделирование процесса синтеза целевого состава ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$), а также цикл экспериментов с использованием в качестве реагирующих компонентов оксида титана (TiO_2), углерода (C) и алюминия (Al), различного гранулометрического состава.

Синтез порошков $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ осуществляли с использованием порошков оксида титана, графита и алюминия в соответствии с реакцией:



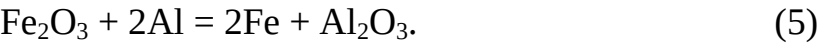
Термодинамические расчеты основной реакции показали наличие существенного экзотермического эффекта ($\Delta H_1 = 2827,75 \text{ кДж/кг}$) и адиабатическую температуру горения $T \approx 2362 \text{ К}$ при проведении синтеза в режиме самораспространения. Однако реакция (1) – это фактически две реакции, протекающие последовательно:



При этом, если синтез происходит на воздухе, то реакция (3) конкурирует с реакцией окисления титана кислородом воздуха:



Экзотермический эффект реакции (2) составляет всего $\Delta H_2 = 1494 \text{ кДж/кг}$, то есть реакция (3) является основным поставщиком энергии ($\Delta H_3 = 3074 \text{ кДж/кг}$) для всего процесса. Если вместо реакции (3) происходит более выгодная реакция (4) ($\Delta H_4 = 11\,815 \text{ кДж/кг}$), то карбид титана не образуется. Поскольку абразивный материал, полученный в реакции (1), использовали при магнитоабразивной обработке (МАО), то магнитный материал (железо) вводим в абразив при синтезе:



При этом сразу решаются две задачи: абразивный материал приобретает магнитные свойства и снимается проблема низкой энергетики реакции (2), так как тепловой эффект термитной смеси реакции (5) $\Delta H_5 = 3998 \text{ кДж/кг}$.

личных значениях температуры и относительной влажности атмосферного воздуха. Результаты приведены в табл. 1.

Значения основных показателей сжатого воздуха (точка росы, степень осушки и класс чистоты) на выходе центробежно-магнитного влагоотделителя на 4,9...7,6 % выше аналогичных показателей сжатого воздуха на выходе устройства АКСМ 201- 2302 с новым адсорбентом. После 10 тыс. км пробега на троллейбусе значения данных показателей сжатого воздуха на выходе центробежно-магнитного влагоотделителя выше в 1,62...1,99 раза по сравнению с осушителем АКСМ 201-2302. При экспериментальных исследованиях аналогичные показатели устройства «Сиккомат» оказались самыми низкими. Так, степень осушки сжатого воздуха была не выше 27 %.

Табл. 1. Результаты экспериментальных стендовых исследований различных устройств осушки сжатого воздуха

Тип устройства осушки сжатого воздуха	Показатели атмосферного воздуха		Показатели сжатого воздуха после осушки		Точка росы сжатого воздуха $T_{p.cж.вых}, ^\circ\text{C}$	Класс чистоты по ISO 8573-1:2001	Степень осушки воздуха $A_o, \%$
	Температура $T_{атм}, ^\circ\text{C}$	Отн. влажность $\varphi_{атм}, \%$	Температура $T_{сж.вых}, ^\circ\text{C}$	Отн. влажность $\varphi_{с.вых}, \%$			
«Сиккомат»	-7,3	100	7,6	84	4,6	4...5	36,6
	4,4	82	9,7	83	7,2	5...6	33,3
	11,2	67	16,4	84	13,5	> 6	31,4
	17,6	56	21,7	85	21,7	> 6	28,6
	28,5	42	32,3	87	29,7	> 6	26,9
АКСМ 201-2302 с новым адсорбентом	-6,3	94	8,4	17	-14,4	3...4	86,5
	4,4	87	10,1	26	-8,5	3...4	80,7
	16,7	82	19,7	31	1,1	3...4	75,7
	22,3	76	29,2	33	10,3	> 6	73,4
	27,8	66	34,9	36	16,6	> 6	70,6
АКСМ 201-2302 после пробега 10 тыс. км	-5,1	84	7,7	64	0,8	3...4	54,3
	5,7	86	12,1	69	6,2	> 6	52,4
	12,6	78	17,3	77	12,9	> 6	47,5
	19,2	64	27,7	84	24,6	> 6	43,3
	26,1	62	34,3	88	31,9	> 6	37,2
Центробежно-магнитный	-9,3	83	7,4	18	-14,6	3...4	88,1
	6,4	84	12,8	24	-7,3	3...4	83,4
	12,1	86	18,1	28	-1,6	3...4	77,4
	18,7	92	26,8	30	7,9	4...5	74,8
	29,6	52	36,5	31	15,8	> 6	74,2

При использовании таких устройств на мобильных машинах в условиях отрицательных температур окружающей среды неизбежен отказ пневмопривода из-за замерзания конденсата, что подтверждается опытом эксплуатации троллейбусов Могилевского предприятия «Горэлектротранспорт».

Д. С. ГАЛЮЖИН, Д. Н. КАЛЕЕВ, Е. А. БАРСУКОВ, А. С. ЧЕРНАЯ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

С 2000 года на базе университета функционирует лаборатория по проведению технической экспертизы инженерных объектов. Так в 2011 году при выполнении подъема груза на крышу жилого пятиэтажного в г. Мозыре произошло опрокидывание крана консольного К1, повлекшее за собой падение и гибель кровельщика. Проведенные исследования данного случая экспертами университета показали следующее:

- в момент аварии кран консольный К1-00.00 ВТЗБПС находился в технически исправном состоянии и соответствовал паспорту;
- в металлической конструкции крана отсутствовали трещины по основному металлу и сварным швам, деформации несущих и вспомогательных элементов металлоконструкции не превышали предельных значений;
- грузовой канат отвечал требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов». Износ проволок наружных слоев прядей не превышал 1,0...2,0 % при допуске 40 %. Грузовая каретка и крюковая подвеска крана находились в рабочем состоянии и соответствовали требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» и паспорту крана;
- состояние электродвигателя и редуктора грузовой лебедки удовлетворительное и соответствует паспорту крана;
- канатоемкость барабана лебедки при многослойной навивке и правильной намотке каната по слоям соответствует требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов»;
- в момент аварии крана была нарушена правильная укладка в каждом слое, вследствие чего витки каната в беспорядочном порядке, накатанные друг на друга, локализовались у одной из реборд барабана.

В результате проведенных расчетно-теоретических и экспериментальных исследований выявлены несоответствия крана «Правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» и Руководству по эксплуатации.

1. У крана консольного в момент аварии не было обеспечено выполнение п. 87 «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов»: «При многослойной навивке на барабан должна быть обеспечена правильная укладка каждого слоя каната».

2. Не выполнены рекомендации по ограничению числа слоев каната в зависимости от длины наматываемого каната (не более 2–3 слоев при длине

температуры до 85 °С, что приводит к потере несущей способности образца и катастрофическому износу.

Установлено, что модифицирующие азотосодержащие алмазоподобные покрытия, начиная с толщины 45 нм, обеспечивают работоспособность образцов в течение 60 минут испытания, причем без разрушения упрочняющей пленки. Температура в зоне трения модифицированных эластомеров не превышала 40 °С, коэффициент трения – 1,95, а потери массы образцов практически отсутствовали. Такое улучшение триботехнических характеристик объясняется сохранением сплошности покрытия в процессе трения и образованием промежуточного твердосмазочного слоя, способствующего снижению коэффициента трения и интенсивности изнашивания образцов.

Наилучший коэффициент трения ($f = 1,6$) и минимальную температуру в зоне контакта, а также минимальные потери массы образца и контртела обеспечивает покрытие толщиной 90 нм, что, вероятно, объясняется наиболее оптимальным соотношением «толщина – адгезионная прочность».

Эксперименты по определению параметров трения в условиях малоамплитудного скольжения показали, что для всех образцов, модифицированных антифрикционными покрытиями, наблюдается снижение силы трения скольжения (в 2,5 раза) и величины предварительного смещения. Даже тонкое АПП+N₂ покрытие толщиной приблизительно 10 нм обеспечивает высокие антиадгезионные свойства к контртелам и низкие значения силы трения скольжения. Кроме того, модифицирующие покрытия снижают коэффициент трения страгивания (максимальную силу трения покоя), что приводит к снижению величины адгезионной составляющей силы трения скольжения.

Исследования структуры покрытий после триботехнических испытаний показали, что вдоль дорожки трения на поверхности образца происходит образование сетки трещин. Однако фрагменты покрытия удерживаются на поверхности, обеспечивая низкий коэффициент трения и низкую температуру в зоне контакта.

Таким образом, обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о том, что повышение износостойкости модифицированных образцов обусловлено изменением механизма разрушения поверхности в процессе трения от разрушения путем «скатывания» в сторону менее интенсивного усталостного износа, характерного для материалов с низким коэффициентом трения.

Кроме того, в работе установлено корреляционное соотношение между модулями упругости, определяемыми методами динамического индентирования и стандартизированным методом. Данное соотношение может быть использовано для неразрушающего контроля вязкоупругих полимеров.

УДК 678.074
МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗИНЫ ПОКРЫТИЯМИ
НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА

А. Н. ПОПОВ, В. П. КАЗАЧЕНКО, А. А. НОВИКОВ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
Гомель, Беларусь

Большой интерес резинотехнические изделия (РТИ) представляют при их использовании в качестве уплотнений. В настоящее время одной из основных проблем в развитии уплотнительной техники является повышение ресурса работы уплотнений и улучшение эксплуатационных характеристик. С развитием новых технологий в машиностроении, в электронной промышленности, в вакуумной технике, появилась возможность решения этой проблемы путем применения различных вариантов модифицирования резинотехнических изделий.

Технологии нанесения тонкопленочных покрытий, известные и описанные достаточно давно, в настоящее время быстро развиваются.

Для получения алмазоподобных покрытий (АПП) триботехнического назначения, использовалась серийная вакуумная установка вакуумного напыления УРМЗ.279.070.

Испытания исходных и модифицированных резин на износостойкость проводились на машине трения СМЦ–1 с использованием специально сконструированного для данных целей приспособления. Образцы истирались на различных режимах скоростей и нагружения. Для проведения статических механических испытаний использовали машину Instron 5567, позволяющую варьировать скорость нагружения и величину прикладываемой нагрузки в широком диапазоне.

Исследования методом динамического индентирования вязкоупругих свойств образцов показали, что модифицирование эластомеров АПП легированных азотом (АПП+N₂) покрытиями приводит к повышению упругих характеристик и снижению энергии вязкого деформирования. С ростом толщины покрытия наблюдается рост твердости по Шору, увеличение динамического модуля упругости. Подобные изменения вязкоупругих характеристик маслобензостойкой (МБС) резины объясняются свойствами и структурой формируемого АПП+N₂ покрытия.

Триботехнические испытания показали, что коэффициент трения исходной резины в начальный момент достигает величины 4,5. С повышением температуры до 65 °С происходит подплавление тончайшего поверхностного слоя исследуемого образца, что приводит к некоторому снижению коэффициента трения ($f = 3,5$). После 15 минут испытания наблюдается повышение

каната до 125 м). Также не учтены рекомендации: «В ответственных подъемных устройствах на барабанах с многослойной навивкой должны быть предусмотрены канатоукладчики» – канатоукладчик на данном кране заводом-изготовителем не предусмотрен.

3. Не было выполнено требование п. 3.2 «Руководства по эксплуатации»: «Ежесменный технический осмотр крана проводится перед началом работы в течение рабочей смены оператором и электриком, имеющим соответствующую квалификацию. В процессе осмотра проверяется: – состояние каната; – правильность укладки каната на барабане и расположение его на подвеске; ...». Вместе с тем, в «Руководстве по эксплуатации» не указано, как безопасно обеспечить правильность укладки каната на барабан. Эксперты считают, что безопасно вручную правильную укладку каната на барабане выполнить невозможно.

Например, в ЖРЭУ Ленинского района г. Могилева с целью исключения выхода каната за реборду при его беспорядочной намотке уменьшена длина каната, наматываемого на барабан. При работе с крыши пятиэтажного дома длина каната не превышает 40 м. Это существенно повышает безопасность труда при эксплуатации подобных кранов. Кроме того, на филиале ОАО «МАЗ» Завод «Могилевтрансмаш» на стреловых самоходных кранах моделей КС3579-2 грузоподъемностью 15 т и длиной каната 162 м и КС45729А-3 грузоподъемностью 20 т и длиной каната 162 м число слоев каната равно всего 3,5, что согласуется с рекомендациями.

Опрокидывание крана в сторону консоли с поднимаемым грузом и последующим его падением с крыши пятиэтажного здания вызвано выходом грузового каната за пределы реборды барабана. В результате произошло свободное падение поднимаемого груза массой 239,6 кг на 180 мм, чем был вызван динамический импульс силы от падающего груза. В итоге суммарная опрокидывающая сила превысила более чем в 5,5 раз номинальную грузоподъемность крана, что вызвало потерю его устойчивости и опрокидывание. Данного несчастного случая можно было избежать, если бы в конструкции крана было предусмотрено устройство укладки каната, например, канатоукладчик. В результате намотка каната происходила бы равномерно и выход каната с барабана за реборду был бы исключен. По результатам работы предложен проект изменений в «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов».

УДК621.9

ВНЕДРЕНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ПРЕЦЕССИОННЫХ ПЕРЕДАЧ
В ПРИВОДНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

П. Н. ГРОМЫКО, И. В. ТРУСОВ, В. И. ЛЯБИК, В. Л. ЮРКОВА,
Ю. А. ДЕМЕНТУС

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могиле, Беларусь

Редуцирующие механизмы широко используются в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Существующий в настоящее время спрос на них в основном покрывается за счет их приобретения в странах ближнего и дальнего зарубежья. В Республике Беларусь предпринимались и предпринимаются попытки налаживания серийного производства редукторов. Причем, как правило, разработка этих редукторов производилась на основе прогрессивных видов механических передач, к которым можно отнести передачи эксцентрикового типа. Они выгодно отличаются от широко применяемых видов передач малогабаритностью, компактностью, возможностью редуцировать вращения с большими коэффициентами редуцирования. Однако для обеспечения требуемых служебных свойств их звенья необходимо изготавливать с высокой точностью на специальном оборудовании, что сдерживает налаживание их серийного производства.

Специалисты лаборатории по прецессионным передачам университета занимаются исследованием одной из разновидностей передач эксцентрикового типа, к которому относится планетарная прецессионная передача [1, 2]. Её отличительной особенностью является возможность создания на её основе прецессионных редукторов, себестоимость изготовления которых в 1,5–2 раза ниже себестоимости аналогов, например, эксцентриковых передач с циклоидальным зацеплением.

На базе прецессионной передачи разработаны многочисленные конструкции редуцирующих механизмов к приводам различных машин. Успешно эксплуатируются на Оршанском и Минском электрифицированных участках Белорусской железной дороги порядка 40 электроприводов двигательных разъединителей, в состав которых входят прецессионные редукторы с передаточным отношением, равным 625. Ручные лебедки с прецессионными редуцирующими узлами нашли свое применение для гаражных работ при ремонте автомобилей, при строительных работах для поднятия и перемещения грузов, а также при проведении различных работ службами МЧС.

Одним из наиболее перспективных направлений внедрения прецессионных редукторов является приводы строительно-отделочной техники. В рамках хозяйственных договоров между ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» (г. Могилев) и ОАО «МИСОМ – ОП» (г. Минск) была разработана

УДК 541.182: 546.776

ПОЛУЧЕНИЕ ПИГМЕНТОВ ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ
ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

О. В. ОСКИРКО, И. И. КУРИЛО, И. М. ЖАРСКИЙ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Эффективное решение задач ресурсосбережения и охраны окружающей среды в Республике Беларусь может быть обеспечено за счет вовлечения в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья продуктов переработки металлосодержащих промышленных отходов, в частности, отработанных ванадиевых катализаторов и твердых ванадийсодержащих шламов, образующихся при сгорании мазута на тепловых электростанциях. Согласно статистическим данным, суммарный объем накопления ванадийсодержащего шлама в республике на начало 2012 года составил 10844,42 т.

Целью работы было изучение возможности использования продуктов переработки ванадийсодержащих промышленных отходов для синтеза пигментов, применяемых в лакокрасочной промышленности.

В качестве объекта исследования использовали отработанные ванадиевые катализаторы (ОВК) сернокислотного производства типа сульфованадата на силикагеле, содержащие около 7,5 мас.% ванадия в пересчете на V_2O_5 . Выделение соединений ванадия из ОВК проводили гидрометаллургическим методом, включающим следующие стадии: измельчение ОВК; двухстадийное (водное и восстановительное) выщелачивание ванадийсодержащих компонентов; окисление предгидролизных растворов; термогидролиз. Предложенная схема позволяет извлекать до 95 % ванадия от его исходного содержания в ОВК и получать ванадийсодержащие компоненты с высоким содержанием V_2O_5 (85–87 мас.%), отвечающие требованиям ТУ на данный реагент.

Выделенный V_2O_5 был использован для синтеза пигмента ванадата висмута, который является альтернативой широко применяемым в настоящее время высокотоксичным хроматам свинца. Синтез проводили сольвотермическим методом, используя в качестве прекурсоров водные растворы нитрата висмута и ванадата натрия. Синтезированный пигмент нерастворим в воде, щелочи, органических растворителях. Истинная плотность, определённая пикнометрическим способом, составляла 6000–7000 кг/м³. Средний размер частиц – 0,1–10 мкм, основной фракцией являются частицы размером от 0,1 до 2,0 мкм. Маслоёмкость первого рода составляла 25–30, а второго рода – 40–55 г / 100 г пигмента. pH водной суспензии пигмента равна 10. В полученном пигменте преобладает ярко-желтый цвет, он характеризуется высокой насыщенностью, термостабильностью, высокой красящей силой.

шение в 1,5 раза при 3295 см^{-1} в сравнении со спектром покрытия, сформированного на базе полиамида 11.

Введение в качестве модификатора политетрафторэтилена ТГД-синтеза в размере 0,5 масс.% не оказывает существенного влияния на структуру покрытий, формируемых на базе полиамида 6. В ИК-спектре полиамида 11 появляется дополнительная полоса поглощения при 554 см^{-1} , что может свидетельствовать о структурных трансформациях в покрытии при модифицировании полиамидной матрицы, при модифицировании ультрадисперсным политетрафторэтиленом. Увеличение процентного содержания модификатора в полиамидной матрице полиамида 6 приводит к появлению дополнительной полосы поглощения при 549 см^{-1} . Для полиамида 11 появляется дополнительная полоса в области 533 см^{-1} , увеличивается интенсивность полосы при 554 см^{-1} . Структурные изменения, происходящие в полимерной матрице покрытия при модифицировании ультрадисперсным политетрафторэтиленом, оказывают существенное влияние на физико-механические характеристики. Исследования, проведенные методом динамического индентирования показали изменение таких свойств как: эластичность, модуль упругости (табл. 1, 2).

Табл. 1. Физико-механические характеристики покрытия полиамида 6, сформированного на подложке из стали 40

1	Эластичность по отскоку, %	20,6
2	Статический модуль упругости, Па	$2,60 \cdot 10^7$
3	Динамический модуль упругости, Па	$2,36 \cdot 10^9$

Табл. 2. Физико-механические характеристики покрытия полиамида 6+1 масс.% УПТФЭ, сформированного на подложке из стали 40

1	Эластичность по отскоку, %	21,3
2	Статический модуль упругости, Па	$2,31 \cdot 10^7$
3	Динамический модуль упругости, Па	$1,83 \cdot 10^9$

Таким образом, введение в состав полиамидов низкоразмерных частиц политетрафторэтилена, получаемого методом термогазодинамического синтеза приводит к структурной перестройке в матрице полимера. Покрытия на базе ПА6, модифицированные политетрафторэтиленом становятся более эластичными, что должно увеличить стойкость покрытия к ударным воздействиям. Введение низкоразмерного политетрафторэтилена в ПА11 повышает жесткость покрытия, что увеличивает износостойкость нанокомпозиционного покрытия в процессе возвратно-поступательного трения.

конструкторско-технологическая документация и изготовлены партии прецессионных мотор-редукторов для привода заглаживающей машины СО–170, которые успешно эксплуатируются различными строительными организациями.

Не менее важное направление внедрения прецессионных редукторов типа К-Н-V в привод шнекового конвейера установки нории FPK-50. Установка нория предназначена для вертикального транспорта сыпучих материалов мелко- и среднезернистых, а также россыпью в комочках с нижнего уровня на высший. В настоящее время в качестве привода для норий, поставляемых предприятиям сельского хозяйства ОАО «Казимировский опытно-экспериментальный завод», используются редуктора итальянской фирмы TRAMEC, комплектуемые польскими электродвигателями. Однако, в случае выхода строя, их нельзя заменить белорусскими аналогами. Поэтому в рамках договора творческого сотрудничества между ГУВПО «Белорусско-Российский университет» (г. Могилев) и ОАО «Казимировский опытно-экспериментальный завод» (г. Могилев) была разработана конструкторско-технологическая документация и изготовлены экспериментальные образцы прецессионных редукторов для указанной выше установки. Прецессионный мотор-редуктор был установлен в качестве привода нории зерноочистительно-сушильного комплекса КЗСК-30 на КСУП «Экспериментальная база «Дашковка» Могилевского района. Он успешно прошел эксплуатационные испытания в течение одного летнего сезона работы установки.

Одним из перспективных направлений совершенствования планетарных прецессионных передач является создание на их основе передачи фрикционного типа. Сущность технических решения заключается в замене зубчатых венцов планетарной прецессионной передачи на фрикционные диски особой формы. Основное преимущество предлагаемой прецессионной передачи фрикционного типа является возможность обеспечения при трансформации вращения значительных передаточных отношений передачи значительных вращающихся моментов, которых нельзя достичь при использовании фрикционных передач аналогов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компьютерное моделирование планетарных прецессионных передач: монография / П. Н. Громыко [и др.] ; под общ. ред. П. Н. Громыко. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – 271 с.
2. Технологические аспекты создания рабочих поверхностей передач новых типов: монография / П. Н. Громыко [и др.]. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2012. – 209 с.

А. М. ДАНЬКОВ, С. А. ДОРОШКОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Передачи с циклоидально-цевочным зацеплением и постоянным передаточным отношением находят все более широкое применение благодаря своим преимуществам: определяемым меньшим износом рабочих поверхностей; большим коэффициентом перекрытия; меньшими требованиями к точности изготовления деталей; меньшим, чем в эвольвентном зацеплении, углом давления; разностью чисел зубьев колес для внутреннего зацепления равной или большей единице. Однако качество работы циклоидального зацепления в значительной мере зависит от точности межосевого расстояния.

Во внецентроидном циклоидально-цевочном зацеплении теоретически все цевки одновременно находятся в контакте с профилями зубьев циклоидального колеса, причем точкой контакта является точка пересечения нормали к удлинённой эпи- или гипоциклоиде с окружностью цевки. Однако нагрузка может передаваться лишь половиной их общего числа, так как передача усилий может осуществляться по нормали лишь в одном направлении. Поэтому число цевок, участвующих в передаче нагрузки, меньше половины их числа из-за погрешностей изготовления и сборки. Теория и технология изготовления таких передач достаточно хорошо отработаны.

Принципы функционирования и конструирования плавнорегулируемых зубчатых передач на базе составных эвольвентных зубчатых колес также можно признать сформировавшимися и получившими свое наиболее эффективное воплощение в двухколесной планетарной передаче, которая включает двухпоточное составное центральное зубчатое колесо, состоящее из шести зубчатых секторов, и двухпоточный сателлит. Характерным недостатком этих передач является кинематическая погрешность, не в последнюю очередь определяемая отклонением положения зубьев зубчатых секторов, расположенных по обе стороны центрального зуба, от номинального положения. Эта погрешность усугубляется специфической формой эвольвентного зуба, при которой его высота больше поперечных размеров, даже у скорректированных зубьев. Компонировка же планетарной плавнорегулируемой передачи с циклоидально-цевочным зацеплением будет отличаться от аналогичной компоновки передачи с эвольвентными зубчатыми колесами только конструктивным исполнением зубчатых венцов секторов центрального зубчатого колеса и сателлита.

В соответствии с этим основополагающим положением компоновка на

Е. В. ОВЧИННИКОВ, Е. И. ЭЙСИМОНТ

Учреждение образования
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Я. Купалы»
Гродно, Беларусь

Необходимость разработки триботехнических материалов, различающихся по характеристикам, обусловлено специфичностью конструктивных решений автомобильных агрегатов различного функционального назначения. В качестве антифрикционного материала и модификатора полимерных матриц применяется ультрадисперсный политетрафторэтилен, получаемый термогазодинамическим синтезом (ТГД-синтез). Наличие в составе продуктов ТГД-синтеза полимерных и олигомерных компонентов, находящихся в термодинамическом равновесии, обуславливает возможность образования разделительной композиционной пленки в зоне фрикционного контакта, обладающей низким сопротивлением сдвигу, способностью к многократному передеформированию без разрушения и знакопеременному переносу на поверхности трения практически любого состава и строения.

Целью данной работы является изучение физико-механических характеристик полиамидных покрытий, модифицированных низкоразмерным политетрафторэтиленом. В качестве базовых материалов были использованы алифатические полиамиды (ПА6, ПА11). В качестве модификатора использовали фторкомпоненты различной молекулярной массы, состава – ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ). Формирование покрытий проводили методом псевдооживленного нанесения при $T=653\text{K}$ и выдержке в камере в течение 3 секунд, на подложке из стали 40. Исследование физико-химической структуры полимеров, композиционных материалов и модификаторов проводили по общепринятым методикам. Полиамиды характеризуются полосами поглощения в интервале $650\text{--}5000\text{ см}^{-1}$, отвечающими пептидной связи. Полоса поглощения, характеризующаяся волновым числом 3050 см^{-1} , связана с деформационными колебаниями связи N–H вторичного амида, полоса 1650 см^{-1} характеризует деформационные колебания карбонильной группы, а полоса 1550 см^{-1} – деформационные колебания связи N–H. ИК-спектры покрытий, сформированные методом псевдооживленного нанесения из полиамидов, получаемых по различной технологии характеризуются достаточно схожими спектрами, присутствуют интенсивные полосы поглощения в области $500\text{--}750\text{ см}^{-1}$, $1000\text{--}1800\text{ см}^{-1}$, $2800\text{--}3400\text{ см}^{-1}$. Однако, для ИК-спектра полиамида 6 характерно наличие полос поглощения при 838 см^{-1} , 1075 см^{-1} , 1223 см^{-1} , уменьшение интенсивности полос поглощения в 2,2–2,5 раза при $2868\text{--}2934\text{ см}^{-1}$, увеличение интенсивности полосы погло-

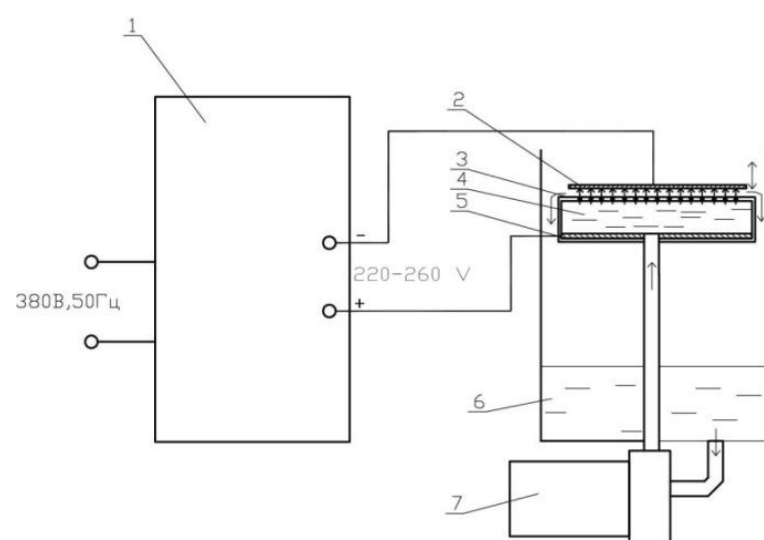


Рис. 2. Схема нанесения гальванических покрытий на плоские образцы в режиме катодной ЭПО

Положительно поляризованный электролит, выходя из спрейера, создает на поверхности заготовки-катода парогазовую оболочку, в которой одновременно протекают два процесса: электролиз в жидкой среде за счет разности потенциалов между заготовкой (катодом) и рабочей ванной (анодом) и возникновение электрических разрядов в парогазовой оболочке вокруг поверхности заготовки, за счет чего происходит формирование электролитной плазмы. Эти особенности процесса катодной ЭПО обеспечивают высокую адгезию наносимого гальванического покрытия. Установлено, что прочное соединение покрытия с основой достигается за счет электрических разрядов в электролитной плазме, которые приводят к локальному нагреву микронной детали и осажденного покрытия выше температуры плавления и получению сплава материала детали и покрытия. В результате образуется плавный переход без переходной зоны, в отличие от традиционного гальванического покрытия.

Установлено, что формирование качественных покрытий возможно в следующих диапазонах технологических параметров: концентрация электролита – 16–24 %, температура электролита – 75–90 °С, напряжение – 200–260 В, продолжительность обработки – 30–90 с.

Проведенные микроструктурные исследования полученных цинковых и никелевых покрытий показали, что в зависимости от технологических параметров обработки толщина наносимого покрытия может достигать 30–40 мкм. Производительность процесса повышается при снижении температуры электролита и рабочего напряжения. Повышение скорости нанесения покрытий происходит из-за уменьшения парообразования в парогазовой оболочке, что обеспечивает уменьшение её толщины и повышение плотности тока.

Исследования показали, что наиболее перспективной областью применения метода является нанесение гальванических покрытий на поверхности плоских и цилиндрических профилей бесконечной длины, получаемых прокаткой и волочением и требующих защиты от коррозии.

базе циклоидально-цевочного зацепления плавнорегулируемая передача будет иметь составное центральное зубчатое колесо, состоящее из 6-ти секторов, имеющих 5 цевок каждый, что должно обеспечить приемлемый диапазон регулирования передаточного отношения. Приняв это положение за основу, можно составить упрощенный алгоритм определения основных параметров передачи, обеспечивающих требуемое качество взаимодействия зубчатых венцов сателлита и секторов центрального зубчатого колеса, принадлежащих различным силовым потокам.

Прежде всего необходимо задаться радиусом окружности центров цевок (условной начальной окружности) условного центрального зубчатого колеса при минимальном вылете его секторов и числом цевок, как правило, кратном 3. Это позволит определить такие параметры, как шаг цевок и его отношение к числу π (условный модуль зацепления). Число зубьев сателлита будет на единицу меньше принятого числа цевок, а радиус цевки может быть принят равным условному модулю зацепления, деленному на 1,3...1,7. Далее в соответствии с приведенными в литературе рекомендациями представляется возможным определить радиус начальной окружности сателлита и величину эксцентриситета начальных окружностей сателлита и условного центрального зубчатого колеса.

Геометрия секторов центрального зубчатого колеса предельно проста, а координаты точек центрального профиля (координаты центра цевки, взаимодействующей с профилем зуба сателлита) определяются по формулам, также приведенным в литературе. Полученные таким образом размеры позволяют выполнить компоновку и чертежи деталей планетарной плавнорегулируемой передачи с циклоидально-цевочным зацеплением.

При максимальном вылете зубчатых секторов центрального зубчатого колеса кинематическая погрешность передачи с циклоидально-цевочным зацеплением должна определяться, как и в эвольвентной передаче, точностью изготовления.

При взаимодействии сателлита с секторами центрального зубчатого колеса при их минимальном вылете будет возникать предположительно наибольшая по величине кинематическая погрешность передачи, которая будет определяться не максимальным боковым зазором, а его минимальным значением, что свидетельствует о потенциально более высокой кинематической точности циклоидально-цевочной передачи по сравнению с эвольвентной.

Кроме того, в пользу высказанного тезиса свидетельствуют очевидно меньшие по величине отклонения цевки от номинального положения при регулировании передаточного отношения передачи, определяемые несомненной разницей формы цевки и эвольвентного зуба.

УДК 621.833.68
ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КИНЕМАТИКИ ПЛАНЕТАРНОЙ
ПЛАВНОРЕГУЛИРУЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ

А. М. ДАНЬКОВ, С. А. ДОРОШКОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Основные параметры планетарной плавнорегулируемой передачи определяются в результате решения задач синтеза и анализа ее составного центрального зубчатого колеса. Ее достоинствами являются конструктивная простота, неподвижность регулируемого составного зубчатого колеса, благоприятная форма центрального зубчатого колеса, способствующая исключению заклинивания сателлита без коррекции параметров исходного контура при малой разности зубьев этого колеса и сателлита.

Качество преобразования параметров движения планетарной плавнорегулируемой передачей, а, следовательно, степень отклонения расположенных в зоне пересопряжения зубчатых секторов центрального зубчатого колеса зубьев от номинального положения и вызванная этим кинематическая погрешность передачи, при заданном числе зубьев сателлита будут определяться, в основном, параметрами двухпоточного составного центрального зубчатого колеса (условным начальным диаметром или числом зубьев).

Кинематика этой передачи без применения компенсаторов не сможет в полной мере соответствовать своему функциональному назначению. Предложения по их конструктивному оформлению можно будет сформулировать после убедительно подтвержденной экспериментально предварительной оценки величины присущей передаче в силу ее конструктивных особенностей кинематической погрешности.

В зоне пересопряжения секторов из-за их жесткой конструкции при значениях диаметра условной начальной окружности центрального зубчатого колеса, меньших его значения для колеса-заготовки, создаются объективные предпосылки для возникновения наибольшей погрешности угла поворота сателлита.

Приемлемое значение кинематической погрешности передачи легко обеспечивается во всей области эффективных значений чисел зубьев сателлита. Эта область содержит именно те значения чисел зубьев, которые при достигнутом на сегодняшний день техническом уровне передачи обеспечивают выполнение передачи двухпоточной при независимом функционировании каждого из силовых потоков, что является одним из условий существования зубчатой плавнорегулируемой передачи. При этом числа зубьев сателлита должны конструктивно обеспечивать возможность углового смещения каждого из двух его зубчатых венцов и размещения упругого компенсатора,

УДК 621.9
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ
ПОКРЫТИЙ КАТОДНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ
ОБРАБОТКОЙ

В. С. НИСС, А. Э. ПАРШУТО, А. П. СИМОНЧИК

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК БНТУ «ПОЛИТЕХНИК»
Минск, Беларусь

Электролитно-плазменная обработка (ЭПО) является относительно новой технологией инженерии поверхности, которая включает в себя как анодные (очистка, полирование, оксидирование), так и катодные процессы (например, термическая и химико-термическая обработка, очистка). ЭПО имеет электрохимическую природу аналогичную гальваническим процессам. Однако рабочее напряжение в процессах ЭПО значительно выше, чем в гальванических. Двухфазная система электрод-электролит, возникающая при обычном электролизе превращается в четыре составляющих: электрод, парогазовая оболочка (ПГО), газовый электрический разряд и электролит (рис. 1). В канале электрического разряда образуется низкотемпературная плазма, оказывающая химическое и термическое воздействие на поверхность образца.

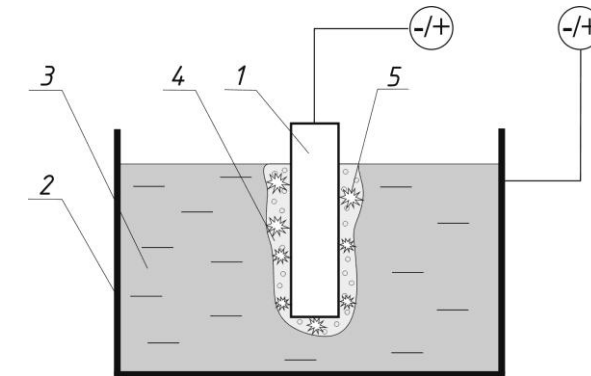


Рис. 1. Схема электролитно-плазменной обработки: 1 – деталь (анод или катод); 2 – ванна; 3 – электролит; 4 – парогазовая оболочка; 5 – электрический разряд

Проведены исследования по нанесению цинка и никеля на плоские образцы из стали Ст3 в катодном режиме ЭПО. В качестве электролитов использовали сульфаты цинка и никеля. Разработанная схема нанесения покрытий представлена на рис. 2. Обрабатываемое изделие 2 закрепляется над поверхностью бака с электролитом и подключается к отрицательному полюсу источника питания 1. Электролит из бака 6 с помощью циркуляционного насоса 7 прокачивается через спрейер 3 и направляется на поверхность заготовки-катада. В спрейере находится электрод 5, подключенный к положительному полюсу источника питания.

лялась доля волоконной структуры в объеме композиционного материала. Были рассмотрена прочность на изгиб после закалки с разных температур. Сопоставление результатов, приведенных на рис. 1, показывает, что при использовании СГП процесс роста упрочняющих волокон смещается в область более высоких температур, приводя при этом к повышению прочности на изгиб материала волокон в 13 раз. Прочность выращенных волокон сравнима с прочностью керамических и металлических усов. Это обеспечило повышение прочности на изгиб нового инструментального материала в 1,2 раза. Одновременно, это обеспечило повышение износостойкости в 1,7–1,8 раза.

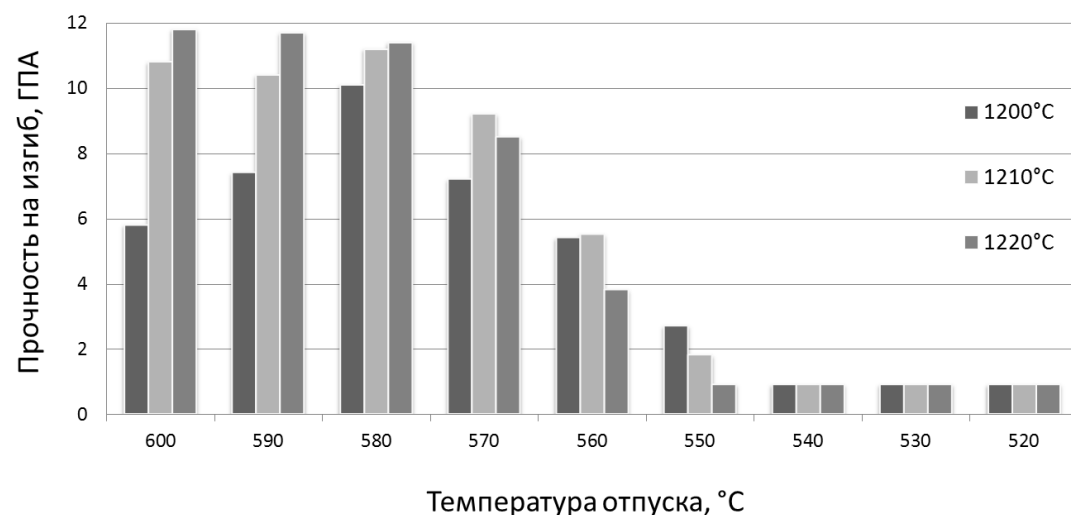


Рис. 1. Изменение прочности на изгиб армирующих волокон в зависимости от режима термообработки

Выводы.

1. Процесс роста упрочняющих волокон в композиционном материале с матрицей из стали Р6М5 при термообработке происходит в области более высоких температур, по сравнению со стандартным режимом термообработки для стали Р6М5. Изменение стандартного режима приводит к повышению прочности на изгиб материала волокон в 13 раз.

2. Завершение диффузионных процессов с помощью разработанного режима ТО обеспечило повышение прочности на изгиб нового инструментального композиционного материала в 1,2 раза. Одновременно, это обеспечило повышение износостойкости в 1,7–1,8 раза.

3. Создания композиционных материалов на базе металлической матрицы с использованием метода СГП и последующей специально разработанной схемы ТО представляет собой экономически выгодную и конкурентоспособную технологию.

связывающего эти венцы и способного ограничивать их требуемое смещение приемлемой величиной при рабочих нагрузках.

Одним из путей совершенствования кинематики планетарной плавнорегулируемой передачи является повышение ее кинематической точности. Из вышесказанного следует, что это может быть достигнуто конструктивными мероприятиями, заключающимися в выполнении передачи вместо двух – трехпоточной. Это, прежде всего, позволит уменьшить искажение номинального положения зубьев секторов вследствие уменьшения углового шага последних. Кроме того, при уменьшении условного начального диаметра центрального зубчатого колеса в трехпоточной передаче в зацеплении с зубьями сателлита будут участвовать зубья зубчатых секторов, расположенные наиболее близко к среднему зубу сектора и имеющие вследствие этого наименьшие отклонения от номинального положения.

Конструктивными проблемами планетарной плавнорегулируемой передачи являются необходимость балансировки сателлита и синхронизации радиальных перемещений сателлита и зубчатых секторов центрального зубчатого колеса, а также съём вращения с сателлита и сообщение его ведомому валу. Первые две проблемы напрямую не связаны с кинематикой передачи и поэтому не являются в данном случае объектом рассмотрения. Съём же вращения с сателлита может осуществляться с помощью муфты Ольдгейма, вспомогательной цепной передачи, карданной передачи и вспомогательной планетарной передачи. В самом общем случае конструкция плавнорегулируемой передачи обеспечивает реализацию трех режимов функционирования: редукции, единичного преобразования и мультипликации. Использование вспомогательных цепной и планетарной передач позволяет корректировать передаточное отношение плавнорегулируемой передачи, определяя тем самым, величину областей редукции и мультипликации. Это достигается следующим образом. Как цепная, так и планетарная вспомогательные передачи включают элементы передачи движения (звездочки и зубчатые колеса), жестко связанные с сателлитом и выходным валом передачи, взаимодействующие с цепью (в цепной передаче) и расположенным в специальной обойме зубчатым колесом с внутренними зубьями (в планетарной передаче). Если звездочки (зубчатые колеса) имеют одинаковые числа зубьев, то вспомогательные передачи не оказывают влияния на величину передаточного отношения плавнорегулируемой передачи. Если же звездочка (зубчатое колесо), связанное с сателлитом, имеет число зубьев меньше числа зубьев звездочки (зубчатого колеса), связанной с выходным валом – увеличивается размер области редуцирования, а при обратном соотношении чисел зубьев – увеличивается размер зоны мультипликации плавнорегулируемой передачи, что представляет собой второй путь совершенствования ее кинематики.

А. В. ЛОКТИОНОВ
Учреждение образования
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Витебск, Беларусь

Рассмотрим движение системы тел при их вращении вокруг неподвижной оси при условии, что одно из тел системы перемещается в радиальном направлении, т.е. при условии, что момент инерции системы является величиной переменной.

Система состоит из двух тел, одно из которых представляет собой диск, а второе – тело точечной массы. Диск характеризуется моментом инерции I_0 , тело точечной массы – массой m . Тело 2 способно перемещаться в радиальном направлении ($r=OM$) по диску 1. Момент инерции системы

$$I = I_0 + mr^2. \quad (1)$$

Кинетический момент системы

$$L = I\omega. \quad (2)$$

Дифференцируя уравнение (1), получим

$$\frac{dI}{dt} = 2mr\dot{r} = 2mr\dot{r} = 2mr\nu. \quad (3)$$

Момент кориолисовых сил инерции при движении тела 2

$$M_\kappa = 2m(\omega\dot{r}) \cdot r = 2mr\nu\omega. \quad (4)$$

Из равенств (3) и (4) следует, что

$$\frac{dI}{dt} \omega = M_\kappa. \quad (5)$$

Полученная формула (5) определяет взаимосвязь геометрии масс с проявлением сил инерции. Установлено, что изменение осевого момента инерции, наряду с угловой скоростью, также является причиной появления моментов сил инерции. Изменение осевого момента инерции вызвано перемещением точки в радиальном направлении.

Рассмотрим влияние сил инерции отдельно на каждое тело системы.

Кинетический момент первого тела

$$L_1 = I_0\omega = I_0 \frac{L}{I}; \quad (6)$$

второго тела

$$L_2 = (m\nu) \cdot r = mr^2\omega = mr^2 \frac{L}{I}. \quad (7)$$

Тогда $I_0 \frac{L}{I} + mr^2 \frac{L}{I} = L$. Следовательно, соблюдается условие $L_1 + L_2 = L$.

При перемещении тела 2 на тело 1 действует кориолисова сила инерции и сила инерции углового ускорения. Производная от кинетического момента первого тела

$$\frac{dL_1}{dt} = -M_\kappa - M_\varepsilon, \quad (8)$$

Е. И. МАРУКОВИЧ, Ю. С. УШЕРЕНКО
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым
направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ
Могилев, Минск, Беларусь

Композиционные материалы отличаются от обычных сплавов более высокими значениями временного сопротивления и предела выносливости (на 10–50 %), модуля упругости, коэффициента жесткости. Прочность композиционных (волоконных) материалов определяется свойствами волокон, поэтому прочность и модуль упругости волокон должны быть выше, чем прочность и модуль упругости матрицы. Существуют такие методы изготовления композиционных материалов: парогазофазный, жидкофазный, твердожидкофазный, твердофазный, направленная кристаллизация.

Главным недостатком современных композиционных материалов является высокая стоимость и сложность изготовления. Именно этот фактор является сдерживающим для масштабного внедрения композиционных материалов. Альтернативные технологии изготовления композиционных материалов с металлической матрицей могут решить эту проблему. Создание объемно-упрочненных композиционных материалов методом сверхглубокого проникания (СГП) на базе матрицы быстрорежущей стали Р6М5 дает возможность разработки и внедрения экономически выгодных технологий получения композитов. При реализации СГП под действием пульсирующей полей сверхвысокого давления происходит размазывание порошковой частицы по всей длине канала прохождения, который схлопывается за частицей. Таким образом, в объеме твердого металлического тела возникают волоконные структуры из остаточного дефектного материала, формирующие каркас. При этом плотность армирования в продольном направлении, как правило, в 3 раза больше, чем в поперечном. Состояние синтезируемого упрочняющего материала является метастабильным, т.к. процессы диффузии остаются незавершенными в период времени реализации СГП – 10^{-8} – 10^{-4} с.

На этом основании была разработана технология упрочнения композиционного материала с матрицей из стали Р6М5. При производстве массивного инструментального композиционного материала необходим процесс термической обработки для завершения перестройки структуры.

Рассмотрим изменение прочности на изгиб композиционного материала после обработки стальных заготовок смесью порошков в режиме СГП и термической обработки. Для оценки прочности волоконных структур σ_f опреде-

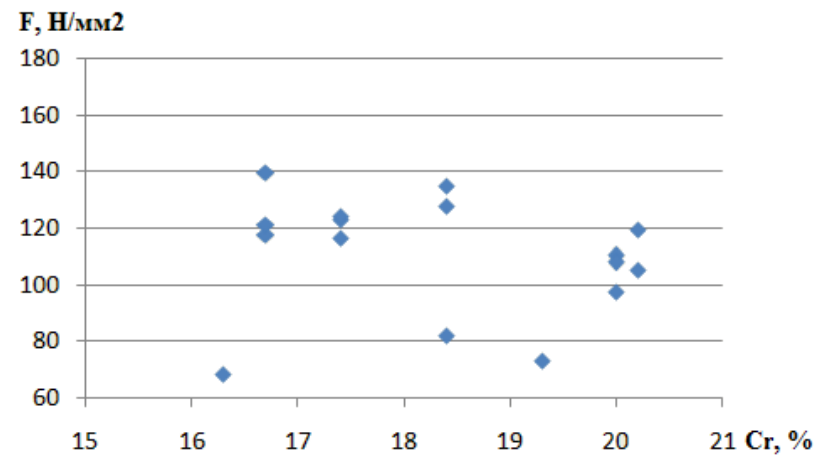


Рис. 2. Зависимость прочности на излом от содержания хрома

Проведенные исследования позволили установить экономное содержание хрома в пределах 16–17 % при эвтектическом содержании углерода.

При этом отливки имеют мелкокристаллическую структуру (рис. 3) ориентированную в направлении перпендикулярном износу, твердость 60–62 HRC и прочность на излом 119–121 Н/мм².

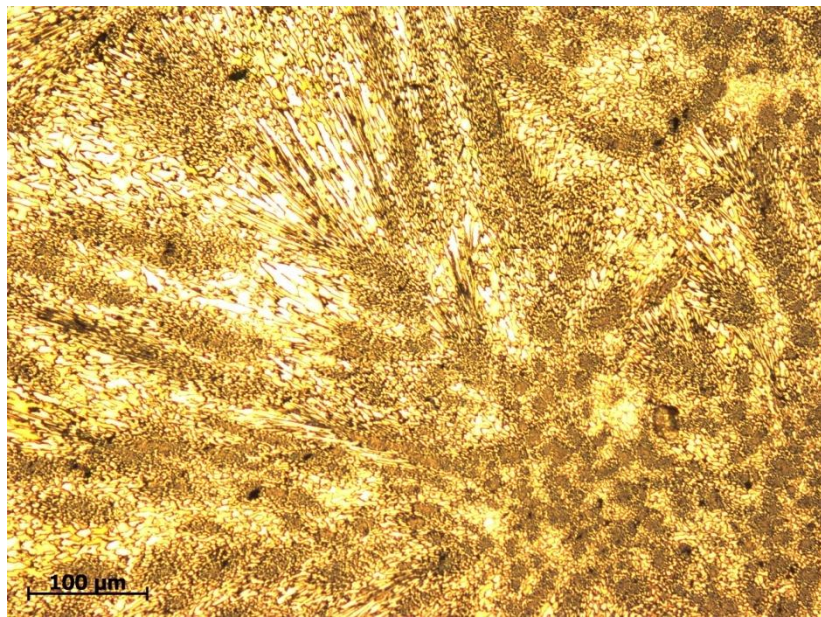


Рис. 3. Структура хромистого чугуна, полученного из вторичного сырья

$$\text{где } M_k = \frac{\dot{L}}{I}. \quad (9)$$

Моменты реакций связей и силы тяжести равны нулю. Найдем момент M_ε сил инерции углового ускорения. При этом

$$a_\tau = \varepsilon r = \frac{d\omega}{dt} r; \quad \Phi_\tau = m a_\tau = m \left(\frac{d\omega}{dt} \right) \cdot r; \quad M_\varepsilon = (m a_\tau) \cdot r = m \frac{d\omega}{dt} r^2, \quad \text{где } \omega = \frac{L}{I};$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{L}{I} \right) = L \frac{d}{dt} (I^{-1}) = -L I^{-2} \dot{I} = -\frac{\dot{I}}{I^2} L.$$

$$\text{Следовательно, } M_\varepsilon = -m \left(\frac{\dot{I}}{I^2} L \right) r^2 = -\frac{\dot{I}}{I^2} m r^2 L. \quad (10)$$

$$\text{Представим уравнение (8) в виде} \quad \frac{dL_1}{dt} = -\frac{\dot{L}}{I} - \left(-\frac{\dot{I}}{I^2} m r^2 L \right) = -\frac{\dot{L}}{I} + \frac{\dot{I}}{I^2} m r^2 L = -\frac{\dot{L}}{I} + \frac{\dot{I}}{I^2} (m r^2 + I_0 - I_0) = -\frac{\dot{L}}{I} + \frac{\dot{I}}{I} - \frac{\dot{I}}{I^2} L I_0.$$

$$\text{Тогда } \frac{dL_1}{dt} = -\frac{\dot{L} I_0}{I^2}. \quad \text{Откуда } L_1 = -I_0 L \int \frac{\dot{I}}{I^2} dt. \quad \text{Введем замену } \frac{1}{I} = Z; \quad -\frac{\dot{I}}{I^2} dt = dZ; \quad L_1 = -I_0 L \int dZ = I_0 L Z + c = \frac{I_0 L}{I} + c. \quad \text{При } t=0 \quad L_1 = \frac{I_0 L}{I_0 + m r^2}, \quad I = I_0 + m r^2.$$

Откуда $c=0$. Окончательно получим $L_1 = \frac{L I_0}{I}$, что соответствует равенству (6).

Следовательно, моменты инерции сил системы применительно к отдельным телам системы действуют как моменты внешних сил.

Рассмотрим влияние сил инерции на тело 2. Производная от кинетического момента второго тела

$$\frac{dL_2}{dt} = M_k + M_\varepsilon = \frac{\dot{L}}{I} - \frac{\dot{I}}{I^2} m r^2 L = \frac{\dot{L}}{I} - \frac{\dot{I}}{I^2} L (m r^2 + I_0 - I_0) = \frac{\dot{L}}{I} - \frac{\dot{L}}{I} + \frac{\dot{I}}{I^2} L I_0 = \frac{\dot{L} I_0}{I^2}.$$

$$\text{Тогда } \frac{dL_2}{dt} = \frac{\dot{L} I_0}{I^2}. \quad \text{Из данного уравнения получим } L_2 = I_0 L \int \frac{\dot{I}}{I^2} dt \text{ и, введя замену } \frac{1}{I} = Z; \quad \frac{\dot{I}}{I^2} dt = -dZ, \quad \text{получим } L_2 = -I_0 L \int dZ = -I_0 L Z + c = -\frac{I_0 L}{I} + c. \quad \text{При } t=0 \quad L_2 = \frac{m r^2 L}{I}. \quad \text{Откуда } c = L, \text{ а } L_2 = L - \frac{L I_0}{I} = L - L_1.$$

Значит, и в рассматриваемом случае соблюдаются условия $L_1 + L_2 = L$.

При рассмотрении влияния направления моментов сил инерции на расчет кинетического момента тела 2 при условии, что момент M_k кориолисовых сил инерции и момент M_ε сил инерции углового ускорения направлены так же, как и при рассмотрении влияния сил инерции на тело 1 при перемещении тела 2 в радиальном направлении установлено, что при и отрицательных значениях моментов сил инерции так же соблюдается равенство $L_2 = L - L_1$.

Следовательно, и при отрицательных значениях моментов сил инерции для тела 2 точечной массы, участвующего в сложном движении, соблюдается равенство $L_1 + L_2 = L$. Направления моментов сил инерции для второго тела не влияют на расчет его кинетического момента $L_2 = L - L_1$.

А. В. ЛОКТИОНОВ
Учреждение образования
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Витебск, Беларусь

В процессе резания расчет задних углов, выражающих реальную величину зазора между поверхностью инструмента и поверхностью резания, непосредственно связан с изучением перемещения инструмента и обрабатываемого объекта. Задний угол движения α_d измеряется между вектором относительной скорости резания и касательной к траектории сложного пространственного движения инструмента в заданной точке.

На чертежах резцов указываются геометрические параметры, полученные при заточке. При работе механизма приходится изменять положение режущего лезвия относительно обрабатываемого массива, а в зависимости от положения вершины резца изменяются направления вектора скорости и геометрические параметры резцов в состоянии движения, которыми определяется процесс резания и износ инструментов.

Для использования закономерностей движения резцов при разработке исполнительных механизмов определяются следующие расчетные зависимости: скорость движения инструмента, его ориентация относительно траектории движения и вытекающие из требований кинематики углы заточки (или установки) инструмента. При обработке массива кинематические углы резцов не должны превышать их геометрические значения. Иначе массив разрушается боковыми и задними гранями резцов, увеличиваются расход режущего инструмента, усилия и мощность резания, что является одной из причин малоэффективной работы машин.

Аналитическому расчету кинематических параметров резцовых исполнительных механизмов посвящены исследования, изложенные, например, в работах В. Г. Унгефуга и Е. К. Губенкова.

В работе В. Г. Унгефуга получены общие параметрические уравнения движения резца в пространственной системе координат и найдена скорость его движения. Кинематические углы Ψ_1 и Ψ_2 вектора абсолютной скорости движения инструмента определяются как линейные углы, образуемые вектором $\vec{v}$ абсолютной скорости и его проекцией на плоскость вращения инструмента (угол Ψ_1) и на плоскость, нормальную к радиусу вращения инструмента (угол Ψ_2). В работе даны рекомендации по проектированию режущего инструмента, предложена конструкция резца, углы заточки которого обеспечивают рациональные условия резания с учетом Ψ_1 и Ψ_2 . Аналитические выражения для определения углов Ψ_1 и Ψ_2 имеют вид

$$\sin \psi_1 = -\sin \gamma (\lambda \cos \xi + \cos i \varphi) / \Pi^{\frac{1}{2}}, \quad \sin \psi_2 = \lambda (\sin i \varphi \cdot \cos \xi \cdot \cos \gamma + \cos i \varphi \cdot \sin \xi) / \Pi^{\frac{1}{2}},$$
где γ, ξ – углы установки диска в пространстве, характеризующие положение плоскости относительно вращения резцов диска; $\varphi = \omega_b t$ – угол поворота

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. М. ИЛЬЮШЕНКО, П. Ю. ДУВАЛОВ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

В настоящее время важное место в экономике занимают отрасли промышленности, связанные с переработкой минерального сырья. В энергетической, горно-обогатительной и других отраслях одной из основных операций является измельчение различных материалов. Одним из способов осуществления дробления материалов являются центробежные дробилки и мельницы. Вследствие абразивного взаимодействия размалываемого материала детали дробилок и мельниц изнашиваются. Быстрый износ этих деталей приводит к значительному росту затрат на дробление и измельчение. В связи с этим, актуальной задачей является не только повышение стойкости деталей, но и уменьшение их стоимости.

Использование лома легированных сталей, заготавливаемых в Республике Беларусь, при изготовлении сменных деталей дробильно-размольного оборудования может значительно уменьшать конечную стоимость литья.

Для изучения механических свойств хромистого чугуна полученного из вторичных материалов, была изготовлена специальная отливочная форма. В форме получали образцы для измерения твердости, изучения структуры и прочности на излом. Результаты исследований твердости и прочности на излом от содержания хрома представлены графически (рис. 1, 2).

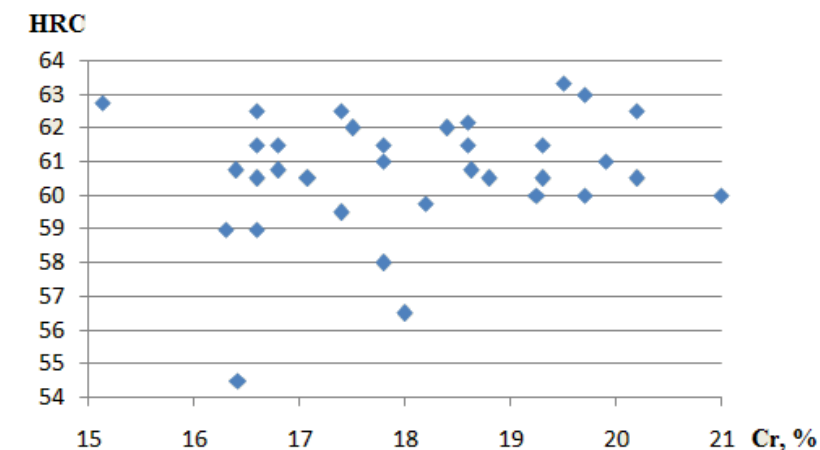


Рис. 1. Зависимость твердости от содержания хрома

С. Д. МАКАРЕВИЧ

Научно-практический центр учреждения
«МОГИЛЕВСКОЕ ОБЛАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЧС
Республики Беларусь»
Могилев, Беларусь

Современное состояние технического оснащения подразделений МЧС Беларуси находится в стадии развития, тем не менее вопросы обеспечения проведения аварийно-спасательных работ и других неотложных работ при ликвидации различных чрезвычайных ситуаций, вызванных стихийными бедствиями, авариями и катастрофами решаются достаточно эффективно, но с огромными затратами и проблемами. Шлем пожарного-спасателя (ШПС) предназначен для защиты головы, шеи и лица человека от механических и термических воздействий, агрессивных сред, поверхностно-активных веществ и воды при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, а также неблагоприятных климатических воздействий.

С целью создания отечественного шлема пожарного для пожарных аварийно-спасательных подразделений научно-практическим центром Могилевского областного управления МЧС по заявке ОДО «Авторадиус» был заключен договор на проведение НИОКР.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- осуществлен сбор и анализ информации о шлемах пожарных применяемых в Республике Беларусь;
- определены конструктивные особенности разработанного шлема пожарного;
- проведены стендовые испытания шлема и по их результатам доработана его конструкция;
- проведены сертификационные испытания опытных образцов шлема пожарного.

Разработанный шлем обладает определенными техническими преимуществами в сравнении с аналогами, используемыми подразделениями МЧС Республики Беларусь:

- масса шлема составляет – 1200 грамм;
- шлем имеет возможность трансформации.

Он состоит из двух касок: наружной для проведения основных аварийно-спасательных работ и тушения пожаров и внутренней для проведения работ, не требующих защиты головы пожарного в соответствии с ГОСТ 30694-2000 «Техника пожарная. Шлем пожарного. Общие технические требования и методы испытаний» (например, работа с бензопилами, работа с гидравлическим инструментом и т.д.).

Реализация опытно-конструкторской работы по созданию шлема пожарного позволит оснастить соответствующие подразделения современным отечественным многофункциональным средством защиты головы пожарного от механических повреждений, воды, теплового излучения и поражения электрическим током при тушении пожаров и ликвидации аварий. Перспективными рынками внедрения являются страны СНГ.

исполнительного механизма (водила); $\lambda = R/r$ – отношение радиусов водила и диска; $i = \omega_d / \omega_b$ – отношение угловых скоростей диска и водила; Π – планетарная функция основных параметров, определяемая в зависимости от основных параметров планетарного диска $\gamma, \xi, \lambda, r, i, \varphi$ из выражения $\Pi = \lambda^2 + 2[\cos i\varphi(1 + i \cos \gamma) \cos \xi - \sin i\varphi(i + \cos \gamma)] + (i + \cos \gamma)^2 + \cos^2 i\varphi \sin \gamma$.

В работе Е. К. Губенкова исследование основных закономерностей движения резцового инструмента переносится в область планетарных исполнительных органов с иным расположением осей. Автором выполнен расчет необходимых по условиям кинематики углов заточки инструмента. Для исключения внедрения задней и боковой граней в разрушаемый массив определяются угол движения α_d , угол наклона ξ и угол поворота Ψ инструмента. Угол α_d определяется как угол между плоскостями. Расчетные формулы с помощью аналитической геометрии получить достаточно сложно, так как требуется пространственное изображение расчетной схемы исполнительного органа.

Разработанные на основе аналитической геометрии указанные выше расчетные зависимости и пространственные схемы громоздки и трудоемки для составления применительно к сложному движению разрушающего исполнительного механизма. Математическое описание перемещающихся плоскостей и определение угла между ними значительно усложняют расчетную схему и кинематический расчет в целом. Кинематические углы в процессе резания не соответствуют геометрическим углам режущего инструмента. Для сравнения геометрии резца с его кинематическими углами необходим дополнительный перерасчет полученных зависимостей. Для того, чтобы геометрические углы резцов соответствовали кинематическим углам Ψ_1 и Ψ_2 , необходимо знать углы φ и τ .

Углы φ и τ являются кинематическими углами резца в процессе резания. Чтобы оценить эффективность резцов, а, следовательно, и исполнительного механизма достаточно знать отдельные составляющие вектора абсолютной скорости, которые устанавливают необходимые углы их заточки. Для определения угла φ необходимо знать V_z и V_y , а для определения угла τ – V_x и V_y . Кинематический угол ξ для передней грани находится по формуле $\operatorname{tg} \frac{\xi}{2} = V_z / V_x$. Ось X направлена вдоль оси резца, ось Y – перпендикулярно оси X в плоскости симметрии резца, ось Z – перпендикулярно плоскости симметрии резца.

Большая компактность записи достигается при решении задач матричным методом. Разработка матричных уравнений расчета кинематических параметров пространственных исполнительных механизмов представляет определенный научный и практический интерес. Исходные конструктивные параметры должны быть едины для исполнительных механизмов любой конфигурации: выполненных в виде конуса, сферы, цилиндра, овального корпуса, диска.

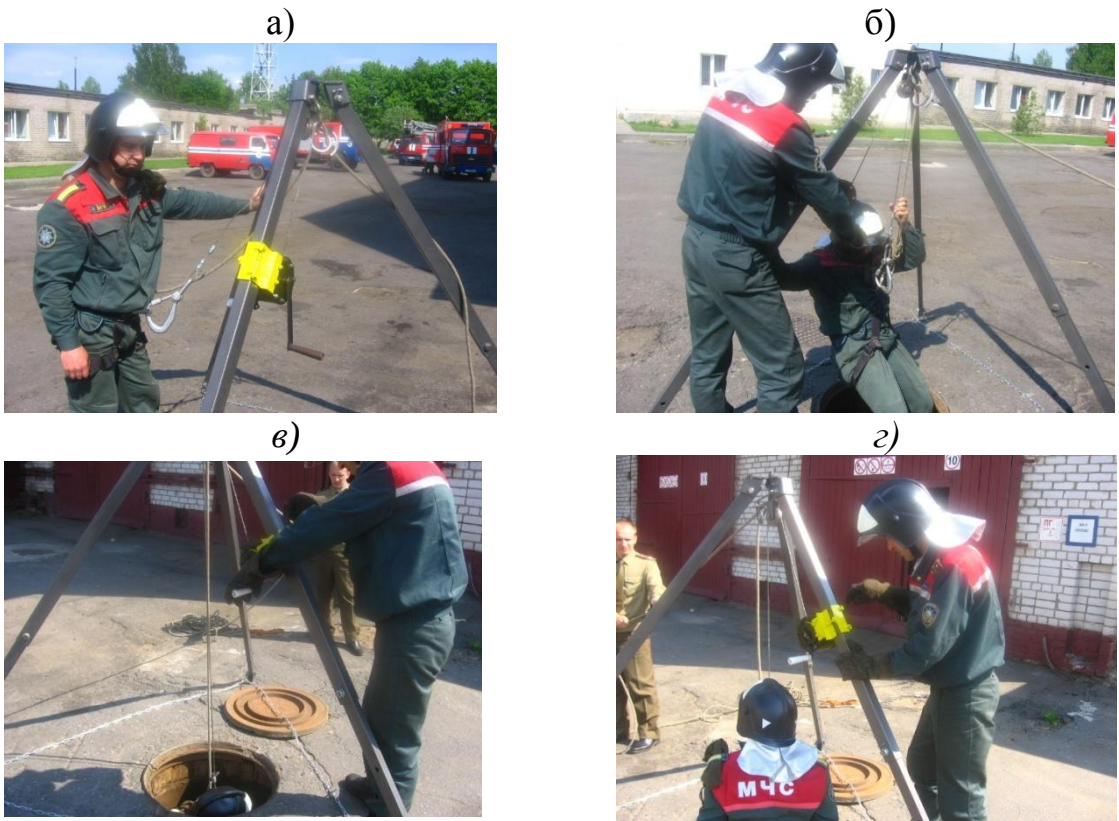
Анализ аналитических методов расчета кинематических параметров режущего инструмента исполнительных механизмов позволил предложить аналитические зависимости для расчета кинематических углов резцов в процессе резания и рекомендовать матричный метод расчета кинематических параметров исполнительных механизмов при определении проекций абсолютной скорости точки M (резца) на подвижные и неподвижные оси координат.

УДК 833.06
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ
С ПРЕЦЕССИОННЫМ РЕДУЦИРУЮЩИМ МЕХАНИЗМОМ
С КОНИЧЕСКИМИ РОЛИКАМИ

С. Д. МАКАРЕВИЧ
Научно-практический центр учреждения
«МОГИЛЕВСКОЕ ОБЛАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЧС
Республики Беларусь»
Могилев, Беларусь

Эксплуатационные испытания аварийно-спасательного устройства с применением лебедки на базе прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами проводились по программе, совместно разработанной научно-практическим центром Могилевского областного управления МЧС и Белорусско-Российским университетом.

Испытания проводились пожарным аварийно-спасательным отрядом (ПАСО) Могилевского областного управления Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь на территории испытательной площадки отряда и Могилевским районным отделом по чрезвычайным ситуациям (рис. 1).



избыточный кислород перед введением лигатуры можно раскислением основы элементами, имеющими большее сродство к кислороду, чем медь. В качестве раскислителей возможно использование кальция, марганца, магния, лития, кремния. Но наиболее часто применяется фосфор и бор.

В работе предварительное раскисление проводили двумя способами – при помощи фосфора, вводя CuS , и при помощи бора, предварительно смешав его с порошком меди ПМС-1. Наилучшие результаты получены в плавках, раскисленных бором. Эффективность действия бора, как раскислителя, выше по сравнению с другими элементами, так как окисел бора B_2O_3 , имеющий кислый характер, взаимодействуя с закисью меди, способен образовывать шлаки – $2\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$, содержащие борат меди. Таким образом, бор способен связывать на 60 % больше кислорода, чем это следует из стехиометрического соотношения элементов в окисле B_2O_3 . Расчеты показывают, что при раскислении Cu одна массовая часть бора связывает 5,2 массовые части кислорода, в то время как одна массовая часть P – 1,8; Li – 1,14; Mg – 0,66 части кислорода.

Полученные результаты плавков приведены в табл. 1.

Табл. 1. Химический состав и физико-механические свойства бронз, полученные с предварительным раскислением расплава фосфором и бором

Марка сплава	Раскислитель	Химический состав, %			G_B , МПа	НВ, МПа	δ , %	$R \times 10^9$, Ом·м
		Cr	Zr	Fe				
БрХ1	Р	0,388	—	0,038	340	95	15,0	18,0
БрХЦр	Р	0,417	0,015	0,046	420	110	19,0	19,5
БрХ1	В	0,437	—	0,043	348	120	14,5	17,5
БрХЦр	В	0,544	0,038	0,040	537	145	18,0	19,0

Таким образом, наибольшей раскислительной способностью обладает бор. Выплавленные с его применением бронзы имеют химический состав и физико-механические свойства, соответствующие требованиям ГОСТа.

Рис. 1. Эксплуатационные испытания устройства
88

ВЛИЯНИЕ РАСКИСЛИТЕЛЕЙ НА СТЕПЕНЬ УСВОЕНИЯ
ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И СВОЙСТВА СПЛАВОВ
ПРИ ОТКРЫТОЙ ПЛАВКЕ ХРОМОВЫХ БРОНЗ

Ф. Г. ЛОВШЕНКО,* Г. Ф. ЛОВШЕНКО, И. А. ЛОЗИКОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования

«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Могилев, Минск, Беларусь

Применение универсальных плавильных агрегатов открытого типа вместо специализированных вакуумных печей позволяет существенно снизить стоимость получаемых хромовых и хромоциркониевых бронз. Основным недостатком этой технологии является повышенное содержание кислорода в расплаве, что приводит к угару легирующих элементов (хрома и циркония) и частичному окислению основного металла – меди.

Цель данной работы заключалась в исследовании влияния наиболее известных раскислителей – фосфора и бора на химический состав и свойства литых бронз, получаемых с применением механически легированной лигатуры.

Плавка велась в высокочастотной индукционной печи, питаемой от генератора ВЧГ 1/60 – 0,066, с использованием графитовых тиглей. Основой сплавов являлась чистая медь М1 (ГОСТ 859–2001) «Медь и марки». Образцы для исследований вырезали из слитков, полученных литьем в металлический кокиль. Для определения физико-механических свойств литые образцы подвергали термической обработке, состоящей в закалке с температуры 1000 ± 10 °С на воду и последующему старению при температуре 470 ± 2 °С в течение 4-х часов. Промежуточная между закалкой и старением операция пластической деформации, применяемая в классических технологиях, отсутствовала. Так как одним из наиболее важных параметров, регламентируемых ГОСТом, является химический состав бронз (ГОСТ 18175–78) «Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки», на спектрографе ДФС – 8 контролировали содержание основных легирующих элементов – Cr и Zr, а механические свойства определяли по стандартной методике.

Несмотря на то, что ГОСТ 859–2001 ограничивает содержание кислорода в марках меди, предназначенных для производства сплавов электротехнического назначения 0,001 %, при выдержке расплава перед введением лигатуры активно идет процесс газопоглощения, интенсивность которого с повышением температуры возрастает. Медная основа насыщается кислородом и, при достижении концентрации $O_2 \sim 0,01$ %, растворение хрома прекращается из-за образования на его поверхности плотной оксидной пленки, а цирконий, имеющий наибольшую активность, полностью выгорает. Устранить

Дежурной сменой ПАСО над открытым колодезём глубиной четыре метра было установлено устройство для эвакуации людей и грузов из глубины (рис. 1, а). К карабидержателю спасательного пояса мастера-спасателя был пристегнут карабин, закрепленный на канате лебедки (рис. 1, б). После установки устройства начальник дежурной смены при помощи лебедки произвел опускание спасателя в открытый колодезь (рис. 1, в). После опускания в колодезь мастером-спасателем были проведены имитирующие действия по оказанию первой помощи пострадавшему. После выполнения неотложных действий по оказанию помощи пострадавшему мастер-спасатель был поднят из колодезя лебедкой (рис. 1, г).

В результате проведенных испытаний было установлено, что конструкция ручной лебедки для аварийно-спасательных работ, разработанной на базе планетарного прецессионного редуцирующего механизма, обеспечивает плавную, без рывков и заеданий намотку (смотку) каната, исключает самопроизвольное опускание груза, подвижные детали вращаются плавно, без заеданий.

Техническим осмотром устройства после проведения испытаний установлено, что какие-либо поломки и повреждения отсутствуют.

По результатам испытаний был сделан вывод, что устройство для эвакуации из глубины выдержало эксплуатационные испытания и соответствует требованиям, установленным ТУ ВУ 7001921.99.002-2008. Рекомендовано подготовить необходимую техническую и эксплуатационную документацию для постановки устройства для эвакуации людей и грузов из глубины на производство и дальнейшего внедрения в аварийно-спасательных подразделениях Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. Результаты научно-исследовательской опытно-конструкторской работы внедрены в учреждении «Могилевское областное управление МЧС».

Конструкторская документация на ручную лебедку, разработанную на базе прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами, передана на Могилевский завод вентиляционных заготовок ОАО «Трест Белсантехмонтаж № 1» для организации производства в соответствии с лицензионным договором.

УДК 621.861

РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ
С ПРЕЦЕССИОННЫМ РЕДУЦИРУЮЩИМ МЕХАНИЗМОМ
С КОНИЧЕСКИМИ РОЛИКАМИ

С. Д. МАКАРЕВИЧ

Научно-практический центр учреждения
«МОГИЛЕВСКОЕ ОБЛАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЧС
Республики Беларусь»
Могилев, Беларусь

Научно-практическим центром Могилевского областного управления МЧС совместно с учеными Белорусско-Российского университета создана новая конструкция ручной лебедки с прецессионным редуцирующим механизмом с коническими роликами, используемой в разработанном ранее устройстве для эвакуации людей и грузов.

Стендовые испытания устройства для проведения аварийно-спасательных работ проводились в лаборатории кафедры СДПТМиО университета на спецстенде, состоящем из опорной сварной конструкции, устройства для размещения груза и набора литых пластин (грузов) массой по 50 и 40 кг.



Рис. 1. Стенд для проведения испытаний устройства для аварийно-спасательных работ: 1 – тренога; 2 – лебедка; 3 – груз

Исследования проводились на системах: Ni-Al, Ni-Al-O, Fe-Al, Fe-Al-Cr, Fe-Al-O, Al-Ti-O-Ni.

Установлено, что наиболее выраженным экзотермическим эффектом обладают порошки системы железо-алюминий, особенно те из них, в состав которых дополнительно вводился оксид железа или молибдена. Так максимальная температура реакции в порошке Fe-30 % Al составила 470 °С, а при введении оксида она достигает значений более 1400 °С.

Порошковые материалы на основе никеля обладают менее выраженным положительным тепловым эффектом. Для композиции Ni-15 % Al он составил 20 % от эффекта композиции Fe-30 % Al. В тоже время было установлено, что на интенсивность и характер протекания реакции большую роль оказывает скорость нагрева материала. При скорости нагрева более 3 °С в секунду температуры, достигаемые в порошках на основе никеля, близки к температурам системы Fe-Al.

На наличие экзотермического эффекта были исследованы металлокерамические порошковые материалы на основе оксидов алюминия и титана, содержащие 5–10 % никеля и алюминия. При нагреве, эти композиции так же показали наличие дополнительной энергии взаимодействия компонентов. Так повышение температуры в композиции ($\text{Al}_2\text{O}_3 + 40\% \text{TiO}_2$) + (10 % Ni–15 %Al) составило около 35 °С.

Исследования влияния размера частиц на температуру начала реакции и её максимальное значение, установили, что с изменением среднего размера частиц исследуемого материала, величина этих параметров изменяется не существенно. Этот факт может свидетельствовать о том, что степень превращения во всех частицах композиции находится на приблизительно одинаковом уровне.

Полученные результаты согласуются с теоретическими данными, сделанными с применением программы Астра – 4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудинов, В. В. Плазменные покрытия / В. В. Кудинов. – М. : Наука, 1977. – 184 с.
2. Расчет максимальной концентрации реагирующих компонентов в шихте, подвергаемой реакционно-механическому легированию / Ф. Г. Ловшенко [др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 2. – С. 64–75.
3. Термодинамическое моделирование физико-химических процессов и оптимизация технологии плазменного нанесения покрытий из механически легированных терморреагирующих порошков / Ф. Г. Ловшенко [др.] // Литье и металлургия. – 2012. – № 2 (65). – С. 116–128.

Ф. Г. ЛОВШЕНКО, *Г. Ф. ЛОВШЕНКО, А. С. ФЕДОСЕНКО

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»*БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Могилев, Минск, Беларусь

В современном машиностроении актуальна проблема упрочнения и ремонта деталей машин. Прежде всего это касается тех деталей, имеющих поверхности работающие на износ, а так же участки, подверженные в процессе работы значительным нагрузкам. К таким деталям можно отнести коленчатые и распределительные валы, штоки гидравлических машин и т.д.

Одной из перспективных технологий упрочнения и восстановления таких изделий является газотермическое напыление (ГТН), наибольший интерес которого проявляется при восстановлении и упрочнении деталей типа вал.

К одним из недостатков ГТН относится остаточная пористость и недостаточная прочность сцепления покрытия с подложкой. В первую очередь это связано с тем, что, с удалением от источника энергии, температура частиц наносимого материала резко падает. В результате, в момент соударения с поверхностью детали, температура частицы может быть ниже температуры начала кристаллизации. Это приводит к тому, что осевшая частица не образует плотного однородного слоя, тем самым снижая общую прочность покрытия.

Основным способом устранения этого недостатка является применение для газотермического напыления терморреагирующих порошковых материалов [1–3]. При попадании таких порошков в высокотемпературный поток, в частицах протекают реакции взаимодействия с выделением значительного количества тепла. Тем самым, частица более длительное время находится в расплавленном состоянии. Существует несколько технологий получения таких материалов, однако, они являются малоэффективными и низкопроизводительными.

В связи с этим, была сделана попытка по созданию порошковых материалов, отвечающих всем технологическим требованиям для ГТН и обладающих положительным тепловым эффектом реакции компонентов. Авторами был получен ряд терморреагирующих порошковых материалов на основе никеля и железа, изготовленных с применением технологии реакционного механического легирования.

Наличие теплового эффекта в порошках и его величина, определялись методом дифференциального термического анализа.

Устройством с прецессионным редуцирующим механизмом были последовательно подняты грузы массой 300 и 500 кг на высоту 0,5 м. Используя пружинный динамометр (ДПУ-0.5-2), было установлено значение усилия на рукоятке при подъеме груза максимальной грузоподъемности. При поднятии груза 500 кг усилие на рукоятке не превышало 160 Н. Количество поднятий – 5. При этом было измерено время подъема груза, благодаря чему была определена средняя скорость его подъема, равная 2,25 м/мин.

Во время подъема груза периодически проверялся автоматический механизм стопорения, обеспечивающий безопасность и надежность при работе лебедки (при снятии усилия с рукоятки не наблюдалось ее самопроизвольного вращения). В процессе испытаний производилась ускоренная размотка каната на барабане, что показало работоспособность механизма лебедки, выполняющего указанные функции. Установлено, что конструкция изделия обеспечивает плавную, без рывков и заеданий, намотку (смотку) каната, исключает самопроизвольное опускание груза, подвижные детали вращаются плавно, без заеданий.

Установленные в процессе испытаний технические характеристики авариинно-спасательного устройства с лебедкой, разработанной на основе прецессионного редуцирующего механизма с коническими роликами, приведены ниже:

- 1) грузоподъемность.....500 кг
- 2) усилие на ручке, не более.....160 Н
- 3) масса лебедки.....6,8 кг
- 4) длина наматываемого на барабан каната (d=5 мм).....6 м
- 5) скорость подъема груза.....1,5–3 м/мин
- 6) время полной ускоренной размотки каната.....10 с

Техническим осмотром устройства после проведения испытаний установлено, что какие-либо поломки и повреждения отсутствуют.

После проведения экспериментов была произведена разборка лебедки. Контактующие поверхности зубьев взаимодействующих колес имели едва заметные следы контакта, что не вызывало опасения по поводу возможной потери работоспособности лебедки в случае ее дальнейшей эксплуатации.

УДК 528.721.063.1
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО МЕТОДА В РЭМ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ю. А. МЕЛЬНИК, *А. В. МЕЛЬНИК, *В. Н. МЕЛЬНИК
«ЛУЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*«ВОСТОЧНОЕВРОПЕЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
им. Леси Украинки»
Луцк, Украина

Количественная рентгенография в РЭМ почти всегда осуществляется в режиме "in situ" и на плоских полированных поверхностях. Как стандартные, так и неизвестные образцы имеют первоклассную полировку и содержатся в фиксированной ориентации применительно к электронному зонду рентгеновского спектрометра. При рентгенографии (рентген-анализе) на шероховатых поверхностях, полученных, например, в результате слома, возникают осложнения, которые ставят результаты в зависимости скорее от микрорельефа, чем от концентрации исследуемых элементов, поскольку выделения и поглощения рентгеновской энергии в образце сильно зависят от ориентации нужной локальной области относительно направления электронного зонда. Используя стереоскопические методы в РЭМ, адаптированные к режиму "in situ", можно определить точную ориентацию локальной поверхности маленькой плоской области на шероховатом образце, а затем переориентировать ее таким образом, чтобы эта область была параллельной стандартным положениям. Если это выполнено, то можно измерить интенсивность рентгеновских лучей и точно определить количественный состав. Решение задачи определения пространственной ориентации плоскости в режиме реального времени проще выполнить, воспользовавшись цилиндрической системой координат (r, φ, z) (рис 1.), в которой уравнение плоскости принимает вид:

$$z = A \cdot r(\varphi) \cos \varphi + B \cdot r(\varphi) \sin \varphi + C. \quad (1)$$

Положение искомой плоскости будем определять по МНК, минимизируя функцию

$$\Phi = \sum_{i=1}^n [A \cdot r(\varphi_i) \cos \varphi_i + B \cdot r(\varphi_i) \sin \varphi_i + C - z_i]^2. \quad (2)$$

Здесь z_i, φ_i ($i = \overline{1, n}$) – аппликата и полярный угол i -й точки, определенные стереометодом; n – количество точек.

Необходимым условием минимума функции Φ является выполнение равенств:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial A} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial B} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial C} = 0, \quad (3)$$

которые с учетом (1) принимают вид:

УДК 541.13: 621.357
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ЛАТУНИРОВАНИЕ ИЗ ГЛИЦЕРАТНОГО
ЭЛЕКТРОЛИТА В УСЛОВИЯХ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ

И. И. КУРИЛО, А. А. ЧЕРНИК, И. М. ЖАРСКИЙ, Е. В. МИХЕДОВА
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Альтернативой цианистым электролитам электрохимического получения сплавов Cu-Zn являются глицератные и полилигандные электролиты, достоинствами которых являются их относительно низкая стоимость, простота в эксплуатации, доступность и не токсичность компонентов, широкий интервал рабочих температур.

Целью работы было изучение влияния составов глицератных электролитов, параметров электролиза и ультразвукового (УЗ) поля на процесс электрохимического осаждения сплава медь-цинк.

В качестве основы электролита латунирования применялся глицератный электролит следующего состава г/дм³: CuSO₄·5H₂O – 30, ZnSO₄·7H₂O – 15, C₃H₈O₃ – 60, NaOH – 150, в который вводили различные стабилизирующие добавки. Катодом служили стальные пластины марки Ст3, анодом – латунь марки Л73. Предварительная подготовка образцов проводилась согласно ГОСТ 9.305-84 «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов получения покрытий». Исследования проводили в УЗ гальванической ванне с донным расположением ультразвуковых излучателей. Частота УЗ колебаний составляла 22 кГц, мощность – 1 Вт/см².

По результатам анализа данных, полученных при тестировании глицератного электролита латунирования в ячейке Хулла, установлено, что в стационарных условиях мелкокристаллические гладкие полублестящие осадки получают при плотностях тока 0,5–1,5 А/дм². Введение в фоновый электролит стабилизирующих добавок позволило существенно увеличить его ресурс работы и расширить диапазон рабочих плотностей тока, позволяющих получать качественные покрытия, до 0,5–2,5 А/дм². Желтая латунь (содержание меди составляло 65–73 %) была получена в электролите с аминоксодержащей органической добавкой в интервале катодных плотностей тока 1,5–2,0 А/дм².

Наложение УЗ поля приводит к увеличению на 20–30 % катодных выходов по току сплава, снижению пористости покрытия и повышению его блеска по сравнению с образцами, полученными в стационарных условиях. При повышении катодной плотности тока относительное содержание меди в сплаве уменьшается от 85 до 70 % масс. Желтая латунь была получена в электролите с аминоксодержащей органической добавкой в интервале катодных плотностей тока 7,5–10,0 А/дм². Таким образом, наложение УЗ поля позволяет в 3–5 раз интенсифицировать процесс получения сплава Cu-Zn из глицератного электролита.

УДК 519.6+536.6
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ АТОМОВ
НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ

С. В. КОВГАНКО, Л. В. ПЛЕТНЕВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Исследование процессов тепломассопереноса в газах представляет актуальную задачу как с теоретической, так и с практической точки зрения. Однако решение задач газовой динамики затрудняется тем, что течение газовой фазы может проходить при различных условиях, и влияет на способ описания переноса. Для плотного газа можно использовать макроскопические уравнения гидродинамики. Описание разреженного газа возможно на основе уравнения Больцмана. Для всех течений возникает проблема описания взаимодействия газа с поверхностями, т.е. задание граничных условий на поверхности твердого тела.

В ряде работ был предложен подход к решению данной проблемы с учетом потенциального барьера на поверхности твердого тела или конденсированной фазы. Предложенная модель позволила объяснить многие известные физические эффекты: уменьшение температуры поверхности при испарении вещества, вылет частиц с поверхности по закону косинуса, изменение плотности функции распределения атомов по скоростям в слое Кнудсена и т.д. Недостатком предложенного подхода, как и рассматривавшихся ранее, являлась невозможность определить распределения столкновений атомов над поверхностью конденсированной фазы в пространстве и времени.

С помощью метода Монте-Карло при появлении современных компьютеров был предложен подход к определению плотностей распределений столкновений двух атомов в пространстве и времени над поверхностью. Расчеты проводились для вылета атомов с поверхности конденсированной фазы по закону косинуса.

В данной работе представлены результаты компьютерных экспериментов по моделированию столкновений двух атомов, вылетевших с поверхности конденсированной фазы, в зависимости от размеров области вылета атомов, величины потенциального барьера на поверхности конденсированной фазы и температуры поверхности с помощью метода Монте-Карло.

Предложенный подход может быть использован для определения плотностей распределений трех, четырех и большего количества вылетающих атомов.

$$\begin{aligned} A \sum_{i=1}^n x_i^2 + B \sum_{i=1}^n x_i y_i + C \sum_{i=1}^n x_i &= \sum_{i=1}^n z_i x_i, \\ A \sum_{i=1}^n x_i y_i + B \sum_{i=1}^n y_i^2 + C \sum_{i=1}^n y_i &= \sum_{i=1}^n z_i y_i, \\ A \sum_{i=1}^n x_i + B \sum_{i=1}^n y_i + nC &= \sum_{i=1}^n z_i, \end{aligned} \quad (4)$$

где $x_i = r(\varphi_i) \cos \varphi_i$; $y_i = r(\varphi_i) \sin \varphi_i$

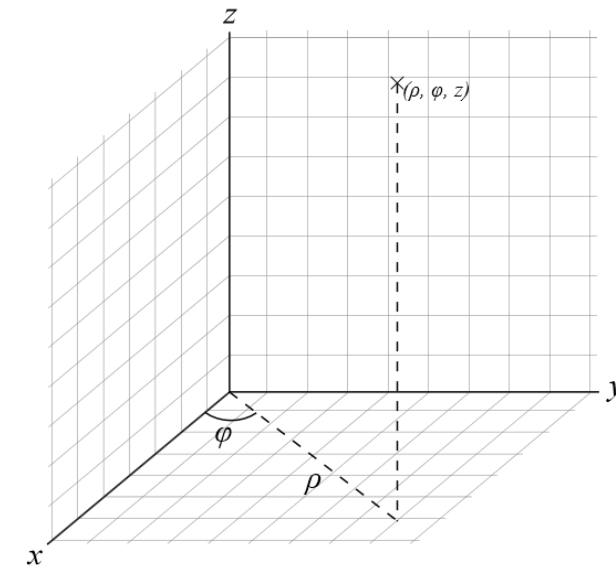


Рис. 1. Точка в цилиндрической системе координат

Если решение системы (4) известно, то уравнение искомой плоскости имеет вид:

$$z = A \cdot r \cos \varphi + B \cdot r \sin \varphi + C. \quad (5)$$

Затем определяются направляющие косинусы:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= A / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}; \\ \cos \beta &= B / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}; \\ \cos \gamma &= C / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Направляющие косинусы (6) используются для вычисления углов вращения и наклона, которые должны быть применены к образцу для того, чтобы привести исследуемую область в стандартное положение (под углом 45°). Эти углы легко получить из простых геометрических соотношений:

$$\rho_1^\circ = \arctg \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}; \quad \tau_q^\circ = 45^\circ - \varphi^\circ. \quad (7)$$

Таким образом, стереоскопический метод может быть успешно применен, когда необходимо быстро и оперативно ориентировать маленькие области на шероховатых поверхностях.

А. М. ПАШКЕВИЧ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Исследовался редуктор, рассчитанный на передаточное отношение $U=64$. Он был выполнен двухступенчатым (второго класса), а каждая из ступеней имела двухрядное исполнение.

КПД редуктора мы пытались определить вначале теоретически. Рассматривая схему силового взаимодействия звеньев радиально-плунжерного редуктора и считая радиально-плунжерное зацепление как сочетание двух клиновых механизмов получили следующее математическое соотношение для КПД одного плунжерного зацепления:

$$\bar{\eta} = R_3 \left(\frac{\operatorname{tg}(\alpha_2 + \varphi_2)}{\operatorname{tg}(\alpha_1 + \varphi_1)} + 1 \right) / R_1 U, \quad (1)$$

где R_1 и R_3 – средние радиусы точек контакта рассматриваемого плунжера с ведущим и ведомым звеньями радиально-плунжерного редуктора соответственно; α_1 и α_2 – углы подъема ведущего и заторможенного звеньев; f_1 и f_2 – углы трения между плунжером, ведущим и заторможенным кулачками соответственно; U – передаточное отношение.

Анализ зависимости (1) показал, что величина $\bar{\eta}$ не является постоянной. За один рабочий цикл плунжера значение $\bar{\eta}$ увеличивается от нуля до некоторого предельного значения и снова падает до нуля. Эти изменения происходят при взаимодействии плунжера с восходящей ветвью ведущего кулачка, т.е. за время поворота этого кулачка на 180° . В этой связи КПД редуктора, оцениваемый средним значением соотношения (1), дает весьма низкие его значения, и поэтому пользоваться формулой (1) нельзя. По этой причине действительное значение КПД редуктора мы определяли экспериментальным путем.

Экспериментальное определение КПД проводилось на автоматизированном стенде [1].

Исследования проводились при различных смазках: заливке в корпус индустриального масла; при смазке деталей зацепления пластичной смазкой Литол-24; при заливке в корпус трансмиссионного масла ТАД-17и. На рис. 1 приведены соответствующие результаты экспериментальных исследований. Полученные результаты были аппроксимированы логарифмическими кри-

Качество классификации является единым критерием, который позволяет производить оценку качества как оборудования, так и качества готового продукта.

Свойства продукта и параметры оборудования удобно отобразить в виде критериев подобия, отображающих физический смысл процесса. Для различных способов разделения полидисперсных порошков могут применяться различные критерии подобия.

В частности для процесса центробежного аэродинамического разделения важно учесть соотношение между инерционными силами и силами внутреннего трения. Следовательно, наиболее полно процесс разделения, в данном случае, выражает модифицированный критерий Рейнольдса [2].

Для отработки методики определения качества процесса на лабораторной установке центробежного роторного классификатора были проведены серии опытов. В ходе математического анализа результатов опытов была определена зависимость качества классификации от модифицированного критерия Рейнольдса. Зависимость представлена на рис. 1.

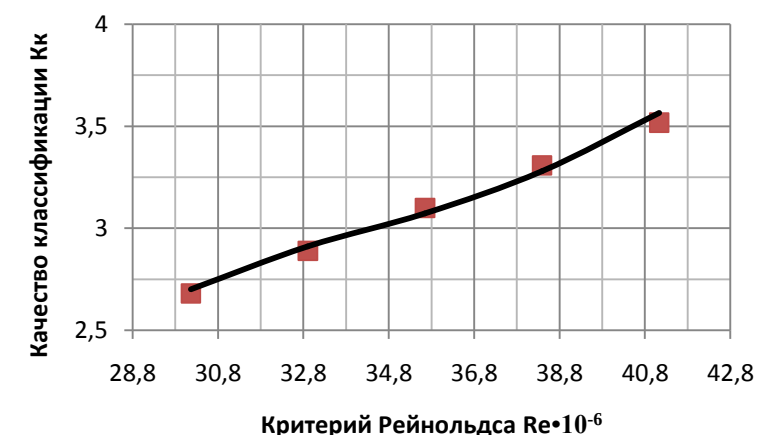


Рис. 1. Зависимость качества классификации от критерия Рейнольдса

На основании экспериментальных данных определяется зависимость качества классификации от модифицированного критерия подобия Рейнольдса.

Данная зависимость может использоваться для сравнительного анализа оборудования при различных технологических параметрах процесса, а также для моделирования данного процесса при создании новых видов оборудования и оптимизации его под конкретный технологический процесс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мизонов, В. Е. Аэродинамическая классификация порошков / В. Е. Мизонов, С. Г. Ушаков – М. : Химия, 1989. – 160 с.
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1971. – 784 с.

М. А. КИРКОР, Р. А. БОНДАРЕВ

Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»
Могилев, Беларусь

Процесс разделения полидисперсных порошков на фракции применяется в различных отраслях перерабатывающей промышленности. Однако современные рыночные требования и стандарты качества пищевых порошков требуют интенсивного развития технологии и конструкций машин для проведения данного процесса. Существует множество способов и конструкций машин позволяющих производить процесс разделения полидисперсных порошков. Выявление наиболее оптимальных конструкций машин применительно для конкретного технологического процесса является весьма актуальной задачей.

Для оценки эффективности и последующего анализа конструкций оборудования, связанного с разделением полидисперсных порошков, необходимо выделить зависимость единого критерия эффективности протекания процесса от свойств продукта и параметров оборудования.

Одним из наиболее информативных параметров, характеризующих течение процесса, является КПД классификатора, однако, КПД классификатора не отражает качества готового продукта. Для более рационального проведения процесса необходимо выбрать показатель эффективности, учитывающий также качество готового продукта.

Критерием оценки эффективности проведения процесса разделения полидисперсных порошков, который учитывает качество готового продукта, является качество классификации [1], определяемое по выражению (1):

$$K_k = \frac{\eta}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где η – КПД классификатора; ε – степень проскока грубой фракции; K_k – качество классификации.

Коэффициент полезного действия классификатора является интегральным показателем эффективности, характеризующим степень не идеальности процесса в диапазоне размеров частиц меньше максимально допустимого размера.

Степень проскока грубой фракции является интегральным показателем эффективности, характеризующим степень не идеальности процесса в диапазоне частиц больше максимально допустимого размера.

выми, так как именно такие кривые в наибольшей мере характеризовали результаты экспериментов.

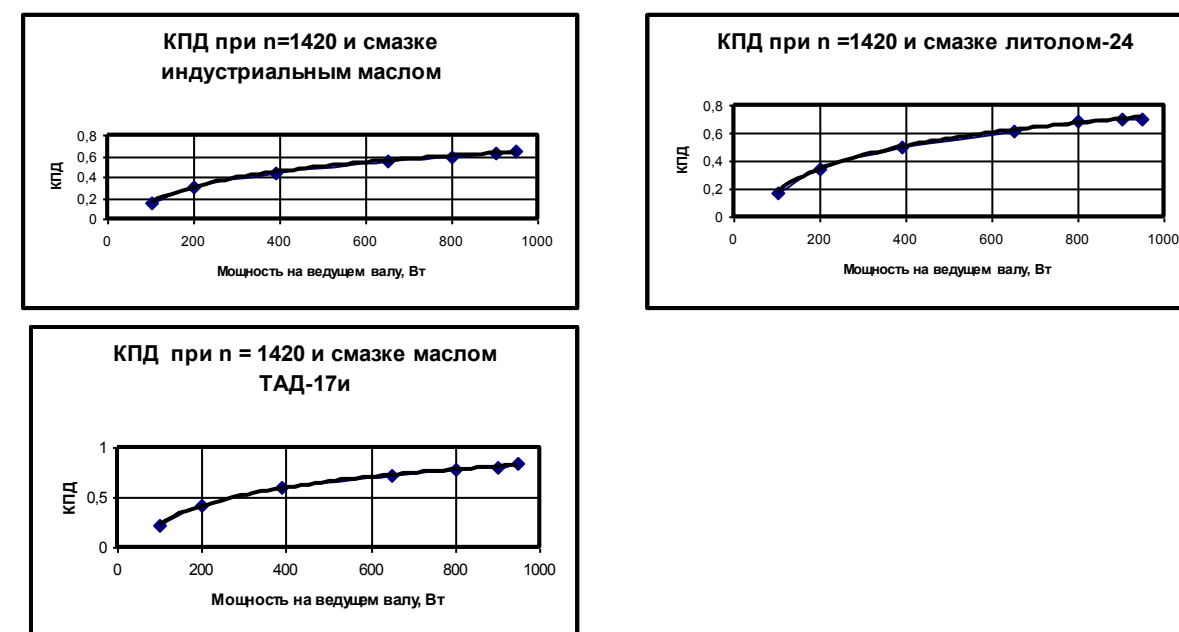


Рис. 1. КПД редуктора при различных смазках

При использовании в качестве смазки индустриального масла математическое соотношение для оценки КПД редуктора η выглядит следующим образом:

$$\eta = 0,2166 \ln P - 0,8479 \quad . \quad (2)$$

При использовании пластичной смазки Литол-24

$$\eta = 0,2384 \ln P - 0,9235 \quad . \quad (3)$$

При использовании в качестве смазки трансмиссионного масла ТАД-17и

$$\eta = 0,2643 \ln P - 0,9896 \quad . \quad (4)$$

В этих зависимостях P – мощность приводного электродвигателя (Вт). Достоверность аппроксимации экспериментальных данных высока, так как коэффициент детерминации R^2 для формулы (2) составляет 0,9996; для формулы (3) он равен 0,9992; для формулы (4) этот коэффициент равен 0,9988.

Таким образом, КПД редуктора весьма сильно зависит от вида применяемой смазки. Наибольший КПД имеет место при смазке трансмиссионным маслом ТАД-17и. Эта смазка обеспечивает наиболее прочную пленку на поверхностях деталей зацепления и, как показали исследования, наименьшую интенсивность их изнашивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашкевич, М. Ф. Планетарные шариковые и роликовые редукторы и их испытания / М. Ф. Пашкевич, В. В. Геращенко. – Минск : БелНИИТИ, 1992. – 248 с.

УДК 621.833.389

ПОТЕРИ В ЗАЦЕПЛЕНИЯХ ЗВЕНЬЕВ ТОРЦОВОЙ ЧЕРВЯЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Н. И. РОГАЧЕВСКИЙ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилёв, Беларусь

Для устранения основного недостатка (низкого КПД) традиционных червячных передач предложена торцовая червячная передача [1]. Передача содержит червячное прямозубое эвольвентное колесо, зубчатый венец которого снабжен поднутрением, т. е., толщина диска колеса меньше ширины его зубчатого венца, подрезанного со стороны ножек зубьев до эвольвентных поверхностей. В результате такого поднутрения зубья на торце червячного колеса образованы консольными участками зубьев венца. Передача содержит червяк с прямоугольным профилем витков. Геометрическая ось червяка смещена относительно торца червячного колеса таким образом, что ее проекция на этот торец является касательной к делительной окружности зубьев. Для того чтобы обеспечить зацепление витков червяка с консольными участками зубьев колеса, необходимо выдержать величину осевого шага, равную шагу эвольвентных зубьев.

К настоящему времени разработана методика расчета геометрических параметров торцовых червячных передач [2]. Для более полной характеристики таких передач необходимо определить потери механической энергии в зацеплениях, которые принято оценивать коэффициентом полезного действия (главным технико-экономическим показателем любой механической передачи). Кроме того, величина КПД используется при расчетах прочности деталей, теплового баланса, мощности приводного двигателя и расхода энергии в приводах с исследуемыми передачами.

Образующими боковых поверхностей прямого зуба червячного колеса и витка червяка являются прямые линии, которые при работе передачи совпадают на делительном цилиндре колеса, образуя линию контакта зуба и витка, перпендикулярную вектору скорости их относительного скольжения, что является идеальным случаем для образования жидкостного трения и приводит к повышению КПД передачи. При зацеплении головки или ножки зуба с витком червяка расположение линии контакта незначительно отличается от 90° к вектору скорости скольжения и практически не оказывает влияния на КПД. Таким образом, в конструкции торцовой червячной передачи устранена причина, вызывающая значительные потери, поэтому она обладает высоким КПД.

КПД зацепления звеньев торцовой червячной передачи можно записать следующим образом:

УДК 541.13: 621.357

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ВАНАДИЯ ИЗ ЗОЛЬНЫХ ШЛАМОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

И. М. ЖАРСКИЙ, И. И. КУРИЛО, Е. В. КРЫШИЛОВИЧ, И. В. БЫЧЕК

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Потенциальным источником вторичного ванадийсодержащего сырья в Республике Беларусь являются твердые продукты сгорания углеводородного сырья на тепловых электростанциях (ТЭС), концентрация ванадия в которых в 10–100 раз превышает его содержание в традиционном рудном сырье – титаномagneзиевых рудах. Согласно данным РУП «Бел НИЦ «Экология» объемы накопления ванадийсодержащего шлама в Республике Беларусь на начало 2012 года весьма существенны и составляют 10391,26 т.

Целью работы было изучение возможности использования электрохимических методов на стадии выщелачивания соединений ванадия в процессе переработки зольных шламов ТЭС.

В качестве объекта исследований использовали зольные остатки ТЭС, содержащие 4,56 % ванадия в пересчете на V_2O_5 . В качестве фонового электролита электрохимического выщелачивания использовали растворы HCl. Анодом служил полый графитовый цилиндр, плотно прилегающий к стенкам электролизера; катодом – железная пластина, помещенная в чехол из хлориновой ткани и закрепленная на катодной штанге в центре электролизера. Соотношение площадей анода и катода составляло 5 : 1. В электролизер помещали золу при соотношении твердой и жидкой фаз 1 : 10. Электролиз проводили при перемешивании в течение 30 минут.

Установлено, что с увеличением плотности тока общая потеря массы золы уменьшается, что связано с увеличением выхода по току водорода. В процессе электролиза на катоде параллельно с процессом выделения водорода протекает восстановление железа, меди, никеля и цинка. Подщелачивание в прикатодной области приводит к усилению процессов гидролиза и формированию на катоде дендридообразных осадков гидроксидов и основных солей металлов, присутствующих в электролите. Определение методом EDX элементного состава осадков, полученных в катодном пространстве электролизера, показало, что содержание ванадия в них зависит от плотности тока и в пересчете на V_2O_5 может достигать 40 %.

Установлено, что проведение процесса окислительного выщелачивания при анодной плотности тока 4 А/дм^2 позволяет увеличить степень выделения ванадия до 60 %, что на 10–15 % больше по сравнению с химическим выщелачиванием в солянокислых окислительных средах. Содержание ванадия в продукте, выделенном из растворов выщелачивания в процессе термогидролиза, в пересчете на V_2O_5 составляет около 70 % (мас.).

В предложенном способе за счет действия усилия первой фазы происходит ориентация частиц волокнистого наполнителя пресс-композиции преимущественно в направлении, параллельном основному усилию прессования, что обеспечивает высокие прочностные свойства готовых изделий. Поскольку, как известно, реализация ориентации волокнистого наполнителя длинномерных изделий вдоль их продольной оси (с некоторым естественным отклонением до 30°) существенно повышает их прочность на разрыв и изгиб.

Также разработан способ и устройство дополнительного армирования погонных изделий гибкими высокопрочными непрерывными элементами диаметром 2,5–3,0 мм из стальной проволоки или шпагата; а также крученой стеклянной арселеновой нити непосредственно в процессе плунжерной экструзии.

Разработан высокопрочный композиционный материал стеклоуглепласт, который по своим физико-механическим свойствам не уступает, а фактически по большинству параметров превосходит известный аналог – стекловолокнит ДСВ, импортируемый промышленностью из России (Ступинский завод стекловолокна). Материал защищен патентом Республики Беларусь на изобретение № 9630 и обладает следующими свойствами: прочность при растяжении 85–100 МПа, при статическом изгибе – 130–140 МПа, сжатии – 190–200 МПа, ударная вязкость 36–40 кДж/м², рабочий диапазон температур -80... +250 °С. Изделия из стеклоуглепласта внедрены на РУП «Гомсельмаш» для производства трех наименований деталей привода пяти наименований кормоуборочной и зерноуборочной сельхозтехники.

$$\eta = 1 - \psi_B - \psi_P - \psi_G,$$

где ψ_B – коэффициент потерь, определяемый скольжением зубьев колеса вдоль винтовой линии витков червяка (как в винтовой паре); ψ_P – коэффициент потерь, определяемый скольжением витков червяка и зубьев колеса вдоль их профилей (как в реечном зацеплении); ψ_G – коэффициент потерь, определяемый геометрическим скольжением, которое вызвано неодинаковым изменением скорости по длине контакта поверхностей зубьев и витков червяка.

Коэффициенты ψ_B , ψ_P находятся по известным методикам, а коэффициент ψ_G по формуле:

$$\psi_G = P_{ГТР} / P_1,$$

где P_1 – мощность, передаваемая червяком; $P_{ГТР}$ – потери мощности на геометрическое трение на площадке контакта зуба колеса с витком червяка, очерченной прямоугольником, полученным от соприкосновения рабочих поверхностей по линии под действием нормальной нагрузки. При этом линия превращается в прямоугольную площадку с размерами $2b$ в направлении вектора скорости скольжения точек червяка и l в направлении, перпендикулярном скольжению.

Длина l и ширина $2b$ площадки контакта выражены зависимостями:

$$l = (h_{a1}^* + h_{f1}^*) \cdot m,$$

где h_{a1}^* и h_{f1}^* – коэффициенты высоты головки и ножки (выбирают значения из условий $h_{a1}^* \leq 1$, $h_{f1}^* \leq 1,2$ в зависимости от длины консольных частей зубьев колеса); m – модуль зубьев червячного колеса;

$$2b = 6,68 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{F_{H1}}{l \cdot \sum \rho}},$$

где F_{H1} – нормальное усилие в зацеплении; $\sum \rho$ – сумма кривизн контактирующих поверхностей в сечениях взаимно перпендикулярными плоскостями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 16045 С1 Респ. Беларусь, МПК F 16H 1/16, F 16H 3/06. Червячная передача / Н. И. Рогачевский, С. Н. Рогачевский, М. Ф. Пашкевич (BY). – № а 20100663; заявл. 05.05.10; опубл. 30.06.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3(86). – С. 155.
2. Методика расчета геометрических параметров торцевой червячной передачи / М. Ф. Пашкевич [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2012. – № 1. – С. 81–90.

УДК 621.83.06
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КПД ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ
КУЛАЧКОВОЙ РОЛИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

И. С. САЗОНОВ, М. Е. ЛУСТЕНКОВ, А. П. ПРУДНИКОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Отличительными особенностями конструкции цилиндрической кулачковой роликовой передачи (ЦКРП) являются составные тела качения и упругие компенсирующие элементы, установленные в продольных пазах ведомого вала (для обеспечения равномерности распределения нагрузки между телами качения). Составной ролик состоит из элементов полусферической формы, контактирующих с кулачками передачи, и цилиндрической втулки, взаимодействующей с ведомым валом.

Исследование КПД проводилось на стенде с двумя датчиками крутящего момента и частоты вращения. Учитывалось влияние следующих факторов: тип упругих компенсирующих элементов; частота вращения ведущего вала; крутящий момент на ведомом валу редуктора. В качестве объекта исследования использовалась ЦКРП со следующими параметрами: максимальный диаметр корпуса 130 мм, передаточное число 12, радиус полусферической формы элементов составных роликов 12 мм.

По результатам проведенных испытаний установлено, что максимальный КПД исследуемая передача достигает с применением стальных упругих компенсирующих элементов при частоте вращения ведущего вала 1500 мин⁻¹. Для описания математической модели объекта исследования на основании полученных результатов было разработано уравнение регрессии в виде полинома второй степени. Анализ уравнения регрессии позволил установить, что наибольшее влияние на КПД исследуемой передачи оказывает крутящий момент на ведомом валу, при этом влияние типа упругих компенсирующих элементов и частоты вращения ведущего вала в 4,4 и 6,7 раза меньше соответственно. Теоретическое значение крутящего момента на ведомом валу, при котором КПД испытываемого образца максимален, составило 94,52 Н·м. Полученный результат был подтвержден повторным испытанием опытного образца ЦКРП с использованием стальных упругих компенсирующих элементов при частоте вращения ведущего вала 1500 мин⁻¹ (максимальный КПД, составивший 0,83, достигнут при крутящем моменте на ведомом валу, равном 91 Н·м). Проведенное измерение КПД для передачи с шариками и цельными роликами в качестве промежуточных тел качения при аналогичных исходных данных показало, что применение составных тел качения позволило повысить КПД на 19 % и 7 % соответственно.

УДК 621.385
НОВЫЕ ПРЕСС-КОМПОЗИЦИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ДРЕВЕСНЫХ
ПЛАСТИКОВ И ИХ ПЕРЕРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫМИ
МЕТОДАМИ ПЛУНЖЕРНОЙ ЭКСТРУЗИИ

А. Н. ЕКИМЕНКО, С. Н. КОЛДАЕВА, О. Ю. КОЛДАЕВ
НПУП «ИНСТИТУТ ИННОВАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»
Гомель, Беларусь

В Институте инновационных исследований выполнен комплекс научно-исследовательских работ по созданию высоконаполненных композиционных материалов повышенной прочности на основе термореактивных и термопластичных связующих. При этом в качестве основного наполнителя использовались измельченные отходы древесины в виде опилок и крошки от фанерно-спичечного производства, а в качестве армирующих элементов – измельченные отходы (в виде путанки) стеклянных, углеродных, полиоксидазольных, базальтовых волокон и нитей. Измельчение путаных волокон и нитей на отрезки заданной длины осуществляли на специально разработанной установке.

В качестве термореактивного связующего использовали фенолформальдегидные смолы ЛБС-3 (модифицированную кремнийорганической смолой К-9Б) и Р-2, а в качестве термопластичного связующего – измельченные отходы полиамидного корда и пленочные отходы полиэтилена и поливинилхлорида.

Авторами предложен способ и устройство изготовления погонажных изделий (труб, досок, брусков, двутавров, швеллеров и других профилей) методом плунжерной экструзии, отличающийся тем, что он существенно снижает основной недостаток плунжерной экструзии – ориентацию волокнистого наполнителя преимущественно в направлении, перпендикулярном направлению прессования. Сущность способа заключается в том, что формирование длинномерных изделий осуществляется в сквозном обогреваемом канале при двухстадийном воздействии силовых полей, векторы которых направлены во взаимно перпендикулярных направлениях. При этом вектор усилия первой фазы с модулем 15–35 МПа (в зависимости от типа связующего) направлен перпендикулярно вектору усилия основной фазы с модулем 50–200 МПа (в зависимости от типа связующего, длины канала, площади поперечного сечения изделия).

Температура на начальной стадии процесса – в зоне уплотнения, при формировании запорной пробки, находилась в пределах 25–45 °С, в зоне плавления – 165–175 °С (для термореактивного связующего) или 140–190 °С (для термопластичного связующего – в зависимости от вида материала) и в зоне термостабилизации – в пределах 35–45 °С.

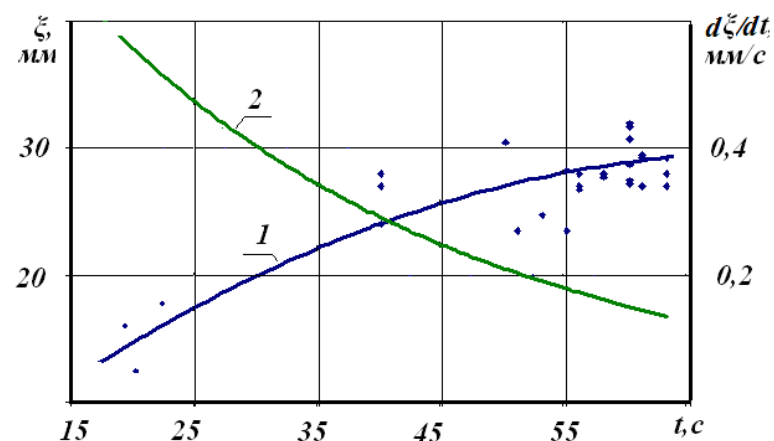


Рис. 1. Зависимость толщины стенки отливки (1) и скорости затвердевания чугуна (2) от времени формирования

Полученные отливки высотой 245 мм разрезались на четыре заготовки. В заготовках по обоим торцам измерялась твердость: по толщине стенки (в радиальном направлении HRB) в четырех точках, по периметру заготовки (в рабочей зоне HB) – в шести точках. Твердость чугуна в наружной зоне заготовки составляет 101–105 HRB, разница твердости по периметру не превышает 10–15 HB. При этом показания твердости в отливках из одной плавки находятся в пределах 240–290 HB.

Для повышения равномерности твердости разработана методика термообработки заготовок, заключающаяся в нагреве до 950 °C и выдержке в течение 30 мин с последующим охлаждением в условиях вынужденной конвекции.

После проведенного отжига, твердость по периметру заготовки находится в пределах 255–275 HB, при этом изменение твердости по толщине стенки не превышает 3–4 HRB.

Металлическая основа низколегированного серого чугуна представляет собой тонкопластинчатый (ПД 0,5) перлит П 98 с включением (ПГ 10) равномерно распределенного пластинчатого графита ПГр1 прямолинейной (ПГф1) и завихренной (ПГф2) формы.

Проведенные исследования позволили определить параметры литейно-термической технологии получения толстостенных заготовок из низколегированного серого чугуна перлитного класса и организовать их серийные поставки для ремонтных нужд основного производства ОАО «МОГИЛЕВХИМВОЛОКНО».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марукович, Е. И. Формирование отливок в условиях пристеночной кристаллизации – основа высокого качества изделий / Е. И. Марукович, В. П. Бевза, В. П. Груша // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск : ФТИ, 19–21 сентября 2012. – С. 259–269.

УДК 621.83.06

КОНСТРУКЦИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ ШАРИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

И. С. САЗОНОВ, М. Е. ЛУСТЕНКОВ, Е. С. ФИТЦОВА

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Исследованиями и разработкой передач с промежуточными телами качения (ППТК) занимаются в Республике Беларусь, России, США, Японии, Китае и других странах. Эти передачи являются относительно новой разработкой в области силовых зацеплений. Основными преимуществами ППТК являются малогабаритность в радиальном направлении, соосность, компактность, большая нагрузочная способность. Разработано много разновидностей ППТК. Одним из отличительных признаков является вид поверхности, на которой выполнены периодические дорожки. ППТК можно классифицировать следующим образом: цилиндрические, плоские, конические, сферические и др. Наименее изученными являются сферические передачи. Недостатком большинства известных конструкций является то, что детали передач сложны и не технологичны в изготовлении.

Задачей исследований было разработать конструкцию передачи, которая обеспечила бы повышение долговечности передачи и технологичности изготовления ее деталей.

Предложенная конструкция сферической шариковой передачи (рис. 1) состоит из внутренней сферической обоймы 1, наружной сферической обоймы 2, промежуточной сферической обоймы 3, которая выполнена в виде сферического торцового кулачка, и шаров 4. Внутренняя сферическая обойма 1 содержит два осевых паза 5, в которых размещены две сегментные шпонки 6, на которых на двух шпоночных пазах 7 установлена дополнительная сферическая обойма 8 с кольцевой замкнутой канавкой 9 в виде окружности. Дополнительная сферическая обойма может самоустанавливаться на внутренней обойме, что снижает структурную переопределенность системы и позволяет компенсировать неточности изготовления деталей. Рабочая поверхность 10 промежуточной сферической обоймы представляет собой замкнутую линию в виде многопериодной кривой, а на внутренней поверхности наружной сферической обоймы выполнены продольные (меридиональные) канавки 11 постоянной глубины, равномерно расположенные на ее внутренней поверхности. Внутренняя сферическая обойма базируется в наружной сферической обойме с помощью подшипника 12.

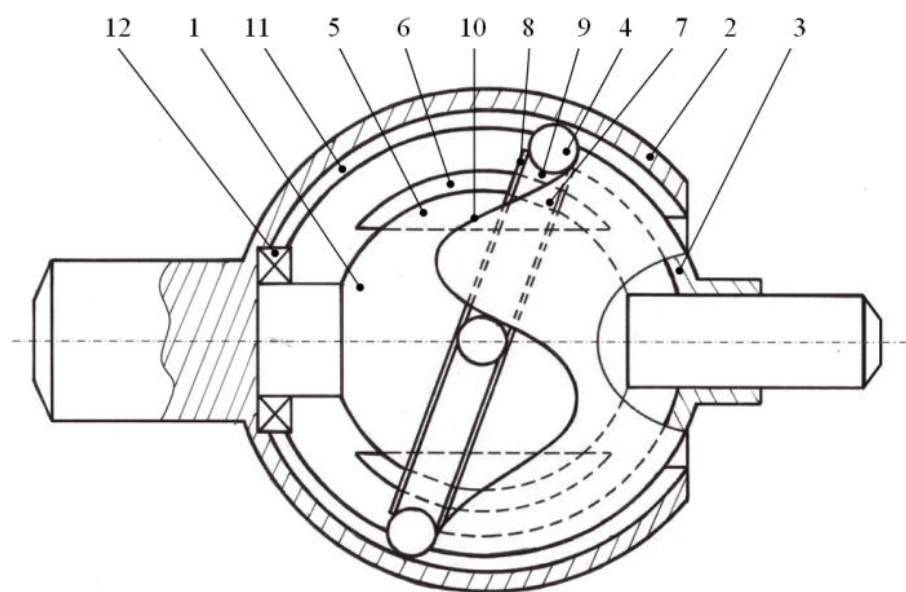


Рис. 1. Сферическая шариковая передача

При вращении внутренней сферической обоймы 1, которая является входным звеном передачи, вращаются, соответственно, осевые пазы 5, сегментные шпонки 6, шпоночные пазы 7, дополнительная сферическая обойма 8 и расположенная на ней кольцевая замкнутая канавка 9. Вращение кольцевой замкнутой канавки вызывает вращение расположенных на ней тел качения 4. Тела качения вынуждены под воздействием наложенных связей перемещаться по рабочей поверхности 10 неподвижной промежуточной сферической обоймы 3 и одновременно вдоль продольных канавок 11 наружной сферической обоймы 2. При этом они вынуждают наружную сферическую обойму, которая является выходным звеном передачи, также вращаться, но медленнее, чем внутренняя сферическая обойма. Остановленным звеном может быть любая из сферических обойм (1, 2 и 3), это зависит от выбранной кинематической схемы. Тогда из оставшихся двух подвижных звеньев одно будет входным, а другое – выходным. Перемещение дополнительной сферической обоймы по сегментным шпонкам позволяет изменять амплитуду кривой ее кольцевой замкнутой канавки.

Предложенная конструкция позволяет обеспечить повышение долговечности передачи из-за отсутствия сквозных пазов, повышение технологичности изготовления деталей передачи, так как изготовление кольцевой замкнутой канавки в виде окружности проще, чем изготовление однопериодной синусоиды. Также данная конструкция позволила изменять амплитуду замкнутой канавки за счет изменения угла наклона дополнительной сферической обоймы, установленной на внутренней сферической обойме. Моделирование в системе Siemens NX подтвердило работоспособность разработанной передачи.

УДК 621.74.047 ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ ТОЛСТОСТЕННЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СЕРОГО НИЗКОЛЕГИРОВАННОГО ЧУГУНА

В. П. ГРУША
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

Технология литья заготовок из чугуна методом направленного затвердевания разработана достаточно полно. Этим методом получают заготовки широкой номенклатуры, которые с успехом используются в различных отраслях народного хозяйства [1]. Однако, получение этим методом отливок с относительно большой толщиной стенки ($\xi > 15$ мм, требующих времени выдержки более 25 с) и заданной структурой всегда было весьма затруднительно, либо просто невозможно.

Перед авторами стояла задача получения методом литья намораживанием полых цилиндрических толстостенных заготовок ($\xi > 26$ мм) из чугуна с перлитной металлической матрицей и твердостью 245-285 НВ.

Для литья был выбран чугун следующего состава (табл. 1.).

Табл. 1. Химический состав серого низколегированного чугуна

Элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	V	P
Содержание, %	3,07-3,08	1,66-1,95	1,0-1,1	0,19-0,20	0,14-0,15	0,22-0,30	до 0,01	до 0,03	0,05-0,06

Для исключения отбела проводилось ковшевое модифицирование комплексным модификатором, включающим ферросилиций и аморфный графит. Кроме этого проводили предварительную подготовку расплава чугуна в печи перед выливкой его в ковш.

Была спроектирована и изготовлена специальная технологическая оснастка, обеспечивающая минимальные потери тепла от расплава, подаваемого в зону формирования отливки. Разработана методика доливов порций перегретого расплава в разливочный ковш, для поддержания в нем температуры в заданном интервале.

При литье в стальной водоохлаждаемый кристаллизатор средняя скорость затвердевания при длительном времени выдержки в 2,0–2,5 раза меньше, чем в начальный период на 10–15 секунде формирования отливки (рис. 1). Если для формирования отливок с толщиной стенки 15 мм ($\xi/D \approx 0,14$) необходима выдержка около 20 с, то для стенки толщиной 30 мм – около 60–65 с.

Для создания условий способствующих распаду возможных включений цементита в наружной поверхности отливок, после извлечения из кристаллизатора, их помещали в печь разогретую до температуры 950 °С и выдерживали около 30 мин. После этого, отливки охлаждали на воздухе в естественных условиях при термоизоляции обоих торцов.

распавшегося мартенсита с дисперсными выделениями, особенно в мелких мартенситных иглах (рис. 1, б).

Так как образцы остаются ферромагнитными, то можно предположить, что превращение мартенсита идёт в том числе с образованием ферромагнитных фаз перлитного типа (троостит, сорбит) и карбидов.

После термообработки при 800 °С (1 ч) произошло полное превращение мартенсита. Никаких следов мартенситных игл не видно. "Аустенитные" поля с какой-то рябизной и дисперсными округлыми выделениями изображены на рис. 1, в.

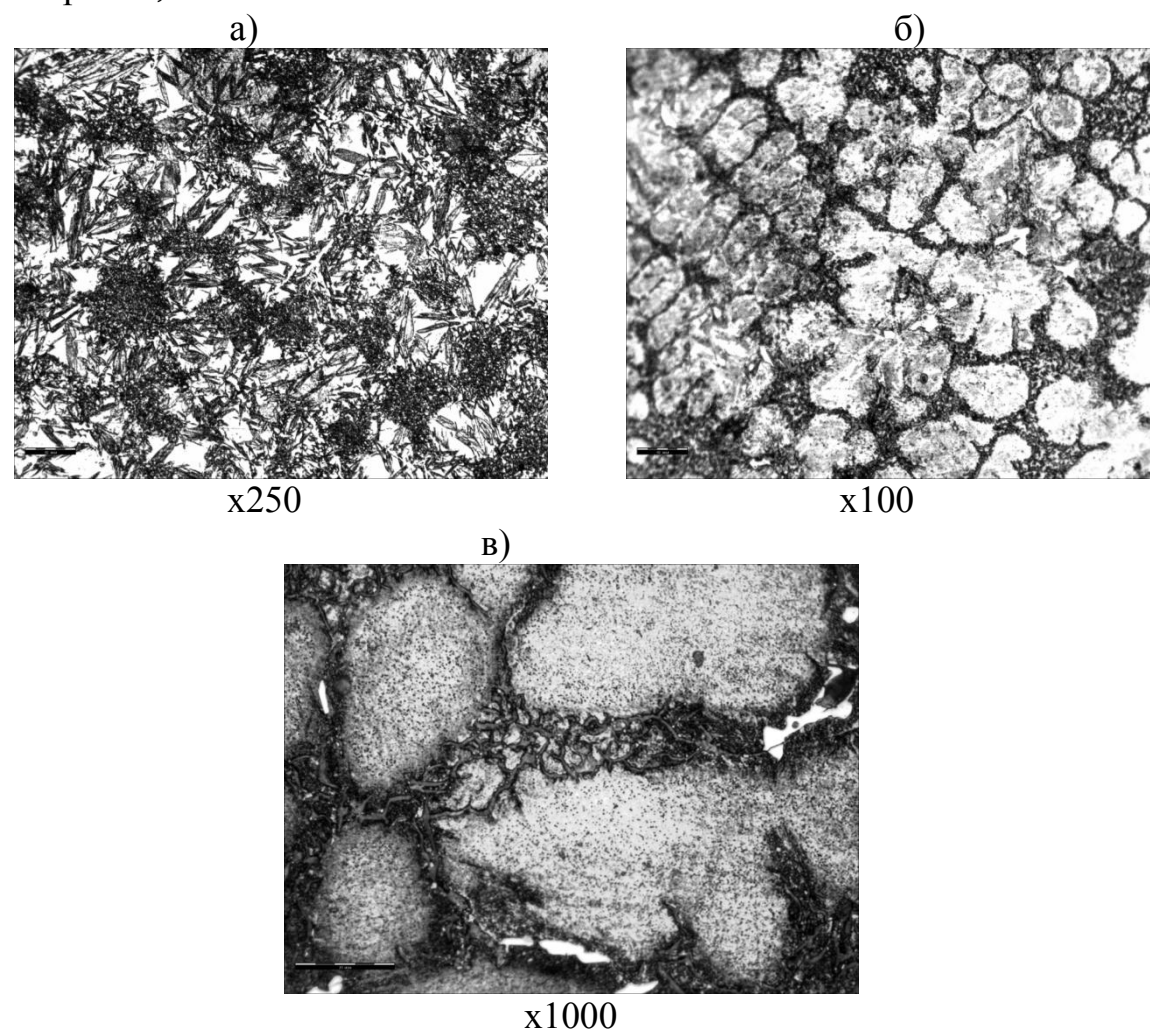


Рис. 1. Микроструктура чугуна

Таким образом, отпуск при 600, 700 и 800 °С с разным временем выдержки приводит к превращению мартенсита, но сплавы сохраняют ферромагнитные свойства, по всей вероятности, за счёт присутствия цементита, который при этих температурах не разлагается, и за счёт того, что мартенсит только частично превращается в аустенит, а частично превращение идёт с образованием фаз перлитного типа и карбидов.

УДК 631.356.2 ИЗЫСКАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ С НАДЁЖНЫМ РАБОЧИМ ПРОЦЕССОМ

С. В. СИНЕЙ, *Р. Б. ГЕВКО, Н. Я. ВАРГОЛЯК
«ЛУЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*«ТЕРНОПОЛЬСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Луцк, Тернополь, Украина

К важнейшим вопросам в отрасли машиноведения относится создание таких конструкций машин и механизмов, которые должны отвечать требованиям высокой надёжности и качества работы. В сельскохозяйственном машиностроении при конструировании и производстве техники, например картофелеуборочной, значительное внимание уделяется обеспечению надёжности рабочих процессов, в отношении к решениям конструкции как отдельных деталей, рабочих органов, узлов, так и машин в целом. Причём, немаловажную роль играют выбор и расчёт конструкции рабочих органов, как важных составляющих, которые обеспечивают правильность функционирования конструкции машины, в частности для картофелеуборочной машины или комбайна – качественность и надёжность выполнения технологического процесса уборки картофеля в поле, а также – технологических (рабочих) процессов выкапывания, сепарации, транспортирования вороха картофеля непосредственно в машине (или комбайне). Подбор схемы расположения рабочих органов картофелеуборочной машины отображается на их конструктивных и кинематических характеристиках и влияет на расчётные динамические нагрузки, надёжность как отдельных рабочих процессов, так и работы конструкции машины в целом. При неудачной схеме даже оптимизация конструктивно-кинематических параметров рабочих органов не приводит к весомым улучшениям надёжности рабочих процессов.

Нами проведён анализ решений конструкции ряда машин и комбайнов для уборки клубнеплодов мировых производителей сельскохозяйственной техники: «Grimme», «WM-Kartoffeltechnik», «Holmer» (Германия), «AVR», «DeWulf» (Бельгия), «Agrifac», «Ploeger» (Нидерланды), «Standen-Pearson» (Англия), «IMAC» (Италия), «Juko» (Финляндия), «Lockwood» (США), «Unia», «Krukowiak» (Польша), «SANEI» (Япония), «Лидагропромаш», «Гомсельмаш», «Лидсельмаш» (Республика Беларусь), «Рязсельмаш», «ИЗТМ» (Россия) и др. Большинство машин этих и других европейских производителей присутствуют на рынке Украины. Так же, прослеживается значительная заинтересованность в украинском рынке китайских производителей, предлагающих широко востребованную населением (доминирующим производителем, около 95 % картофеля) малогабаритную картофелеуборочную технику, отличающуюся низкой надёжностью работы и дешевизной. Распространённой тенденцией в конструкции рабочих органов ведущих мировых производителей является применение современных материалов, спо-

собствующих уменьшению металлоемкости, увеличению долговечности, а также – минимизации повреждений клубней.

Предложенные схемы компактной конструкции машин (рис. 1–2) позволяют комбинировать влияние рабочих органов на клубнеплоды по принципу – через действие нормальных n и тангенциальных τ усилий задаётся травмобезопасное значение суммы векторов этих усилий. При этом минимизируются бесполезные для рабочего процесса потери энергии, что позволяет одновременно повысить его качество и надёжность. Схемы заявлены в 2012г. на получение охранных документов на изобретение.

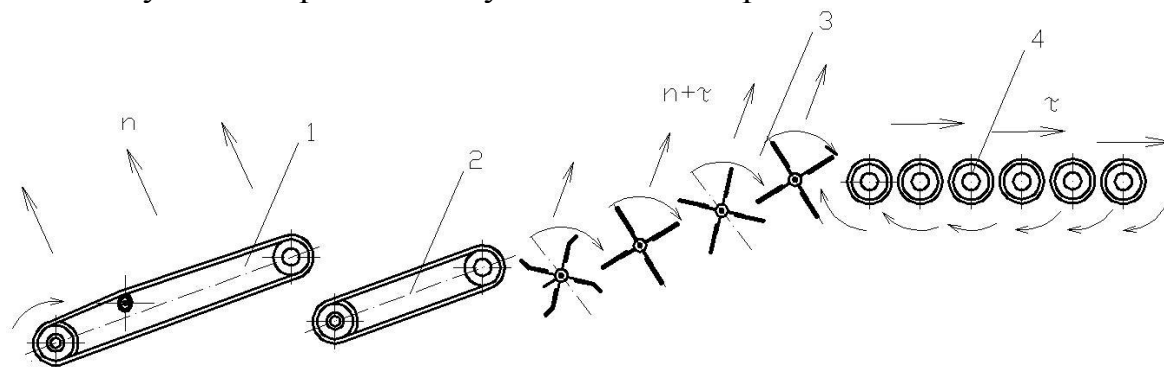


Рис. 1. Горизонтальная схема компоновки: 1, 2 – элеваторы; 3 – система битеров; 4 – батарея роликов. Стрелки показывают направление усилий n и τ

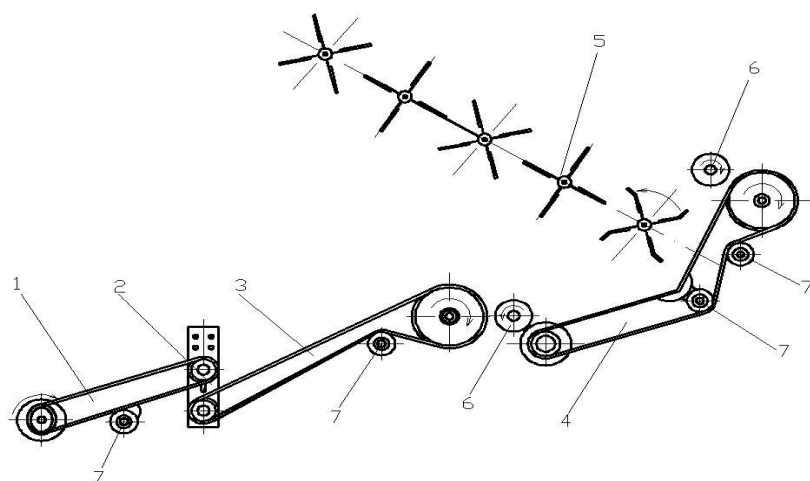


Рис. 2. Г-образная схема компоновки: 1, 3, 4 – элеваторы; 2 – регулятор каскада; 5 – система битеров; 6 – обратные валики; 7 – поджимающие элементы

Таким образом, важнейшей задачей при проектировании новых и усовершенствовании существующих конструкций картофелеуборочных машин и комбайнов, технические решения которой повысят надёжность рабочих процессов, является выбор схемы компактного расположения рабочих органов, в которой требования энерго-, ресурсосбережения рационально сочетаются с обеспечением качества обработки убираемого вороха растительных материалов в соответствии с действующими и перспективными агротехническими требованиями к такой технике.

УДК 621.74.047

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА НИКЕЛЕВЫХ ЧУГУНОВ С МАРТЕНСИТОМ

Г. П. ГОРЕЦКИЙ, В. Ф. БЕВЗА

Государственное научное учреждение

«ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАН Беларуси»

Государственное научное учреждение

«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»

Минск, Могилёв, Беларусь

В процессе исследований было установлено, что литьё полых отливок из высоколегированного никелевого чугуна «нирезист» методом пристеночной кристаллизации обеспечивает получение заготовок с аустенитной металлической матрицей в литом состоянии. Отсутствие ферромагнитной фазы подтверждается величиной остаточной магнитной индукции (B_r), которая составляет 0,12–0,18 мТл. Твёрдость находится в пределах 81–88 HRB.

Однако после обработки холодом при температуре минус 60 °С в течение одного часа образцы увеличивали свои размеры на 0,56–0,74 %, а величина B_r возросла в десятки раз. Причём, вместе с увеличением B_r выросла и твёрдость чугуна – на 13–23 % (табл. 1.). Это говорит о том, что в составе металлической матрицы появилась ферромагнитная фаза – по всем признакам это мартенсит.

Задачей исследования являлось определение возможности снизить количество ферромагнитной фазы в структуре чугуна и повысить его ростоустойчивость за счет термической обработки.

Табл. 1. Химсостав, твёрдость и остаточная магнитная индукция чугуна

№ образца	Химический состав, %								Остаточная магнитная индукция, мТл	Твёрдость, HRB
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mg	Ti		
Н9-9-3	3,23	2,25	0,59	1,26	11,8	6,2	0,09	0,028	3,1–8,5	98–101

В исходном состоянии после обработки холодом в сплаве кроме аустенита, графита и цементита имеется большое количество мартенсита.

Отпуск-аустенизация производился при 400 °С, 2,5 ч (индекс 1), при 700 °С, 2 ч (индекс 2), 800 °С, 1 ч (индекс 3), 600 °С, 5 ч (индекс 4).

Отпуск-аустенизация с температуры 400 °С не привела к какому-либо изменению структуры (рис. 1, а).

В процессе двухчасовой выдержки при температуре 700 °С (2 ч) в структуре образовались чистые, возможно, аустенитные поля с небольшими, едва заметными, дисперсными выделениями. Кое-где сохранились контуры

увеличением температуры и длительности науглероживания она повышается, однако во всех случаях обработка по совмещенному режиму позволяет получить более высокую твердость. Повышение температуры и длительности науглероживания при раздельном режиме вызывает снижение прочности и ударной вязкости, что связано с охрупчиванием материала в результате увеличения карбидных включений и образования после термической обработки мартенсита. Изменение предела прочности и ударной вязкости в зависимости от условий цементации у материалов, обработанных по совмещенному режиму, имеет вид поверхностей с максимумом при температуре 1000...1050 °С и времени 4...6 ч. Наличие максимума связано, по меньшей мере, с двумя факторами, противоположно влияющими на механические свойства. С одной стороны, увеличение температуры и длительности цементации приводит к более полному спеканию, с другой стороны – вызывает «пересыщение» углеродом поверхностной зоны и охрупчивание материала. Сравнение значений механических свойств материалов, обработанных по совмещенному и раздельному режимам, при оптимальных условиях, позволяет сделать однозначный вывод о преимуществах первого. Более высокие значения твердости (около 30 %), прочности (около 8 %), ударной вязкости (около 11 %), достигнутые при совмещенном режиме обработки, вероятно, объясняются активизацией процесса спекания в результате диффузии углерода.

Проведенное исследование показывает возможность совмещения операций спекания и цементации. Оптимальный режим обработки: насыщающая среда – древесноугольный карбюризатор с соотношением свежего и отработанного 1:3, температура – 1000...1020 °С, продолжительность – 4...6 ч.

Применение совмещенного режима имеет также преимущества экономического характера, так как при этом сокращаются длительность производственного цикла, материальные, трудовые и энергетические затраты.

УДК 669.715 ПРОИЗВОДСТВО ВТУЛОК ИЗ АНТИФРИКЦИОННОГО СИЛУМИНА ДЛЯ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ

В. Ю. СТЕЦЕНКО, К. Н. БАРАНОВ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

В узлах трения подвижных соединений навесного оборудования экскаваторов применяются втулки из антифрикционной бронзы. Это относительно дорогостоящий и импортируемый сплав с высоким удельным весом. Поэтому получение втулок из антифрикционного силумина для навесного оборудования экскаваторов, взамен аналогичных из бронзы является актуальной задачей.

В ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси» разработана технология литья полых заготовок из антифрикционного силумина для подшипников скольжения в условиях смазки. Получены полые заготовки из сплава АК14МЗ диаметром 55 мм, длиной 110 мм и толщиной стенки 10 мм. Микроструктура внутренней поверхности отливки представлена глобулярным эвтектическим кремнием размером 3–4 мкм, которые были равномерно распределены по всему сечению отливки. Твердость заготовок составляла в среднем 120 НВ.

Исследования фрикционной износостойкости втулок проводились на машине трения СМЦ-2 в условиях сухого трения по схеме вал-втулка с нагрузкой 0,5 МПа. В качестве материала вала использовали сталь 45 с твердостью 57 HRC. Было установлено, что заготовки из сплава АК14МЗ при сухом трении, по износостойкости превосходят аналогичные образцы из антифрикционной бронзы БрОЗЦ7С5Н в 33–35 раз.

Производственные испытания втулок проводили в условиях действующего производства частного транспортного предприятия «ВС-Техника» (г. Полоцк). Данные заготовки были установлены взамен аналогичных из бронзы БрАЖ9-4 в узлы трения шарнирных соединений навесного оборудования экскаватора марки ЭО-2626 на базе трактора МТЗ «Беларус-82.1». Установлено, что за 4 месяца работы износа втулок из антифрикционного силумина не выявлено. На сопрягаемых частях стальных пальцев, задиров и других следов износа не обнаружено.

Втулки из антифрикционного силумина рекомендованы в качестве заменителя аналогичных из антифрикционной бронзы в узлах трения шарнирных соединений навесного оборудования экскаваторов.

В. Ю. СТЕЦЕНКО, В. В. НОВИКОВ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

В настоящее время червячные колеса редукторов изготавливают из антифрикционной бронзы БрАЖ9-4. Это импортный и достаточно дорогой материал. Потому производство его более дешевого заменителя является актуальной задачей.

В ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси» разработана литейная технология получения заготовок «сталь – антифрикционный силумин» для червячных колес редукторов. Внутренняя часть заготовки – сталь, а наружная (рабочая) – силумин с высокодисперсной и инвертированной микроструктурой. Соединение материалов – механическое. Стальная сердцевина заготовки позволяет ее использовать в качестве червячных колес более нагруженных редукторов.

Были получены биметаллические заготовки «Ст25Л – антифрикционный силумин АК15М3» диаметром 120 мм. Эвтектический кремний в рабочей силуминовой зоне имел глобулярную форму с размером 2...7 мм. Средняя твердость антифрикционного силумина составляла 135 НВ.

На ОАО «Завод «Оптик» из полученных заготовок были изготовлены биметаллические червячные колеса. Они устанавливались в редукторах шлифовально-полировальных и полировально-доводочных станков 3ШП-320, 6ШП-200, 3ПД-320 и ПД-500 взамен бронзовых из БрАЖ9-4. В результате проведенных испытаний в условиях действующего производства установлено, что биметаллические червячные колеса с рабочим слоем из антифрикционного силумина не уступают по работоспособности аналогичным из бронзы БрАЖ9-4.

Таким образом, полученные биметаллические отливки Ст25Л-АК15М3 являются перспективным материалом для машиностроения и могут применяться в качестве заменителя бронзы при изготовлении червячных колес в нагруженных редукторах и для различного рода шестерен. Стоимость биметаллических заготовок Ст25Л-АК15М3 в среднем в четыре раза ниже, чем бронзовых.

В. Т. ВЫСОЦКИЙ, Т. В. ВЫСОЦКИЙ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Целью работы являлось исследование возможности совмещения процессов спекания и цементации конструкционных изделий из железного порошка и определение оптимальных режимов их обработки.

Работа проведена на образцах плотностью 80 %, полученных из порошка ПЖ1М3. Обработку образцов осуществляли по двум режимам: раздельному – образцы после прессования подвергали спеканию при 1200 °С в течение 2 ч в среде диссоциированного аммиака с точкой росы -40 °С, затем цементировали; совмещенному – образцы после прессования подвергали только цементации. Цементацию осуществляли в древесноугольном карбюризаторе с соотношением свежего и отработанного 1:3 при температурах 900, 950, 1000, 1050 °С в течение 3, 6, 9 ч. Отработанный карбюризатор получали отжигом свежего. После цементации следовала закалка в масле с температуры 800 °С, позволяющей получить наибольшую твердость, и низкий отпуск при температуре 180 °С в течение 2 ч.

Исследования показали, что существенной разницы в скорости науглероживания при совмещенном и раздельном режимах не наблюдается. Глубина цементованного слоя в первом случае примерно на 10...15 %, а концентрация углерода на 5...10 % меньше, чем во втором. Структура образцов, обработанных по совмещенному режиму отличается меньшим количеством цементита в заэвтектоидной зоне и большей дисперсностью перлита. Предварительное спекание не оказывает заметного влияния и на структуру после закалки, которая существенно зависит только от температуры науглероживания. Поверхностная зона образцов, цементованных при 900 °С, имела структуру троостита; при 1000 и 1050 °С – мартенсита с цементитными включениями. Это объясняется влиянием углерода, количество которого в слое возрастает с увеличением температуры цементации, на прокаливаемость материалов. Таким образом, с точки зрения скорости науглероживания и структуры слоя, совмещенный режим предпочтительнее. Однако основным критерием для вывода о возможности совмещения операций спекания и цементации, вероятно, должен служить общий комплекс механических свойств.

Аналогичные структурные превращения, протекающие в образцах, обработанных по совмещенному и раздельному режимам, определяют сходный характер изменения их твердости в зависимости от условий цементации. С

≈ 1 К/с. Это обеспечивало получение аустенитной матрицы чугуна без включений карбидов. Однако, при увеличении массы отливок, скорость их охлаждения снижается и в структуре чугуна появляется ферромагнитная фаза, которая определяет повышение твердости и B_r .

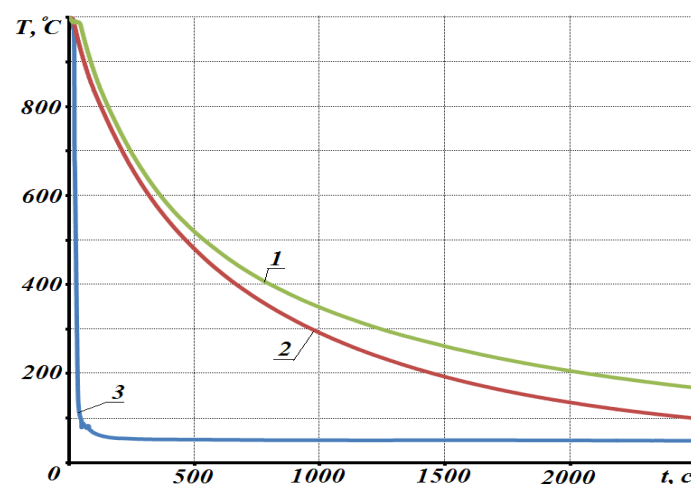


Рис. 1. Изменение температуры отливок во времени в зависимости от условий охлаждения: 1 – на воздухе в естественных условиях; 2 – в потоке воздуха; 3 – в воде

В связи с этим, была разработана специальная технология для охлаждения полых цилиндрических отливок в вертикальном потоке воздуха, что позволило регулировать скорость их охлаждения вне формы. Известно, что увеличение интенсивности теплоотвода от твердого тела, практически прямо пропорционально увеличению скорости воздушного потока [2], который является управляемым параметром и относительно легко может быть выдержан в заданных пределах.

Режим охлаждения отливок в потоке воздуха обеспечил стабильное получение аустенитной металлической матрицы чугуна в литом состоянии. Структура средней зоны по толщине стенки отливок, характеризуется аустенитной основой с небольшим (допустимым) количеством цементита и графитом: ПГф2-ПГд60-ПГр3- ПГ10-А-Ц4.

Таким образом установлено, что при получении отливок из аустенитного никелевого чугуна методом пристеночной кристаллизации, после извлечения из кристаллизатора, их необходимо охлаждать со скоростью не менее 1,3 К/с (в интервале температур 1000–700 $^\circ\text{C}$), а затем в естественных условиях на воздухе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бондаревский, В. Н.** Влияние хрома на структуру экономнолегированного аустенитного чугуна / В. Н. Бондаревский, А. А. Шейко, В. В. Клепченко // Структура и свойства чугуна: сб. науч. тр. – Киев: АН УССР ИПЛ, 1989. – С. 34–39.
2. **Беляев, Н. М.** Основы теплопередачи / Н. М. Беляев – Киев: Вища школа, 1989 – 343 с.

УДК 614.876 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ СТРУИ ВОДЫ С РЕГУЛИРОВОЧНОЙ ВСТАВКОЙ

М. М. ФОМЧЕНКО
Научно-практический центр учреждения
«МОГИЛЕВСКОЕ ОБЛАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЧС
Республики Беларусь»
Могилев, Беларусь

Сотрудниками Могилевского областного управления МЧС разработано устройство для распыления струи воды с регулировочной вставкой, которое предназначено для создания и направления распыленной, конусообразной струи воды при тушении пожаров, охлаждения конструкций, осаждения облака СДЯВ и защиты техники и личного состава от теплового воздействия (рис. 1).

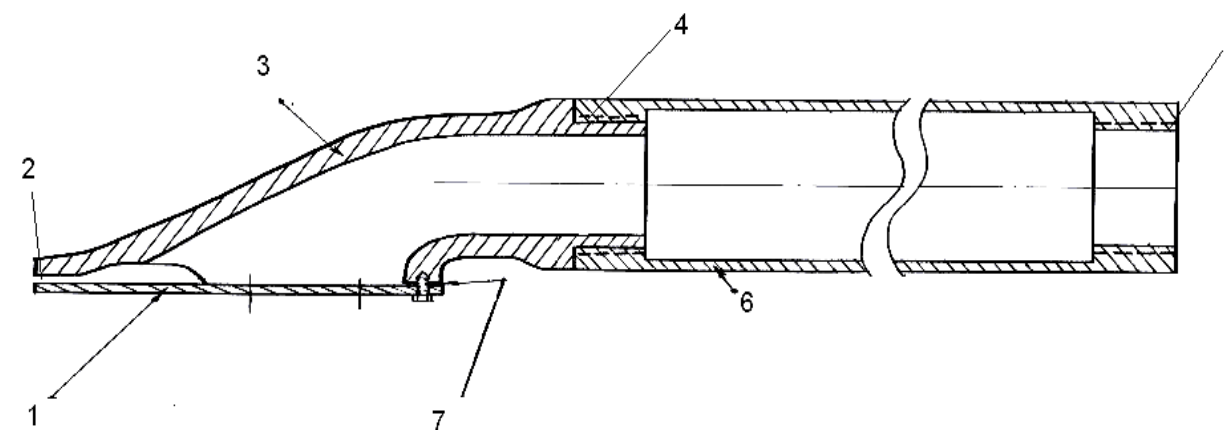


Рис. 1. Устройство для распыления струи воды с регулировочной вставкой

Устройство для распыления струи воды с регулировочной вставкой содержит корпус в виде пустотелой металлической трубы 3, с одной стороны с крепящейся нижней пластиной 1 и регулировочной вставкой 7 и резьбового соединения 4, при помощи которого через соединительную муфту 6 присоединяется к лафетному стволу 5, с другой стороны.

Устройство работает следующим образом. При помощи резьбового соединения через соединительную муфту 6, устройство крепится к стационарному или переносному лафетному стволу. Регулировочная вставка 7 устанавливается в требуемое положение. Вода подается к лафетному стволу и, пройдя через соединительную муфту 6, попадает в корпус устройства 3, где ударяется о нижнюю пластину 1 и через выпускное отверстие 2 выходит наружу, создавая распыленную струю воды. При прекращении подачи воды,

устройство отсоединяется от лафетного ствола, что позволяет использовать его в других местах его предназначения.

Опытный образец устройства успешно прошел необходимые испытания (рис. 2).



Рис. 2. Испытания устройства для распыления струи воды с регулировочной вставкой

Эффект от внедрения данного устройства позволил увеличить дальность распыленной струи, угол spryska до 85° , быструю установку как на стационарный так и на переносной лафетный ствол.

УДК 621.74.047

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ЧУГУНА «НИРЕЗИСТ»

В. Ф. БЕВЗА, В. П. ГРУША, *Г. П. ГОРЕЦКИЙ

Государственное научное учреждение

«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»

*Государственное научное учреждение

«ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАН Беларуси»

Могилев, Минск, Беларусь

Формирование литой структуры чугуна «нирезист» определяется процессом первичной кристаллизации и условиями последующего охлаждения. В процессе литья полых цилиндрических заготовок методом пристеночной кристаллизации высокая скорость затвердевания расплава ($0,5\text{--}0,7\text{ мм/с}$) способствует образованию карбидов при первичной кристаллизации чугуна, которые значительно снижают коррозионную стойкость деталей и ухудшают обрабатываемость [1]. Исключение карбидов в структуре чугуна было достигнуто за счет усовершенствования методики графитизирующего модифицирования и разработки технологии разлива металла, обеспечивающей максимальное использование эффективности воздействия модификаторов на расплав.

Следует указать, что «нирезист» структурно чувствителен к скорости охлаждения в интервале температур $1000\text{--}700^\circ\text{C}$. Установлено, что выдержка отливок при температуре $800\text{--}700^\circ\text{C}$ или их замедленное охлаждение в этом интервале может приводить к появлению ферромагнитной фазы и повышению твердости чугуна.

В тоже время литье заготовок этим методом дает уникальную возможность для эффективного управления процессом структурообразования за счет регулирования интенсивности теплоотвода от отливок в зоне вторичного охлаждения (вне формы), так как после извлечения из кристаллизатора их температура составляет более 1000°C .

Для обоснованного выбора режима было экспериментально определено изменение температуры отливок при охлаждении в различных условиях: на воздухе в естественных условиях, в потоке воздуха, в воде (рис. 1).

Исследования показали, что при охлаждении в большом объеме воды, чугун в литом состоянии имеет аустенитную металлическую основу, а твердость и остаточная магнитная индукция (B_r) близки к требуемым значениям. Однако возникновение больших термических напряжений вызывает образование трещин в стенке отливок, а иногда и их разрушение. В связи с этим, такой режим был исключен из дальнейших исследований.

Охлаждение полых отливок массой до 5 кг на воздухе в естественных условиях (в интервале температур $1000\text{--}700^\circ\text{C}$) происходило со скоростью

105–110 °С), в этом случае расход бентонитовых глин составил 10–20 г/дм³. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов глинами обусловлена как сорбцией ионов тяжелых металлов на поверхности глин, так и реагентной очисткой за счет создания слабощелочной среды. При этом 85–95 % очистки определяется сорбционным взаимодействием, а 5–15 % составляет доля реагентной очистки. Образцы измельченных глин взвешивали на аналитических весах и помещали в исходные модельные растворы сульфатов железа (II), хлорида железа (III), ацетата свинца (II). В начале процесса образцы глин заливали раствором гидроксида калия с массовой долей 10 % и кипятили в течение 10 минут, после чего проводили отмывку глин от раствора гидроксида натрия декантацией.

Навески образцов активированных глинистых материалов помещали в растворы солей железа (II, III) и свинца (II), периодически перемешивая. После отстаивания, в осветлённой водной фазе определяли остаточную концентрацию ионов металлов. Содержание адсорбированных ионов Fe²⁺, Fe³⁺, Pb²⁺ в образцах глин определяли по разности их концентраций в исходном и конечном растворе.

Табл. 1. Сорбционная емкость глины месторождения «Городок»

Ионы Fe ²⁺		Ионы Fe ³⁺		Ионы Pb ²⁺	
Исход. конц. (C ₀), г/дм ³	СОЕ, мг-экв/г	Исход. конц. (C ₀), г/дм ³	СОЕ, мг-экв/г	Исход. конц. (C ₀), г/дм ³	СОЕ, Мг-экв/г
2,5	1,731	2,5	1,910	2,5	0,3932
5,0	2,890	5,0	2,990	5,2	0,8164
8,0	3,530	8,0	3,750	9,6	0,1333

Табл. 2. Сорбционная емкость глины месторождения «Веселовская»

Ионы Fe ²⁺		Ионы Fe ³⁺		Ионы Pb ²⁺	
Исход. конц. (C ₀), г/дм ³	СОЕ, мг-экв/г	Исход. конц. (C ₀), г/дм ³	СОЕ, мг-экв/г	Исход. конц. (C ₀), г/дм ³	СОЕ, мг-экв/г
2,5	1,695	2,5	1,889	2,5	0,3702
5,0	2,775	5,0	2,790	5,2	0,7498
8,0	3,514	8,0	3,706	9,6	0,3004

Проведенные исследования показали перспективность использования глины в процессах очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Так, при использовании активированных образцов достигнута степень очистки растворов от ионов Pb²⁺ в пределах 96–98,9 % , от ионов Fe²⁺, Fe³⁺ в пределах 52–63 %.

УДК 621.7
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЛИТНОГО НАГРЕВА
В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Ю. Г. АЛЕКСЕЕВ, А. Ю. КОРОЛЁВ, А. А. АСТАПЕНКО
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК БНТУ «ПОЛИТЕХНИК»
Минск, Беларусь

Процесс электролитно-плазменной обработки происходит за счет протекания электрических разрядов между металлическим образцом и электролитом в анодном и катодном режимах. При этом в некоторых диапазонах параметров наблюдается явление электролитного нагрева, что обеспечивает интенсивный разогрев поверхности образца со скоростью до 250 °С/с и обеспечивает возможность создания композиционных слоёв на поверхности образца за счет осаждения и диффузии легирующих элементов, содержащихся в электролите, а также за счет термической обработки с последующим охлаждением в электролите.

Авторами проведены исследования и разработаны режимы получения композиционных слоев на стали Ст3 электрохимико-термическим азотированием и цементацией толщиной до 60 мкм и микротвердостью до 6,1 ГПа (рис. 1).

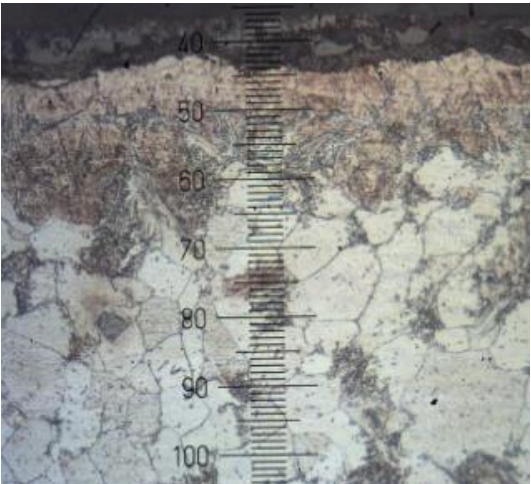


Рис. 1. Микроструктура образца после электрохимико-термического азотирования, x500

Целью данной работы является исследование влияния мощности нагрева и состава электролита на скорость нагрева и толщину нагреваемого слоя образцов из стали Ст3 в электролите на основе хлорида аммония.

В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением рабочего напряжения, скорость нагрева постепенно увеличивается и достигает максимума при удельной мощности 300 Вт/см², что соответствует ра-

бочему напряжению 240 В (рис. 2). Дальнейшее увеличение удельной мощности нагрева приводит к снижению максимальной температуры нагрева, а это связано с перераспределением тепловых потоков при повышении рабочего напряжения: доля тепла, поступающая в анод – уменьшается, поступающая в электролит и, затрачиваемая на испарение электролита – увеличивается.

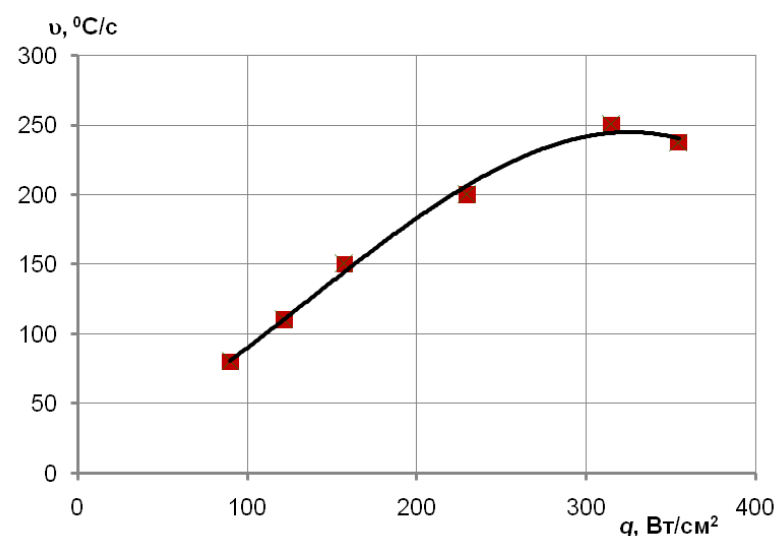


Рис. 2. Зависимость скорости анодного нагрева от удельной мощности нагрева

Повышение концентрации электролита привело к увеличению плотности тока и скорости анодного электролитного нагрева. Добавление в электролит глицерина (углеродсодержащий компонент) концентрацией 12 % приводит к снижению удельной проводимости на 20–28 % и, соответственно, плотности рабочего тока.

В результате снижения плотности тока, при обработке в электролите с глицерином, снижается удельная мощность процесса, что приводит к уменьшению максимально достижимой температуры нагрева образца. При нагреве в электролите без глицерина, обеспечивался нагрев образца до температуры 1000 °С, а при добавлении глицерина концентрацией 12 % – до температуры 900 °С. Такое снижение максимальной температуры нагрева при добавлении глицерина не является критичным, поскольку требуемая температура нагрева образца для цементации составляет 850–1000 °С.

Установлено, что толщина нагреваемого слоя увеличивается с повышением мощности нагрева. Максимальная глубина нагреваемого слоя при напряжении 240 В, аналогично максимальной температуре нагрева и максимальной скорости нагрева, достигается при концентрации электролита 10 %.

УДК 628.349: 66.081.3

ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОКОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В. А. АШУЙКО, Л. Н. НОВИКОВА, И. Е. МАЛАШОНОК

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

На кафедре общей и неорганической химии университета на протяжении ряда лет проводятся исследования адсорбционных свойств гетерогенных систем на основе пористых матриц растительного и минерального происхождения, которые модифицировались различными способами. Полученный экспериментальный материал может быть использован при разработке технологических методов очистки жидких сред от ионов тяжелых металлов и микрогетерогенных примесей, а также выделения ценных компонентов из промышленных отходов.

Цель настоящей работы заключалась в изучении сорбционной очистки сточных вод от ионов железа (II, III) и ионов свинца (II) модифицированными глинами.

При модифицировании природного сорбента, пористая структура материала остается прежней, а изменяется только химическая природа его поверхности путем закрепления на ее активных центрах модифицирующего агента в количествах, обычно не превышающих 1–5 % от массы сорбента. Работы в направлении поиска иных путей модифицирования природных сорбентов привели к созданию нового типа сорбционно-активных материалов – так называемых полусинтетических сорбентов.

Типичными примерами полусинтетических сорбентов являются кислотоактивированные глины. Это химические системы, состоящие из обедненного оксидами алюминия, железа и магния исходного глинистого минерала, переведенного в H, Al-форму, и аморфного кремнезема, допированного указанными оксидами. Соотношение кремнеземной составляющей к исходной зависит от химического состава глинистого минерала и условий его кислотной обработки. Многие глинистые минералы могут работать только в солевых формах (натриевой, кальциевой и т. д.). Они не могут быть переведены в водородную форму, так как при этом разрушается их структура, следовательно, не могут применяться в технологии обессоливания, а также опреснения сточных и природных вод.

Подготовка исходного раствора включает создание кислотно-основных характеристик раствора, а подготовка сорбента – активирование в гидротермальных условиях 10 %-ным раствором щелочи или кислоты (температура