

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

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, 22 – 23 апреля 2010 г.

Могилев
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
2010

УДК 621: 531: 621.7«324»(043.2)

ББК 65.30: 34.6

М34

Редакционная коллегия : д-р техн. наук, проф. И. С. Сазонов (гл. редактор); канд. техн. наук, доц. М. Е. Лустенков (зам. гл. редактора); В. И. Кошелева (отв. секретарь); д-р техн. наук, проф. В. П. Куликов; д-р техн. наук, проф. М. Ф. Пашкевич; д-р техн. наук, проф. В. П. Тарасик; канд. экон. наук, доц. Н. С. Желток; д-р техн. наук, доц. С. Д. Семенюк

Рецензенты : д-р техн. наук, доц. В. М. Пашкевич; д-р техн. наук, доц. А. М. Даньков; канд. техн. наук, доц. Д. И. Якубович

М34 **Материалы,** оборудование и
ресурсосберегающие технологии: материалы
междунар. науч.-техн. конф. : В 3 ч. / М-во
образования Респ. Беларусь, М-во образования и
науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по
образованию, Могилев. обл. исполн. ком., Нац.
акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т ;
редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. –
Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – Ч. 1. –
277 с. : ил.

ISBN 978-985-492-082-5.

Рассмотрены вопросы разработки прогрессивных технологических процессов в машиностроении, создания самообучающихся систем искусственного интеллекта для управления качеством и техническим уровнем изделий машиностроения, механизмы для технологической оснастки. Приведены результаты исследований в области получения и обработки новых материалов и покрытий.

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

УДК 621: 531: 621.7«324»(043.2)

ББК 65.30: 34.6

ISBN 978-985-492-082-5 (Ч.1)

ISBN 978-985-492-081-8

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2010

Большие финансовые потери, а также гибель людей в дорожно-транспортных происшествиях заставляют все страны мира проводить активную работу по созданию систем транспортных средств способных повысить безопасность движения.

Первой системой, обеспечивающей устойчивость автомобиля при торможении, явилась – антиблокировочная система (АБС). Дальнейшая работа по обеспечению безопасности движения потребовала решения проблем связанных с безопасностью автомобиля при его заносе на поворотах и привела к созданию нового поколения систем обеспечения безопасности движения автомобиля – электронных систем стабилизации движения (ESP).

По данным фирмы «Daimler Chrysler» количество аварий из-за потери водителем контроля над автомобилем снизилось с момента внедрения ESP на 42 % [1, 2, 3, 4].

Работы по созданию автоматических систем управления движением на протяжении длительного времени выполняются в Белорусско - Российском университете.

Формирование научной школы, изучающей динамику колесных машин, автоматизацию управления движением автомобилей и автопоездов, создание компонент систем активной безопасности мобильных машин (САБ) на энергетическом силовом анализе механических систем под руководством профессоров И.С. Сазонова и В.А. Кима позволило существенно повысить качественный уровень работ в области управления движением транспортных средств и, в частности, в области управления торможением транспортных средств.

Сформулирована новая концепция принципа функционирования САБ транспортного средства. Концепция заключается в использовании более высокоинформативных источников первичной информации, чем кинематические параметры. Такими источниками информации являются силовые факторы в контакте колес с опорной поверхностью и силы в узлах связи между звеньями колесной машины. Созданы уникальные образцы новых систем управления, ориентированные на использование электронных компонент отечественного производства.

Современные САБ используют три наиболее известных принципа управления:

- 1) регулирование по коэффициенту относительного скольжения контакта колеса;
- 2) регулирование по максимальному использованию тангенциальной реакции колеса с опорной поверхностью;
- 3) регулирование по производной от коэффициента сцепления по коэффициенту относительного скольжения контакта колеса (градиентный метод).

При этом источником первичной информации является кинематический параметр вращения колеса, а исполнительным механизмом является модулятор, включенный в тормозной привод.

В основе работы САБ лежит принцип оптимального соотношения между коэффициентом сцепления колеса с дорогой и коэффициентом относительного скольжения его пятна контакта относительно опорной поверхности. Сцепление колес зависит и от состояния дороги, и от характеристик шин. Важно отметить, что реакции связи колеса уменьшаются сразу же после начала скольжения. Именно поэтому транспортное средство теряет курсовую устойчивость и управляемость.

При способе регулирования по принципу отслеживания максимума коэффициента сцепления производится сравнение приведенного углового замедления колеса и замедления остова автомобиля, а также определение самого коэффициента сцепления. В последующем эти значения поддерживаются в заданных пределах.

Для реализации способа регулирования по принципу отслеживания максимума коэффициента сцепления все современные САБ содержат три основных узла: датчики угловой скорости колес, электронный блок обработки данных и формирования сигналов управления, исполнительный механизм - модулятор давления рабочего тела в тормозном приводе.

Особо важным элементом современной системы САБ является источник первичной информации, представляющий собой датчики измерения угловых скоростей (ускорения) вращения колес.

Таким образом, можно видеть, что наиболее распространенным методом формирования сигналов управления является способ сравнения углового замедления колеса и поступательного замедления двухколесного транспортного средства.

Формирование сигнала управления при данном способе производится в случае нарушения равенства ускорений. При равенстве ускорений формирование сигнала управления не осуществляется [1, 2, 3, 4].

Алгоритм работы антиблокировочной системы с использованием кинематических параметров показан на рис. 1.

Научное издание

Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии

Материалы международной
научно-технической конференции

Часть 1

Могилев, 22 – 23 апреля 2010 г.

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

Технический редактор И.В. Брискина

Компьютерная верстка И.В. Брискина

Подписано в печать 07.07.2010г. Формат 60х84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл.печ.л. 16,10. Уч.-изд.л. 18,25.
Тираж 165 экз. Заказ № 521.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
Лицензия ЛВ 02330/375 от 29.06.2004г.
212005, г.Могилев, пр.Мира, 43.

СУРГУНТ Я.М., КОРОТУН Н.В., НИКИТИН С.В. Исследование микротвердости и коррозионной стойкости керамического покрытия, нанесенного методом АМДО.....	251
УЛЬЯНОВА Т.М., ТИТОВА Л.В., ШЕВЧЕНКО А.А. Получение керамических оксидных материалов из наноструктурных порошков.....	253
ФЕДОСЕНКО А.С., СТАРОВОЙТОВ А.М. Выбор порошкового материала для напыления плазменных покрытий на поверхность деталей волочильных машин.....	255
ХАБИБУЛЛИН А.И., ЛОВШЕНКО Ф.Г., ЛОВШЕНКО Г.Ф., ХИНА Б.Б., ПАЦЕЙ В.Ф. Механизм фазовых превращений, происходящих в процессе механического легирования дисперсно-упрочненной меди в окислительной газовой среде.....	256
ХАБИБУЛЛИН А.И., ЛОВШЕНКО Ф.Г., ЛОВШЕНКО Г.Ф., ХИНА Б.Б., ПАЦЕЙ В.Ф. Механизм пластической деформации механически легированной дисперсно-упрочненной меди.....	257
ХЛОПКОВ Ю.В. Триботехнические испытания поверхности восстановленных коленвалов.....	259
ШЕМЕНКОВ В.М., Ловшенко Г.Ф. Структурно-фазовое модифицирование кобальтсодержащих твердых сплавов обработкой в тлеющем разряде.....	261
ШТЕМПЕЛЬ О.П., ДЕНИСЁНОК С.Ф. Улучшение триботехнических свойств безоловянистых бронз методами химико-термической обработки.....	262
ШУМОВ О.В. Технология износостойких гальванических покрытий.....	264
ШУТОВА А.Л., ЛЕЩИНСКАЯ И.К., ПРОКОПЧУК Н.Р. Влияние сиккативов на формирование покрытий новой алкидной грунтовки.....	265
ЯКУБОВИЧ Д.И. Применение механически легированных порошков в качестве легирующих добавок при дуговой наплавке.....	267

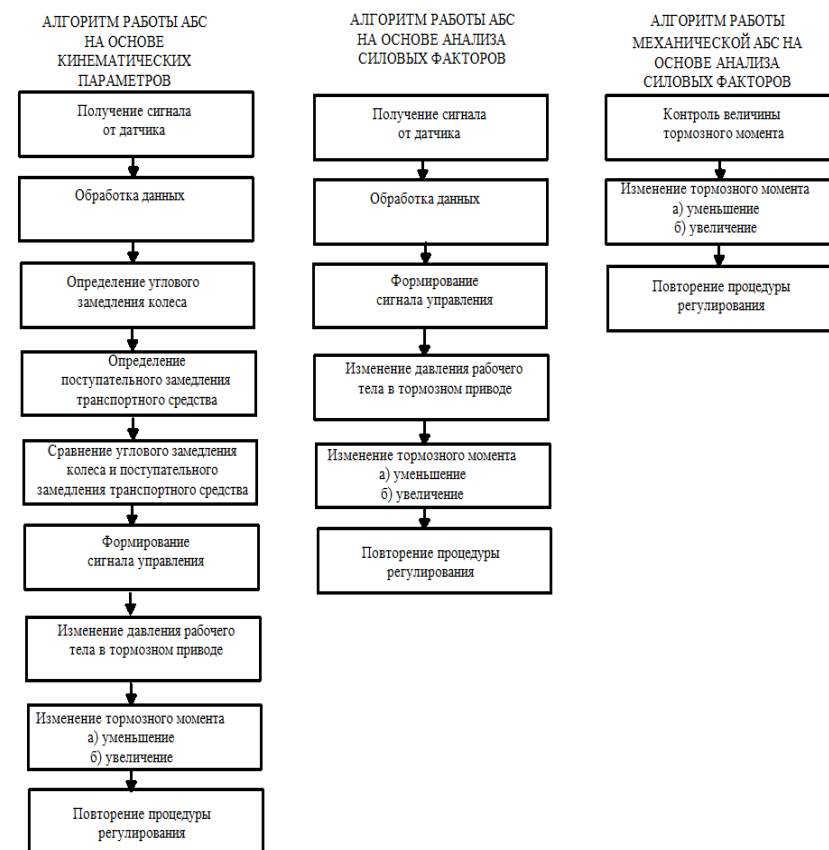


Рис. 1. Алгоритмы работы антиблокировочных систем

Главная сложность реализации подобных алгоритмов связана с определением линейной скорости V_a движения транспортного средства, которая рассчитывается путем осреднения угловых скоростей колес. И в настоящее время эта проблема все еще остается нерешенной. Усовершенствования используемых АБС связаны именно с определением скорости поступательного движения остова мотоцикла.

При широком диапазоне изменения коэффициента сцепления обеспечить устойчивость мотоцикла, из-за неточности определения скорости остова мотоцикла, практически не представляется возможным.

Недостаток рассмотренных методов управления САБ обусловлен еще и тем, что ни проскальзывание, ни замедление колеса не несут достаточной информационной нагрузки, необходимой для определения силовых взаимосвязей в контакте колеса с дорогой.

Другим недостатком является сложность конструкции, связанная с изготовлением перфоратора и используемой проводкой, невозможность получения линейной характеристики датчика.

Наиболее информационно насыщенными источниками первичной информации САБ являются силы и моменты, фактически реализуемые колесами двухколесного мотоцикла.

Проведенный исследование изменений реализуемых моментов при экстренном и служебном торможении показали, что принцип формирования сигналов управления торможением может строиться на основе отрицательного знака производной тормозного момента, или по максимуму тормозного момента.

Проведенные стендовые и натурные испытания разработанных систем показали эффективность принципа силовой идентификации используемого в системах управления движения.

На рис. 2 дано схематичное представление изменения знаков производных тормозных моментов при экстренном торможении.

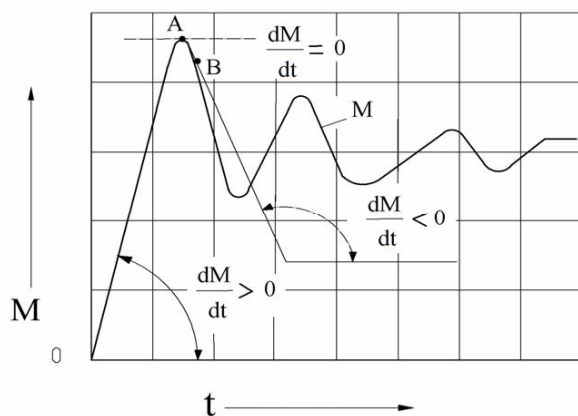


Рис. 2. Схематизированное представление изменения тормозного момента фактически реализуемого колесом

Алгоритм работы антиблокировочной системы на основе анализа силовых факторов показан на рис. 1.

Таким образом, новым этапом в развитии систем активной безопасности транспортных средств является использование силового анализа при формировании управляющего воздействия.

МАКСИМЕНКО А.В., МЫШКОВЕЦ В.Н., КРАВЧЕНКО А.И., ШАПОВАЛОВ П.С. Лазерная наплавка конструкционных сталей кольцевыми пучками.....	222
НЕВЕРОВ А.С., ПРИХОДЬКО И.В. Создание модифицированных смазочных материалов антикоррозионного и антифрикционного действия.....	224
ПАНАСЮГИН А.С., ГРИГОРЬЕВ С.В., МИХАЛАП Д.П., ДЕГТЯРЁВ Р.В. Оценка пригодности гальванических шламов для использования в литейном производстве.....	226
ПЕТРИШИН Г.В., ДЕМИДЕНКО Е.Н. Технология магнитно-абразивной обработки и новые материалы для нее.....	228
ПЕТРИШИН Г.В., КУЛЬГЕЙКО М.П. Новые наплавочные материалы в технологии магнитно-электрического нанесения покрытий.....	230
ПЕТРОВ С.В. Свойства алмазоподобных покрытий.....	232
ПИЛИПЦОВ Д.Г., РОГАЧЁВ А.В., БЕКАРЕВИЧ Р.В. Влияние легирующих элементов на механические свойства углеродных покрытий.....	234
РЕВА О.В., ЛУПАНДИН А.Е., МИХАЛЮК С.А. Модифицированные медные гальванопокрытия с повышенной коррозионной и износостойкостью.....	236
РУДЕНСКАЯ Н.А., ЧОЙ К.Й., СОКОЛОВА Н.В. Исследование керамических покрытий, полученных с использованием сверхзвукового плазмотрона.....	238
РУДЕНСКАЯ Н.А., ШВЕЙКИН Г.П., СОКОЛОВА Н.В. Измельчение керамических частиц в плазменном потоке.....	240
РЫЖЕНКО М.М. Повышение ударной прочности антикоррозионных покрытий армированных стекловолокном в ультразвуковом поле.....	242
СВИРЕПА Д.М., РЫЖАНКОВ Д.М. Рентгеноструктурные исследования деталей прошедших магнитно-динамическое упрочнение.....	243
СТЕПАНКИН И.Н., КЕНЬКО В.М., ПАНКРАТОВ И.А., РЮМКИНА М.А. Деформационные характеристики стали Р6М5 с предварительным упрочнением поверхности.....	245
СТЕЦЕНКО В.Ю., РИВКИН А.И., ГУТЕВ А.П. Улучшение структуры баббитов углеродными наночастицами.....	247
СТЕЦЕНКО В.Ю., РИВКИН А.И., КОНОВАЛОВ Р.В. Антифрикционный силумин для подшипников скольжения.....	248
СТОЛИН А.М., БАЖИН П.М., САРАНЦЕВ В.В. Нанесение коррозионностойких покрытий электроискровым легированием СВС-электродами.....	249

ГРИГОРЬЕВА Т.Ф., ДЬЯЧКОВА Л.Н., ЛЯХОВ Н.З. Механокомпозиты на основе вольфрама для получения псевдосплавов.....	188
ГРИЦЕНОК П.А., КОЗЛОВИЧ П.А. Новый способ покрытия пресс-форм.....	190
ГРОМЫКО Ж.Н., ЛАШКИНА Е.В. Антикоррозионные свойства материалов на основе полиэтилена, наполненного нефтью..	192
ГРУША В.П., БЕВЗА В.Ф. Получение заготовок для износостойких деталей из высокохромистого чугуна методом намораживания.....	194
ДЯТЛОВА Е.М., КАКОШКО Е.С. Влияние минерализаторов на спекание и свойства форстеритовой керамики.....	196
ИГНАТОВ Б.И. Металлические пленки на керамике и ферритах.....	198
ИНОЗЕМЦЕВА Н.В., ЛИСКОВИЧ М.И. Анализ условия схватывания при плакировании обратным выдавливанием.....	200
КЕНЬКО В.М., СТЕПАНКИН И.Н. Структурные и фазовые превращения в науглероженном слое быстрорежущей стали Р6М5...	203
КОЛДАЕВА С.Н., ПОЛИЩУК Л.Н., ЕКИМЕНКО А.Н. Химстойкие трубы и доски из высоконаполненных композитов, изготовленные плунжерной экструзией.....	206
КОЛЕШКО В.М., ШЕВЧЕНОК А.А., ГУЛАЙ В.А. Распыляемые мишени ZnO с микродобавками РЗЭ в технологии сенсорных микро-наносистем.....	208
КОМАРОВ Ф.Ф., ПОГРЕБНЯК А.Д., ПИЛЬКО В.В. Структура и физико-химические свойства комбинированных нанокомпозитных защитных покрытий.....	210
ЛАШКИНА Е.В., ГРОМЫКО Ж.Н., ЕРМОЛОВИЧ О.А. Исследование эксплуатационных свойств инсектицидных полимерных материалов.....	212
ЛЕЦКО А.И., ТАЛАКО Т.Л., ГРИГОРЬЕВА Т.Ф. Получение МА СВС композитов Cu/ZrO ₂	214
ЛЕЩИНСКАЯ И.К., ШУТОВА А.Л., ПРОКОПЧУК Н.Р. Разработка состава и технологии получения полуфабрикатного меламиноалкидного лака.....	216
ЛИСКОВИЧ М.И., ИНОЗЕМЦЕВА Н.В. Исследование факторов, влияющих на плотность покрытия, получаемого совместной вытяжкой.....	218
ЛОВШЕНКО Ф.Г., ЛОВШЕНКО Г.Ф., ЛОЗИКОВ И.А. Изучение структуры и свойств механически легированной лигатуры для выплавки хромовых, циркониевых и хромовоциркониевых бронз.....	220

В отличие от алгоритма работы антиблокировочной системы, основанной на использовании кинематических параметров, использование алгоритма на основе анализа сил не требует выполнения трудоемких промежуточных вычислений по обработке недостаточно информативных кинематических параметров: определение углового ускорения колеса; определение поступательного ускорения транспортного средства; сравнения и формирования на их основе управляющего сигнала для регулирования тормозного момента, величины имеющей другую физическую природу.

Это означает, что регулирование процесса торможения по данному алгоритму носит более объективный характер, так как, в данном случае, происходит прямое определение значения силовых факторов, которые как раз и предстоит регулировать. В отличие от алгоритма с использованием кинематических параметров, когда моделирование тормозного момента выполняется на основе опосредствования кинематических параметров.

Следующим шагом на пути создания эффективных систем регулирования процесса торможения является создание механических антиблокировочных систем. При этом необходимо отметить, что в основу функционирования механических антиблокировочных систем закладывались принципы управления системой на основе силового анализа.

На рис. 1 представлен алгоритм работы механической антиблокировочной системы на основе силового анализа.

Одной из главных особенностей разработанной системы является исключение этапа обработки данных от датчиков кинематических либо силовых параметров. Конструкционный элемент системы производит контроль и непосредственно изменение значения тормозного момента.

Конструкционным элементом, осуществляющим контроль и изменение тормозного момента, является упругий элемент. Для рассматриваемой системы таким элементом является цилиндрическая пружина сжатия, параметры которой определяются с учетом обеспечения необходимой чувствительности антиблокировочной системы.

Главными преимуществами разработанной системы являются:

- регулирование процесса торможения на основе силового анализа, то есть с использованием информационных величин имеющих общую физическую основу с регулируемыми величинами;
- исключение промежуточных вычислений с использованием кинематических параметров;
- исключение из системы управления блока управления и модулятора давления рабочего тела в тормозном приводе;
- использование механического привода;
- автономная работа системы без внешних дополнительных источников энергии, как, например, гидравлических насосов характерных для электрогидравлических антиблокировочных систем;

- адаптивность к тормозам с механическим нажимным устройством;
- совмещение в одном элементе функций информационного датчика и устройства изменяющего величину тормозного момента;
- возможность увеличения значения тормозного момента без использования дополнительных устройств, что дает возможность использовать разработанную систему как автоматический усилитель тормозного момента;
- возможность использования, вследствие эффекта усиления, любого механического нажимного устройства, применение которого ограничивалось невысокими значениями усилий прижатия тормозных колодок к диску либо барабану;
- меньшая стоимость по сравнению с электронно-гидравлическими антиблокировочными системами.

На рис. 3 и 4 представлена механическая антиблокировочная система, работа которой осуществляется на основе силового анализа.

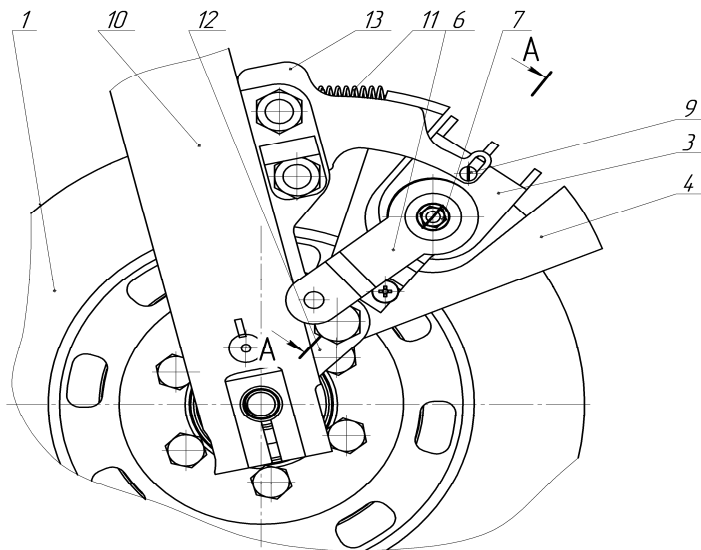


Рис. 3. Главный вид механической антиблокировочной системы

Воздействие, приложенное к рычагу 6, вызывает поворот винта 8, сопряженного с помощью резьбовой поверхности с тормозной скобой 3. Это создает осевое перемещение винта 8, а также перемещение тормозной скобы 3, вследствие чего возникают усилия, прижимающие тормозные колодки 2 к тормозному диску 1. Прижимаясь к тормозному диску 1 тормозные колодки 2 создают тормозной момент, вызывающий поворот корпуса 4,

АЛЕСЧИК И.И., ВАЛЬКО Н.Г., ЛАВЫШ Д.В. Электроосаждение Zn-Ni из хлораммонийного электролита в поле рентгеновского излучения.....	156
АНИЩИК В.М., ВАЛЬКО Н.Г., ПОЛЯК Н.И. Влияние рентгеновского излучения на электрокристаллизацию Ni.....	158
АФАНАСЬЕВ Л.Н., ВЕРЕЩАГИН М.Н., ГОРАНСКИЙ Г.Г. Технологические основы подготовки твердосплавных порошков из отходов металлургического производства.....	161
БАРАЙ С.Г., ВИОЛЕНТИЙ Д.Р. Возможности инжекционного формования для получения керамической нитепроводной гарнитуры.....	162
БЕВЗА В.Ф., ГРУША В.П. Литье полых цилиндрических заготовок намораживанием из многокомпонентной латуни.....	164
БЕЛАЯ О.Н., ШЕПЕЛЕВИЧ В.Г. Структура и микротвердость быстрозатвердевших фольг сплавов In – (15-25) АТ.% Pb.....	166
БЛИЗНЕЦ Д.А. Закономерности протекания тепловых процессов при распиловке алмаза и сапфира.....	168
БОБКОВА Н.М., БУЙДЕНКОВА О.А., ТРУСОВА Е.Е. Получение стекол, устойчивых к фторсодержащим средам, для электродов РН-метрических приборов.....	170
БОБКОВА Н.М., ПЕЧЕНЬ Е.В., ТРУСОВА Е.Е. Стекло для светофильтров.....	172
ВАН ЦЗИНЦЗЕ, ШЕПЕЛЕВИЧ В.Г. Структура быстрозатвердевшей β-фазы системы индий – олово.....	173
ВЕРЕМЕЙЧИК А.И., ОНЫСЬКО С.Р., САЗОНОВ М.И., ХВИСЕВИЧ В.М. Поверхностное упрочнение при помощи плазменной струи.....	175
ВЕРЕЩАГИН М.Н., АГУНОВИЧ И.В. Исследование зеренной структуры быстрозакаленных и литых латунных сплавов.....	177
ВИГЕРИНА Т.В. Повышение усталостной прочности валов, восстановленных наплавкой, поверхностным пластическим деформированием.....	179
ВЫДУМЧИК С.В., ГАВРИЛЕНКО О.О., ПАВЛЮКЕВИЧ Т.Г. Автоматизированные смесительно-дозировочные установки для переработки пенополиуретанов.....	181
ВЫСОЦКИЙ Т.В., ВЫСОЦКИЙ В.Т. Влияние масштабного фактора на свойства механически легированных порошковых сталей.....	183
ГОНЧАРОВ В.К., ГУСАКОВ Г.А., ПУЗЫРЕВ М.В. Влияние условий формирования эрозионного лазерного факела графитовой мишени на свойства углеродных пленок.....	184
ГОРАНСКИЙ Г.Г., КИРИЛЮК С.И., СУДНИК Л.В. Наноструктурированные покрытия в инструментальной керамике....	186

ПЕТРОВСКИЙ В.П., КУЛЬГЕЙКО Г.С., ГРИНКЕВИЧ И.В. Повышение нагрузочной способности клиноременной центробежной муфты.....	129
ПИНЧУК В.В., КУЛЬГЕЙКО Г.С. Оптимизация конструкции пресса для брикетирования древесностружечных отходов.....	131
ПОНОМАРЁВА О.А., ЖУКОВ К.В., БОНДАРЕВ В.В. Совершенствование конструкции рулевого механизма транспортного средства.....	132
ПРУДНИКОВ А.П. Проектирование двухскоростных планетарных передач с телами качения.....	134
РОГАЧЕВСКИЙ Н.И., ПОДЫМАКО М.Э., РОГАЧЕВСКИЙ С.Н. Исследование напряженного состояния подшипников червячных передач качения.....	135
САНЮКЕВИЧ Ф.М., МОНТИК С.В. Расчет закрытых зубчатых и червячных передач при курсовом проектировании по деталям машин.....	137
СЕНЬКОВ С.А., ЛОКТИОНОВ А.В. Расчет уравнения движения малых колебаний эллиптического маятника.....	139
СОКОЛОВА А.С., ЛОКТИОНОВ А.В. Расчет кинематических моментов механической системы при перемещении тела по вращающемуся диску.....	141
ХАТЕТОВСКИЙ С.Н., КАЗАРОВЕЦ А.П., АРИНЕНКО К.Н. Геометрия поверхностей, составляющих зацепление, нечувствительное к изменению их относительного положения.....	143
ХАТЕТОВСКИЙ С.Н., КОРОТУН Н.В., ЯЩЕНКО Е.Г. Определение передаточного отношения зубчатого механизма.....	144
ШАРКОВ О.В. Исследование надежности импульсного мотор- вариатора.....	145
ШИШКОВ Е.И., БУТОЛИН Е.В. Определение оптимальных параметров обработки элементов планетарной прецессионной передачи типа 2К-Н.....	147
Секция 3. Технологии получения и обработки новых материалов и покрытий	
АГУНОВИЧ И.В. Неравномерность распределения химических элементов в быстрозакаленных латунных сплавах.....	148
АКУЛИЧ А.П., АКУЛИЧ Я.А. Упрочнение проволоки из стали 3 в процессе деформирования волочением.....	150
АЛЕКСАНДРОВ В.М., ШКУРДЮК П.А., КИРШИНА Н.В. Пористый материал с «отрицательным» удельным весом.....	152
АЛЕКСАНДРОВА Т.И., РУСОВ В.П., КОРЕЦКАЯ Л.С. Исследование эффективности действия фотостабилизаторов полимеров.....	154

шарнирно установленного на кронштейне 12 с помощью оси 5 в сторону вращения тормозного диска 1.

При повороте корпуса 4, вместе с ним перемещается тормозная скоба 3, которая с помощью штифта 9, установленного на скобе 3, упирается в кронштейн 12, при этом происходит дополнительный поворот скобы 3 относительно корпуса 4.

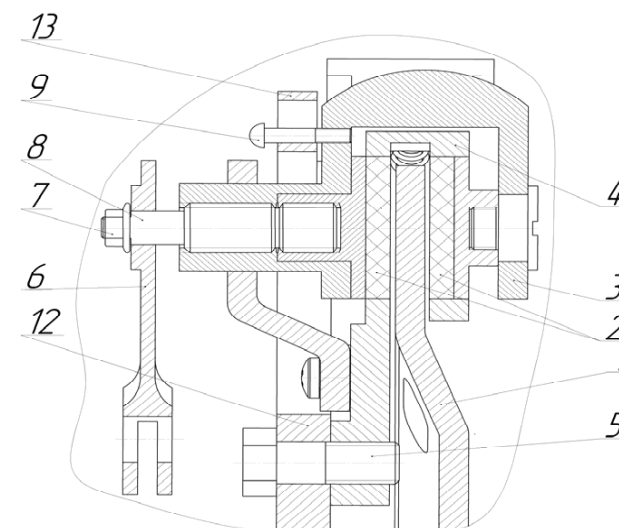


Рис. 4. Разрез механической антиблокировочной системы

Поворот скобы 3 создает автоматический эффект увеличения усилий, прижимающих колодки к диску, то есть вызывает дополнительное осевое перемещение винта 8, вследствие чего возникает дополнительное усилие, прижимающее колодки 2 к диску 1.

При блокировке колеса сила трения в контакте шины с дорогой уменьшается, позволяя корпусу 4 сократить угол закрутки и под действием возвратной пружины 11, то есть повернуться в сторону противоположную первоначальному повороту корпуса 4. Тормозная скоба 3, поворачиваясь вместе с корпусом 4 в обратную сторону, упирается в пластину 13, установленную в кронштейне 12, вследствие чего происходит поворот скобы 3 относительно корпуса 4 в обратную сторону.

Так как скоба 3 сопряжена с ходовым винтом 8 с помощью резьбы, поворот скобы 3 относительно корпуса 4 в обратную сторону вызывает осевое перемещение винта 8 также в обратную сторону, уменьшая тем самым усилие прижатия тормозных колодок 2 к диску 1 и колесо разблокируется. Возрастание тормозного момента в следующий момент времени

вновь вызывает поворот корпуса 4 в направлении вращения тормозного диска 1, процесс повторяется.

Результаты последних исследований показали, что метод силовой идентификации представляет новое научное направление, позволяющее продолжить развитие фундаментальных исследований в области теории и практики проектирования автоматических систем управления движением колесных машин.

Созданные опытные САБ функционирующие на основе анализа сил показали возможность реализации новой концепции управления системой активной безопасности, а также возможность реализации для различных типов транспортных средств, в том числе и для двухколесных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сазонов, И. С.** Динамика колесных машин /И. С. Сазонов [и др]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – 461с.
2. **Ким, В. А.** Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа / В. А. Ким. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 346 с.
3. **Пат. 2299140 РФ, МКИ⁶ В 60 Т С1.** Способ регулирования торможением автопоезда / И. С. Сазонов [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 2005132206/11 ; заявл. 18.10.05 ; опубл. 20.05.07, Бюл. № 14. – 5 с. : ил.
4. **Пат. 9589 ВУ, МПК В 60Т 8/00 С1.** Способ регулирования торможением автопоезда / И. С. Сазонов [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20041020; заявл. 11.08.04 ; опубл. 20.05.07, Бюл. № 14. – 5 с. : ил.

ГРОМЫКО П.Н., ПУСКОВ О.М., ДОКОНОВ Т.Г. Анализ кинематических возможностей различных структурных вариантов прецессионных передач фрикционного типа.....	99
ДАВИДЕНКО Д.В. Эксплуатационные возможности фрикционных шарикоподшипниковых передач.....	101
ДАНЬКОВ А.М., КРАСОВСКИЙ В.А., ТУРАНДИН М.М. Принципиально новый плавнорегулируемый привод технологического оборудования.....	103
ЗАХАРОВ А.В., ЗАХАРОВА И.О. Особенности нагружения тягово-сцепного устройства при взаимных перемещениях трактора и сельхозорудия.....	105
ИОФФЕ А.З., СТЕПАНЕНКО С.В., АЛЕКСАНДРОВ А.С. Обоснование применения плавнорегулируемой зубчатой передачи в составе машинного агрегата.....	107
ИОФФЕ А.З., ДАНЬКОВ А.М. Планетарная плавнорегулируемая передача как альтернатива современным трансмиссиям транспортных средств.....	109
КРИВОНОГОВА Е.Г., ТРУСОВ И.В., ДОКОНОВ Т.Г. О применении планетарных прецессионных передач в приводах различных машин.....	111
КУЛЬГЕЙКО М.П., ПЕТРОВСКИЙ В.П., ДМИТРИЧЕНКО Е.Э. Модернизация главного привода пресс-автомата формовки силикатных камней.....	113
ЛОКТИОНОВ А.В., БУТКЕВИЧ В.Г., ФЁДОРОВА О.И. Разработка кинематических параметров формирования нити с использованием двух полых веретен.....	115
ЛУСТЕНКОВ М.Е. Теоретический способ определения КПД радиальных подшипников качения.....	117
ЛУСТЕНКОВ М.Е., СМОРГОВИЧ Л.Л., ХАДКЕВИЧ И.Ю. Зубчато-шариковые планетарные передачи.....	118
ЛЫСОВА О.С., ЛОКТИОНОВ А.В. Расчет кинематических параметров робота-манипулятора IRB 1400 предприятия «Марко»...	119
МАКАРЕВИЧ С.Д. Анализ напряженно-деформированного состояния мобильного устройства для поднятия (опускания) людей и грузов.....	121
МАКАРЕВИЧ С.Д., МАКАРЕВИЧ Д.М., ПОДЫМАКО М.Э. Устройство спасательное.....	123
МАРКОВА Л.В., БАСИНЮК В.Л., МАРДОСЕВИЧ Е.И., МАШИН Ю.В. Комплексный анализ технического состояния редуцирующих агрегатов.....	125
ПАШКЕВИЧ А.М. Уточнение методики расчета шариковых радиально-плунжерных редукторов.....	127

РЯЗАНЦЕВ А.Н. Информационно-образовательные ресурсы виртуальной учебной лаборатории.....	74
СПИРИДОНОВ Н.В., КОРОТКЕВИЧ А.Ф. Определение оптимальных режимов резания при токарной обработке инструментом модифицированным потоком низкоэнергетических частиц в тлеющем разряде.....	76
ФИЛИПЕНКО Е.В. Разработка методики управления смесеприготовлением для стабилизации свойств формовочной смеси.....	78
ШАТУРОВ Д.Г. Финишная обработка поверхностей заготовок деталей с оптимизацией параметров их качества.....	80
ШАТУРОВ Д.Г. Исследование динамики процесса резания многопроходным чашечным резцом.....	81
ШЕЙБАК М.Р., ВЕЧЕР Р.И. Формирование режущей поверхности прерывистых шлифовальных кругов.....	82
ШЕМЕНКОВ В.М., АХРАЛОВИЧ Е.С., БЕЛАЯ М.А. Повышение эксплуатационных характеристик инструментальной оснастки обработкой в тлеющем разряде.....	84

Секция 2. Машиноведение, детали машин и прикладная механика

БЛАГОДАРНАЯ О.В. Некоторые сведения из технологии производства швейных игл.....	85
БЛАГОДАРНЫЙ В.М., ПАВЛЕНКО С., ГАЛКО И. Динамическая нагрузка в червячных передачах.....	87
БОРИСЕНКО Л.А., КОМАР В.Л., ЛАГОЙКО Д.Н., КАРАНКЕВИЧ Р.Ю. Исследование карданного соединения для планетарных редукторов схемы К-Н-V.....	89
БОРИСЕНКО Л.А., КОМАР В.Л., ЛАГОЙКО Д.Н., КАРАНКЕВИЧ Р.Ю. Новые конструкции цепных планетарных механизмов с гибкими связями.....	90
ГАЛЮЖИН Д.С., ГОНЧАРОВ П.С., ЧЕХОВСКИЙ А.Г. Разработка методики определения кинематической погрешности планетарных прецизионных передач на основе использования методов компьютерного моделирования.....	91
ГОЛУБ В.М., ГОЛУБ М.В. Основные принципы проектирования торцовых уплотнений гидромашин.....	93
ГОЛУБ В.М., ГОЛУБ М.В., ДОБРИЯНИК Ю.А. Торцовое уплотнение валов динамических насосов.....	95
ГРОМЫКО П.Н., ГАЛЮЖИН Д.С., БУТОЛИН Е.В. Применение планетарных прецессионных передач различных типов в устройствах для очистки смазочно-охлаждающих технологических средств.....	97

УДК 621.9.047:669:538.8 СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ОБРАБОТКОЙ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ

Г.Ф. ЛОВШЕНКО, В.М. ШЕМЕНКОВ

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Государственное учреждение высшего профессионального образования

«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Могилев, Беларусь

Твердые сплавы как инструментальные материалы широко и эффективно применяются в металлообработке. Достаточно отметить, что твердосплавным инструментом снимается до 70 % всей стружки.

Качественные изменения в металлообработке, связанные с появлением новых труднообрабатываемых материалов, применение станков с числовым программным управлением, многоцелевых станков, гибких производственных систем, повышают требования к работоспособности и надежности твердосплавного инструмента. Резервы повышения износостойкости инструментальной оснастки за счет создания новых материалов в значительной степени уже исчерпаны или связаны со значительными материальными затратами. Поэтому особое значение в настоящее время приобретают вопросы, связанные с внедрением технологических процессов модификации рабочих поверхностей инструментов. Традиционные способы повышения стойкости в ряде случаев не обеспечивают необходимой износостойкости или неприемлемы. Поэтому все большее распространение получают такие способы, как нанесение износостойких покрытий и поверхностное упрочнение изделий из металлов и сплавов методами ионно-плазменной обработки [1].

Одним из перспективных в научном и прикладном плане является метод обработки твердых сплавов тлеющим разрядом постоянного тока, возбуждаемом в среде остаточных атмосферных газов давлением 1,33...13,33 Па напряжением горения 1...5 кВ при плотностях тока 0,05...0,5 А/м² и частоте импульсов 100 Гц ± 20 % обеспечивает формирование уникальных структурно-фазовых состояний в их приповерхностных слоях, а также широкий масштаб модификации структуры. Это приводит к изменению макросвойств материалов и определяет эксплуатационное поведение модифицируемых изделий в условиях трибомеханического нагружения, что характерно для инструментальной оснастки.

Механизмы, приводящие к модифицирующей обработке инструментальных материалов в тлеющем разряде, сходны с процессами, протекающими при низкотемпературной ионной имплантации, с той лишь разницей, что в качестве источника ионов используется среда остаточных атмосфер-

ных газов. Вследствие чего изменение свойств поверхностных слоев твердых сплавов происходит за счет торможения бомбардирующих ионов, в результате чего повышается поверхностная твердость и износостойкость материалов [2].

Исследование процессов модификации структуры поверхностных слоев проводили на партии многогранных неперетачиваемых пластин из твердого сплава ВК8 (ГОСТ 3882-74) и сплава GIALLOY PACO-CR (EN ISO 6871-1/6871-2) в исходном состоянии и подвергнувшихся обработке при различных энергетических характеристиках тлеющего разряда и времени обработки в нем.

Для установления зависимости приращения поверхностной твердости H'_{HV} пластин из твердого сплава ВК8 по Виккерсу от основных факторов процесса модифицирующей обработки в тлеющем разряде зависимость $H'_{HV} = f(V, J, T)$ была аппроксимирована полиномом второй степени, отвечающим требованию ротативности.

Проведенные исследования позволили получить ряд зависимостей, представленных на рис. 1.

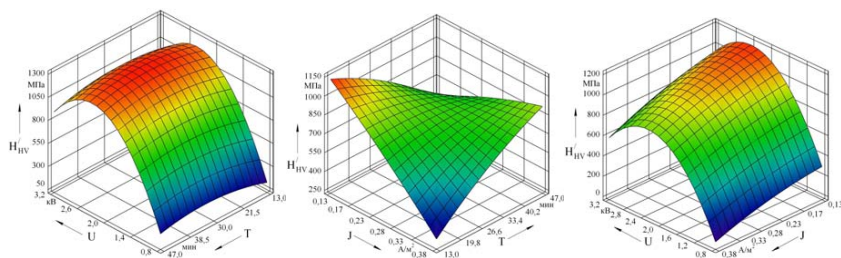


Рис. 1. Зависимость приращения поверхностной твердости H'_{HV} пластин из твердого сплава ВК8 от различных факторов модифицирующей обработки в тлеющем разряде

На основании детального анализа проведенных исследований удалось установить, что глубина модифицированного слоя h_d , мкм, так же как и поверхностная твердость, в большей степени зависит от удельной мощности горения разряда W , кВт/м². Данную зависимость можно объяснить тем, что с ростом энергетической характеристики разряда растет энергия и количество налетающих на поверхность твердосплавной пластины частиц, что способствует более глубокому их проникновению и формированию более длинных каскадов смещений в кристаллических решетках фазовых составляющих сплава.

На рис. 2 приведены характерные результаты исследований глубины модифицированного слоя твердосплавных пластин при удельной мощности

ЖОЛОБОВ А.А., КАЗАКОВ А.В., ВАНЬКОВИЧ А.В. Особенности расчёта упругих деформаций технологической системы при токарной обработке полого ступенчатого вала.....	45
ЖОЛОБОВ А.А., ШАЛЫЖИН К.А., ШИЛОВ А.Л. Моделирование точности формообразования эвольвентных шлицевых поверхностей червячной фрезой.....	46
ЗАБЕЛИН Д.А. Применение методов распознавания при оценке качества сборки червячных передач.....	48
КАМЧИЦКАЯ И.Д. Шероховатость поверхности, получаемая импульсно-ударной пневмовибродинамической обработкой.....	49
КАПИТОНОВ А.В., ПОПКОВСКИЙ В.А., КАПИТОНОВ О.А. Оценка точности программирования кривых периодических дорожек на станках с ЧПУ.....	50
КОЖЕВНИКОВ М.М., СУБОЧ С.Н. Методы планирования траекторий сборочных роботов-манипуляторов в среде с препятствиями.....	51
КРАСЮК С.И., ВЕЧЕР Р.И. Исследование контактной прочности деталей при шлифовании.....	53
ЛИПСКИЙ А.Э. Исследование стойкости инструмента из быстрорежущей стали Р6М5, модифицированной в вакууме.....	55
ЛОГВИН В.А., КОТИКОВ П.Ф., ИВАНОВ Ю.И. Устройство для упрочнения плоских поверхностей.....	56
МЕДВЕДЕВ О.А., ГОРБУНОВ В.П., МЕЛЕЩУК М.В. Синтез схем базирования для механической обработки по графам размерных связей деталей.....	58
МИНАКОВ А.П., ИЛЮШИНА Е.В. Методика управления процессом суперфинишной пневмоцентробежной обработки.....	60
МИХАЙЛОВ М.И. Математическое моделирование топографии фасонной кинематической поверхности, полученной точением.....	61
МИХАЙЛОВ М.И., ГУЛЕВИЧ Л.И., НИКИТЕНКО В.Д. Исследование влияния абразивосодержащих наполнителей латунных припоев на адгезионную прочность стали.....	63
ПАШКЕВИЧ В.М. Численный анализ кинематических погрешностей передач на этапе их сборки.....	65
ПАШКЕВИЧ М.Ф. Способ комплексного измерения характеристик точности зубчатых передач в сборе.....	67
ПЕТРОВСКИЙ Д.Е. Алмазное выглаживание как альтернатива процессу раскатывания при смене типа производства.....	69
ПЕЧКОВСКАЯ О.Е. Нагрузочная способность модифицированных зубчатых передач.....	71
РОВИН Л.Е., АВСЕЙКОВ С.В. Модернизация ротационной качающейся печи.....	72

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарное заседание

МЕЛЬНИКОВ А.С., САЗОНОВ И.С., КИМ В.А. Современные системы активной безопасности двухколесных транспортных средств.....	3
ЛОВШЕНКО Г.Ф., ШЕМЕНКОВ В.М. Структурно-фазовое модифицирование твердых сплавов обработкой тлеющим разрядом..	11

Секция 1. Технология машиностроения и автоматизация технологических процессов и производств

АЙРАПЕТЬЯНЦ Г.М., КОЖЕВНИКОВ М.М. Методика выбора каналов управления вакуум-выпарными установками.....	22
АКУЛИЧ А.В., БУГЛАК А.В., ФЛЕРКО А.В. Обжарочный аппарат ротационного типа с цилиндрическим вытеснителем.....	24
АКУЛИЧ А.В., ЛУСТЕНКОВ В.М., КОНДРИКОВ Н.В., АКУЛИЧ А.А. Исследование гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя с зернистым слоем.....	26
АФАНЕВИЧ В.В. Исследование остаточных напряжений в материале после инерционно-импульсной обработки.....	28
БЛАГОДАРНЫЙ В.М. Раздел энерго-ресурсосбережения и экологической безопасности в дипломном проекте по «Технологии машиностроения».....	29
ВЕЧЕР Р.И., ШЕЙБАК М.Р. Влияние способа шлифования на величину остаточных напряжений закаленных сталей 14Х2Н3М и 20ХН3МА.....	31
ВЫСОЦКИЙ В.Т., ВЫСОЦКИЙ Т.В. Применение механического легирования для изготовления материалов на основе железного порошка.....	33
ГОРБУНОВ В.П., МЕДВЕДЕВ О.А., ОМЕСЬ Д.В. Анализ тепловых деформаций базовых элементов многоцелевого станка.....	34
ГРИГОРЬЕВ В.Ф., ДАКАЛО Ю.А. Прогнозный расчет ресурса изделий с линейными и угловыми звеньями.....	36
ГРОМЫКО П.Н., ДОКОНОВ Л.Г., ГОНЧАРОВ П.С. Основные направления совершенствования способов формообразования зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи (ППП).....	38
ДАНИЛОВ В.А., КИСЕЛЕВ Р.А., ЯЛОВСКИЙ О.В. Синтез схем формообразования пазов на торцах кольцевых деталей.....	40
ДОВГАЛЕВ А.М., СУХОЦКИЙ С.А. Моделирование магнитно-динамического инструмента для упрочняющей обработки плоских поверхностей.....	42
ЖОЛОбОВ А.А., ФЕДОРЕНКО А.М. Автоматизация расчета и назначения допусков на звенья размерной цепи.....	43

горения тлеющего разряда, соответствующие минимальному (рис. 2, б), среднему (рис. 2, в) и максимальному (рис. 2, г) значениям.

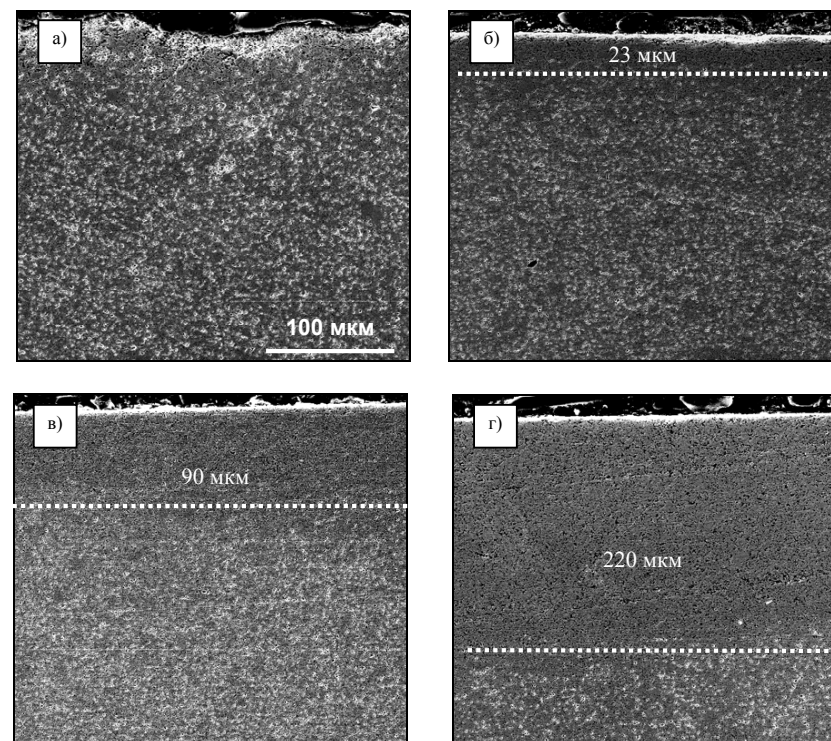


Рис. 2. Величина модифицированного слоя: а – исходное состояние; б – после обработки с удельной мощностью горения разряда $0,20 \text{ кВт/м}^2$; в – после обработки с удельной мощностью горения разряда $0,50 \text{ кВт/м}^2$; г – после обработки с удельной мощностью горения разряда $0,88 \text{ кВт/м}^2$

Можно отметить то, что величина глубины модифицированного слоя для одной и той же удельной мощности горения тлеющего разряда имеет различное значение по площади исследуемой поверхности твердосплавного образца, отличающееся от среднего в пределах 15...30 %, что свидетельствует о нелинейности протекающих процессов во время модифицирующей обработки.

Металлографический анализ при помощи электронной микроскопии пластин из твердого сплава ВК8 в состоянии поставки (рис. 3, а) свидетельствует о наличии в качестве твердой фазы карбида вольфрама (WC), со средней площадью фрагментов, равной $17,3 \text{ мкм}^2$, а в качестве связующего

компонента выступает кобальт (Co). Границы зерен карбидной фазы являются четкими, а зерна имеют сложную форму.

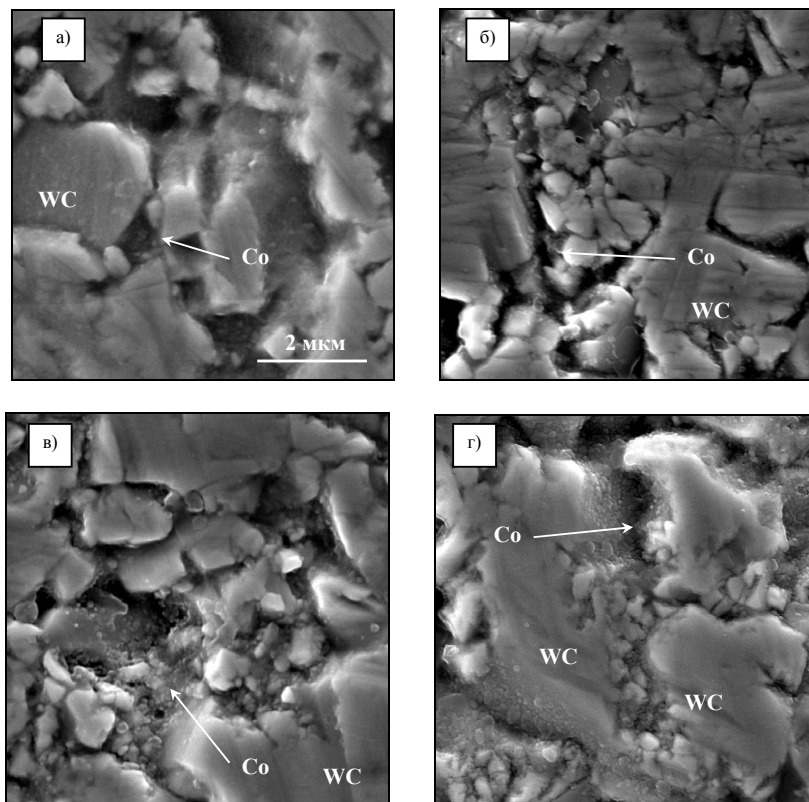


Рис. 3. Структура твердого сплава ВК8: а – исходное состояние; б – после обработки с удельной мощностью горения разряда $0,20 \text{ кВт/м}^2$; в – после обработки с удельной мощностью горения разряда $0,50 \text{ кВт/м}^2$; г – после обработки с удельной мощностью горения разряда $0,88 \text{ кВт/м}^2$

При исследовании пластин, подвергнутых модифицирующей обработке в тлеющем разряде, удалось выявить ряд изменений в структуре твердого сплава.

Данные изменения связаны с уменьшением размера зерен карбидной фазы: при обработке пластин с удельной мощностью горения тлеющего разряда $W = 0,20 \text{ кВт/м}^2$ средняя площадь зерна составляет $16,5 \text{ мкм}^2$ (рис. 3, б), при $W = 0,50 \text{ кВт/м}^2$ – $11,2 \text{ мкм}^2$ (рис. 3, в), а при значении $W = 0,88 \text{ кВт/м}^2$ – $15,2 \text{ мкм}^2$ (рис. 3, г).

УДК 621.9 ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ В КАЧЕСТВЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ

Д.И. ЯКУБОВИЧ

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

Постоянное развитие оборудования и технологических процессов нанесения прочных и износостойких покрытий дуговой наплавкой открывает новые возможности по применению специальных компонентов, входящих в их состав. Появляются предпосылки использования не только новых компонентов, но и введения их в сварочную ванну в модифицированном виде.

Использование литых порошков в качестве легирующих добавок при дуговой сварке и наплавке широко применяется на практике. При вводе таких частиц в сварочную ванну, как правило, происходит полное их расплавление в наплавляемом слое. Заменить их порошками, получаемыми механическим легированием при широко используемых технологиях наплавки не приводит к желаемым результатам. Основным препятствием в этом случае является их неравномерное распределение в наплавляемом слое или полное расплавление с потерей заданных свойств.

Практическое применение порошков полученных при помощи механического легирования мало изученный процесс.

Применением мощных высококонцентрированных источников нагрева приводящих к высоким скоростям плавления и кристаллизации металла можно сохранить свойства добавляемых частиц. Такие процессы позволяют формировать в объеме наплавленного шва аморфные или нанокристаллические структуры, которые в традиционных технологических процессах невозможно получить. При реализации данного подхода наплавленный слой можно рассматривать как композиционный, состоящий из прочных армирующих частиц и пластичной матрицы.

В наплавленном металле будет наблюдаться эффект модификации структуры. Кардинальные изменения структурно-фазового состояния наплавленных слоев могут обеспечивать улучшения механических и физических свойств металла. Поэтому данный метод модификации наплавленного слоя является перспективным направлением современного металловедения и дуговой наплавки.

пространенные в настоящее время монометалльные сиккативы на основе 2-этилгексанкарбоновой кислоты: октоат кобальта, марганца и свинца.

Влияние сиккативов на процессы формирования покрытий изучали по их степени отверждения, которую в свою очередь оценивали по изменению во времени относительной твердости и гель-фракции непигментированных покрытий. Сиккативы добавляли в количестве 0,25 % от массы алкидно-стирольной смолы (с учетом сухого остатка).

Непигментированные пленки с добавлением октоата кобальта в течение всего эксперимента имеют наилучшие показатели относительной твердости, причем через 2 суток твердость пленок с добавлением 0,25 % сиккатива составляет приблизительно 0,3 отн. ед. Активность октоата марганца и октоата свинца ниже. Через 2 суток твердость пленок с добавлением этих сиккативов не превышает 0,15 отн. ед. Пленки без добавления сиккативов характеризуются наименьшей твердостью на протяжении всего эксперимента (через 2 суток составляет примерно 0,05 отн. ед.).

В пленках с добавлением 0,25 % сиккативов оценивали содержание гель-фракций, по величине которых судили о нерастворимой части пленок, связанной в полимерную сетку.

Непигментированные покрытия с добавлением октоата свинца и без сиккативов через 48 часов имеют гель-фракции всего 3 %, а через 4 суток достигают соответственно 12 % и 4 %. Индукционный период октоата марганца составляет примерно 6 часов, к этому времени величина гель-фракции достигает 3 %, через 1 сутки возрастает до 50 %.

Пленки с октоатом кобальта уже через полчаса после нанесения имеют гель-фракцию 51 %. Это можно объяснить тем, что октоат кобальта инициирует не только распад гидроперекиси, но и влияет на поглощение кислорода, необходимого для протекания окислительно-полимеризационных процессов.

Проведенные исследования показали, что добавление сиккативов в алкидно-стирольный олигомер практически не сокращает время отверждения покрытий до 3 степени, но приводит к изменению кинетики их отверждения. Использование октоата кобальта в качестве первичного сиккатива позволяет получить покрытия с наибольшей твердостью, которые уже через полчаса после нанесения характеризуется высокой степенью сшивки. Таким образом, можно предположить, что на практике грунтовочные покрытия с добавлением в качестве первичного сиккатива октоата кобальта будут характеризоваться наибольшей степенью сшивки по сравнению с другими исследуемыми образцами.

Поэтому для получения покрытий с наилучшими физико-механическими и защитными свойствами, не изменяя технологии окрашивания, в рецептуре грунтовки ускоренной сушки необходимо использовать в качестве катализатора аутоокисления алкидно-стирольного олигомера октоат кобальта.

Помимо изменения размеров зерен карбида вольфрама было установлено, что модифицирующая обработка приводит к возникновению новых границ деления зерен твердой фазы (рис. 4), особенно после обработки в тлеющем разряде с удельной мощностью горения 0,50 кВт/м², а также к размытию межфазных границ.

Данное явление можно объяснить тем, что при обработке твердосплавной пластины в тлеющем разряде с удельной мощностью горения 0,50 кВт/м², внутреннее напряжение в рамках отдельных кристаллов вследствие возникновения колебаний в кристаллической решетке приводит к образованию плоскостных дислокаций.

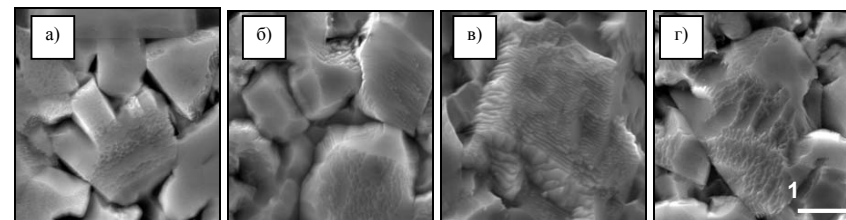


Рис. 4. Твердая фаза сплава BK8: а – исходное состояние; б – после обработки с удельной мощностью горения разряда 0,20 кВт/м²; в – после обработки с удельной мощностью горения разряда 0,50 кВт/м²; г – после обработки с удельной мощностью горения разряда 0,88 кВт/м²

Влияние модифицирующей обработки на структуру отдельных составляющих сплавов изучено методом рентгеноструктурного анализа. Анализу подвергались изменении дифракционных параметров линий кобальта, карбида вольфрама и хрома, возникающие под действием тлеющего разряда с различной удельной мощностью горения.

На рис. 5 представлен фрагмент дифрактограммы исходного образца сплава BK8.

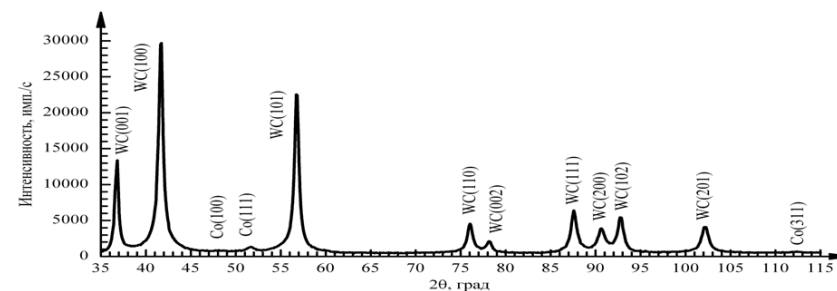


Рис. 5. Фрагмент дифрактограммы твердого сплава BK8 в исходном состоянии

При анализе полученной дифрактограммы исходного образца сплава ВК8 видно, что она содержит две системы отражений, одна из которых принадлежит карбиду вольфрама WC, другая – кобальту. Межплоскостные расстояния и распределение интенсивности регистрируемых линий WC, за исключением отражения (101), соответствуют данным стандартной картотеки PDF.

Дифракционные линии, принадлежащие кобальту, характеризуются низкой интенсивностью, что связано с относительно небольшим (8 масс. %) содержанием этого элемента в исследуемом материале. Поскольку кубической и гексагональной модификациям кобальта свойственны близкие по значению межплоскостные расстояния регистрируемых линий [3], то с учетом их низкой интенсивности сделать однозначный вывод о сингонии, присутствующей в исследуемом сплаве ВК8, проблематично. Для получения информации о структуре связи сплава ВК8 был проанализирован характер изменения дифракционных параметров линии (111) кобальта (рис. 6).

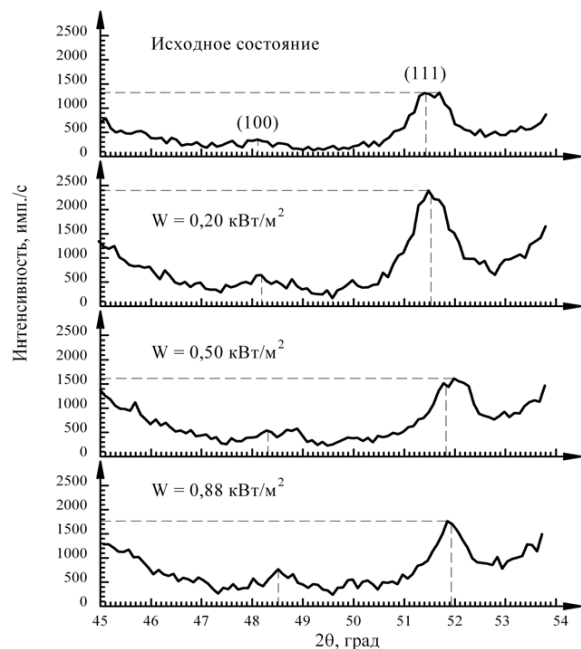


Рис. 6. Вид профиля линий (100), (111) кобальтовой связи в исходном состоянии и после модифицирующей обработки в тлеющем разряде с различной удельной мощностью горения

УДК 691.57

ВЛИЯНИЕ СИККАТИВОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ НОВОЙ АЛКИДНОЙ ГРУНТОВКИ

А.Л. ШУТОВА, И.К. ЛЕЩИНСКАЯ, Н.Р. ПРОКОПЧУК

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Машиностроительные заводы все больше обращают внимание на эмали и грунтовки с высокими физико-механическими показателями покрытий, формирование которых происходит в естественных условиях, что позволяет экономить энергоресурсы на стадии получения лакокрасочных покрытий. Ассортимент алкидных лакокрасочных материалов естественного отверждения достаточно широк, но время, необходимое для формирования покрытий, может достигать нескольких суток, что не позволяет использовать их в заводских условиях.

При отверждении алкидных покрытий непосредственное участие принимает кислород воздуха. На практике после нанесения грунтовочное покрытие находится на воздухе не более 30 минут, после чего покрывается несколькими слоями эмали, соответственно доступ кислорода, необходимого для формирования полного комплекса свойств ограничен, что приводит к недоотверждению грунтовочного покрытия и соответственно ухудшению его защитных свойств.

Разработанная новая алкидная грунтовка представляет собой суспензию антикоррозионных пигментов и наполнителей в алкидно-стирольном олигомере, с добавлением реологических добавок и сиккативов. Особое внимание при разработке рецептуры уделено выбору типа сиккативов и установлению специфики их поведения при отверждении алкидно-стирольного олигомера.

Алкидно-стирольный олигомер представляет раствор в ксилоле глифталевого алкида средней жирности модифицированного дегидратированным касторовым маслом и стиролом. Покрытия на основе используемого пленкообразователя отверждаются на воздухе не только за счет испарения растворителей, но и за счет окислительно-полимеризационных процессов, для ускорения которых и вводят катализаторы аутоокисления – сиккативы.

Особенностью алкидно-стирольного олигомера является то, что покрытия на его основе отверждаются до 3 степени на воздухе при 20 °С не более чем за 30 мин даже без использования сиккативов, а добавление последних существенно не сокращает время сушки. Но сиккативы влияют и на все свойства покрытий, поэтому необходимо учитывать их комплексное действие. В качестве первичных сиккативов использовали наиболее рас-

О.В. ШУМОВ

Учреждение образования

«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Новополоцк, Беларусь

При производстве синтетических волокон широко применяются детали, рабочие поверхности которых имеют форму цилиндрических отверстий (фильеры, форсунки, нитеведущие элементы и т.п.). Высокие требования к точности изготовления обуславливают высокую стоимость данных деталей и делают увеличение срока их службы актуальной задачей.

Увеличить срок службы таких деталей возможно путем нанесения гетерогенных гальванических покрытий на основе никеля, легированных различными элементами – фосфором, цинком, оловом и т.д. Таким образом, задачей данного исследования является разработка технологии получения износостойких гальванических покрытий на основе никеля.

Повысить износостойкость защитных покрытий возможно за счет повышения твердости и прочности сцепления с основой, снижения коэффициента трения и т.д. Для этого была разработана технология получения износостойких гальванических покрытий на поверхности цилиндрических отверстий диаметром 1,6...2,5 мм. Технология включает осаждение гальванических никелевых покрытий с легкоплавкими включениями и последующую термическую обработку. При этом эксплуатационные свойства покрытий улучшались за счет:

- подготовки упрочняемой поверхности и низкотемпературной термической обработки, обеспечивающих образование переходного диффузионного слоя и увеличение прочности сцепления покрытия с основой;
- легирования гальванических никелевых покрытий при термической обработке легирующими элементами легкоплавких включений и образования твердых растворов и упрочняющих фаз (фосфидов, карбидов, нитридов и т.п.), обеспечивающих увеличение твердости покрытий;
- образования антифрикционных фаз (фосфатов, цинкатов, фосфидов), обеспечивающих уменьшение коэффициента трения покрытий.

Для оценки технологии на образцы из стали 10 были осажжены гальванические никелевые покрытия с включениями и подвергнуты отжигу при температуре 400...700 °С в течение 0,5...1,5 ч. В результате испытаний было установлено, что максимальную износостойкость (в среднем в 3,4 раза выше, чем закаленной стали 45) имеют образцы, подвергнутые отжигу в течение 0,75 часа при температуре 625 °С.

Таким образом, была разработана технология получения износостойких гальванических покрытий на основе никеля на рабочих поверхностях, имеющих форму цилиндрических отверстий.

Из сравнения данных, представленных на рис. 6, следует, что профиль линии (111) неоднороден, что особенно характерно для исходного образца и образца, обработанного разрядом с удельной мощностью горения 0,50 кВт/м². Можно полагать, что он представляет собой наложение двух профилей отражений – линий (111) кубической и гексагональной сингонии кобальта. Судя по регистрируемым угловым положениям линии (111) исходного образца, можно полагать, что найденное межплоскостное расстояние линии (111), равное 0,2064 нм, соответствует кобальту с кубической решеткой K12 типа Fm3m, а d/n = 0,2053 нм – гексагональной Г12 типа P64/mmc (рис. 7).

Для исходного состояния отмечается также достаточно большая размытость профиля – величина β в этом случае достигает наибольшего значения. Отметим, что межплоскостное расстояние d/n линии (111) обеих модификаций кобальта заметно превышает табличное значение. Период решетки кубической сингонии кобальтовой связки в исходном состоянии равен $a = 0,3579$ нм.

Обработка исходного образца в тлеющем разряде с удельной мощностью горения 0,20 кВт/м² приводит, с одной стороны, к некоторому сужению профиля линии (111), о чем свидетельствует уменьшение физического уширения до $\beta = 16,5 \cdot 10^{-3}$ рад, с другой, к смещению ее углового положения в сторону больших углов рассеяния 2θ . Как следствие, регистрируется снижение d/n линий (111) и уменьшение периода решетки до 0,3577 нм. Кроме того, профиль линии в этом случае достаточно симметричен относительно максимального углового положения линии (111).

Заметная неоднородность профиля линии вновь регистрируется для образца, прошедшего обработку в разряде с удельной мощностью горения 0,50 кВт/м². В этом случае среднее значение d/n составляет 0,2042 нм, для кубической модификации – 0,2049 нм. Для гексагонального кобальта d/n = 0,2036 нм и практически соответствует ее табличному значению, равному 0,2037 нм, что непосредственно следует из резкого смещения углового положения линии (111) в сторону больших углов рассеяния в случае образца, обработанного в тлеющем разряде с удельной мощностью горения 0,50 кВт/м². При этом значение постоянной решетки составляет 0,3556 нм, величина $\beta = 17,3 \cdot 10^{-3}$.

Что же касается образца, обработанного в тлеющем разряде с удельной мощностью горения 0,88 кВт/м², то энергия воздействующего на него тлеющего разряда приводит к заметному изменению профиля линии (111), здесь он достаточно симметричен, d/n составляет 2,0420 нм, что соответствует кубической сингонии кобальта [3]. Уширение профиля линии в этом случае наименьшее – β уменьшается до $11,6 \cdot 10^{-3}$ рад. Этот эффект позволяет сделать заключение о снижении искажений кристаллической решетки кобальта под

воздействием тлеющего разряда и превращении его гексагональной сингонии в кубическую (или ее преимущественном наличии).

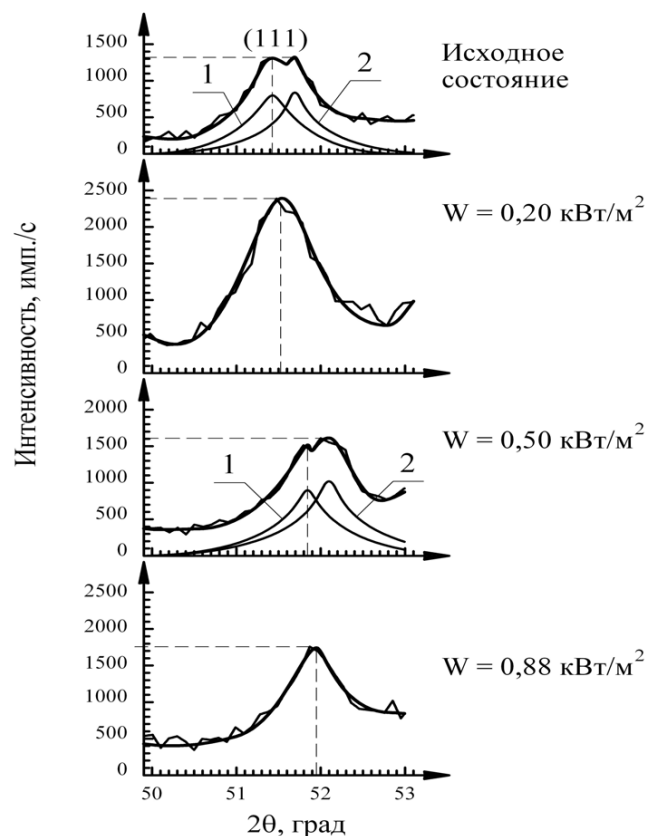


Рис. 7. Разложение профиля отражения линии (111) кобальта на кубическую и гексагональную сингонии: 1 – отражение кубической решетки K12; 2 – отражение гексагональной решетки Г12

Из проведенных оценок, размер фрагментов кобальтовой связки в поверхностных слоях во всех случаях соответствует наноуровню. Наименьший размер (10 нм) фрагментов имеет место в исходном состоянии ВК8, наибольший (17 нм) – в случае обработки в тлеющем разряде с удельной мощностью горения $0,88 \text{ кВт/м}^2$, промежуточное значение (12 нм) соответствует образцам, обработанным в тлеющем разряде с удельными мощностями горения с энергиями $0,20$ и $0,50 \text{ кВт/м}^2$.

– высокая коррозионная стойкость в среде масла с кислотами.

В работе исследовалось влияние различных технологических факторов (температура, продолжительность обработки, состав насыщающей среды и т.д.) на триботехнические и эксплуатационные свойства деталей узлов трения из безоловянистых бронз с термодиффузионными покрытиями.

Предложена технология нанесения термодиффузионного покрытия на поверхности сложного геометрического профиля, обеспечивающая повышение износостойкости при трении скольжении при удельных нагрузках до 10 МПа и окружной скорости до 5 м/с на $30 \dots 40 \%$.

Проведенные промышленные испытания на гайках ходовых винтов автоподъемника в количестве 10 шт. на транспортной службе МКУП ЖРЭО г. Новополюцка, изготовленных из бронзы БрОЦС4-4-5, показали увеличение срока службы в $1,27 \dots 1,36$ раза.

О.П. ШТЕМПЕЛЬ, С.Ф. ДЕНИСЁНОК
Учреждение образования
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Новополоцк, Беларусь

Особое место в промышленности Республики Беларусь отводится ресурсосберегающим технологиям, связанных с улучшением качества антифрикционных материалов, предназначенных для работы в тяжело нагруженных узлах трения скольжения. Даже незначительные снижение сил трения и повышение износостойкости позволяют в целом по стране получить ощутимый выигрыш за счет уменьшения энергоемкости оборудования и повышения ресурса машин.

Широкое применение при больших удельных давлениях и скоростях скольжения получили дорогостоящие оловянистые бронзы, обладающие высоким комплексом триботехнических характеристик. Однако, в связи с отсутствием собственной сырьевой базы в республике, становится актуальным вопрос о замене дорогостоящих материалов на основе меди, олова более дешевыми, без существенного снижения эксплуатационных свойств.

Цель работы – повышение комплекса триботехнических характеристик безоловянистых бронз методом термодиффузионного насыщения поверхностного слоя.

Для достижения поставленной цели были проанализированы условия достижения высокой износостойкости оловянистых бронз:

- структура оловянистой бронзы состоит из мягких дендритов α -твердого раствора, богатого медью, и твердых междендритных пространств, богатых оловом, с участком эвтектоида. При работе детали вязкая часть структуры изнашивается быстрее, образуя на поверхности мельчайшие каналы, по которым циркулирует смазка. А твердые прослойки интерметаллида $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ служат опорой. Такая структура соответствует структуре Шарпи 1 типа;

- хорошая теплопроводность, обеспечивающая отвод тепла от поверхности трения;

- высокие механические свойства при рабочих температурах особенно предел выносливости, а также достаточная твердость, износостойкость и высокое значение предела прочности на сжатие;

- низкий модуль упругости, обеспечивающий возможность передачи нагрузки на большую поверхность и удаления мельчайших частиц из зазора между валом и подшипником.

Из выполненного анализа профиля линии (112) карбида вольфрама (рис. 8) для всех исследованных образцов, межплоскостное расстояние этой линии сохраняется постоянным и равным $0,1016 \text{ нм}$, что соответствует литературным данным [3]. Напротив, обработка поверхности образцов оказывает влияние на уширение линии (112). При этом наибольшее значение β регистрируется у исходного образца и составляет $26,1 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$. Воздействие на образец тлеющего разряда с удельной мощностью горения $0,20 \text{ кВт/м}^2$ сопровождается сужением линии – здесь $\beta = 23,4 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$. Обработка приповерхностных слоев образцов в тлеющем разряде с удельной мощностью горения $0,50$ и $0,88 \text{ кВт/м}^2$ также по сравнению с исходным образцом приводит к дальнейшему уменьшению ширины линии (112) WC. В первом случае $\beta = 21,5 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$, во втором – $20,5 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$.

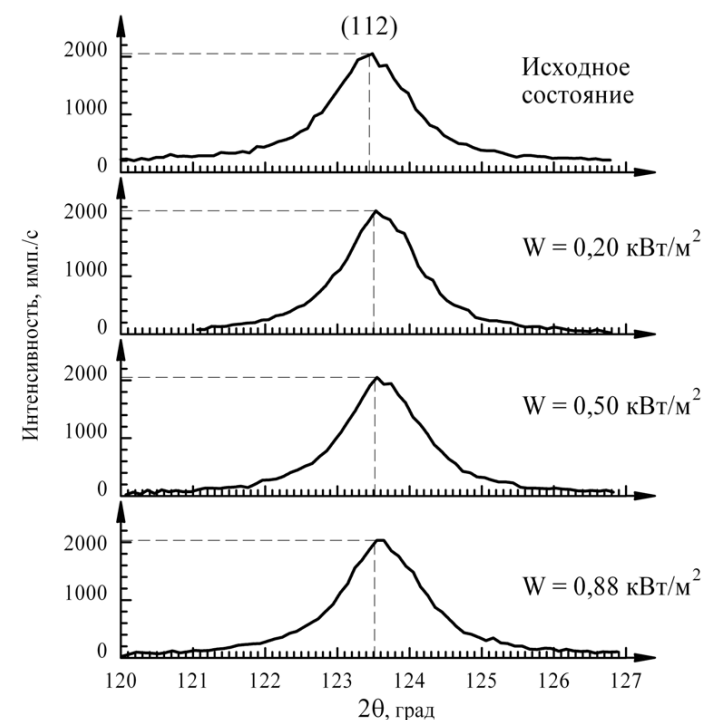


Рис. 8. Вид профиля линии (112) карбида вольфрама в исходном состоянии и после модифицирующей обработки в тлеющем разряде с различной удельной мощностью горения

Проведенный рентгеноструктурный анализ сплава GIALLOY PACO-CR (EN ISO 6871-1/6871-2) с массовой долей Co 64 % подтвердил механизмы структурно-фазовых превращений, протекающих в поверхностном слое. Результаты проведенных исследований представлены на рис. 9.

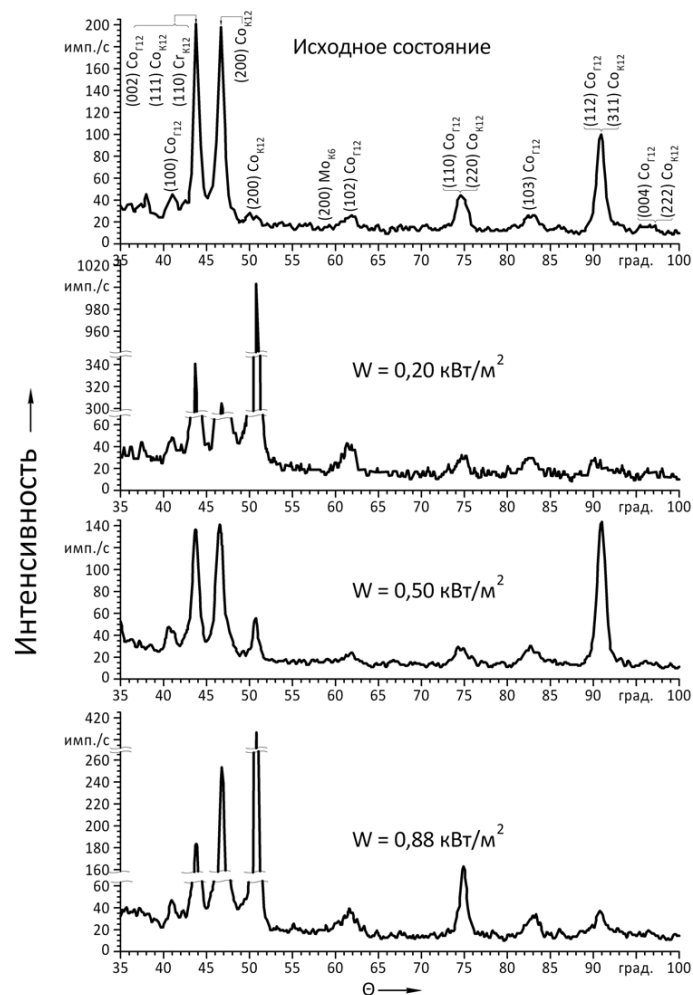


Рис. 9. Фрагменты дифрактограммы GIALLOY PACO-CR (EN ISO 6871-1/6871-2) в исходном состоянии и после модифицирующей обработки в тлеющем разряде с различной удельной мощностью горения

УДК 621.914.2:669

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ОБРАБОТКОЙ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

В.М. ШЕМЕНКОВ, Г.Ф. ЛОВШЕНКО

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Минск, Беларусь

Обработка кобальтсодержащих твердых сплавов в тлеющем разряде, возбуждаемом в среде остаточных атмосферных газов давлением 1,33...13,33 Па, напряжением горения 1...3 кВ при плотности тока 0,05...0,5 А/м² обеспечивает формирование уникальных структурно-фазовых состояний в их приповерхностных слоях, а также широкий масштаб модификации структуры. Это приводит к изменению макросвойств и определяет эксплуатационное поведение в условиях трибомеханического нагружения.

Для установления закономерностей и механизмов структурно-фазовых превращений, протекающих в поверхностном слое при обработке в тлеющем разряде с различными энергетическими характеристиками были проведенные исследования на партии пластин твердого сплава ВК8 (ГОСТ 3882-74) с массовой долей Co 8 % и сплава GIALLOY PACO-CR (EN ISO 6871-1/6871-2) с массовой долей Co 64 %.

Влияние модифицирующей обработки на структуру отдельных составляющих сплавов исследовано методом рентгеноструктурного анализа, выполненного с помощью дифрактометра ДРОН-3М. Анализ подвергались изменения дифракционных параметров линий кобальта, карбида вольфрама и хрома, возникающие под действием тлеющего разряда с различной удельной мощностью горения.

Характер изменения дифракционных параметров линий (101) и (200) кобальта свидетельствует о протекании в процессе модифицирующей обработки полиморфном превращении α -Co $\rightarrow$ β -Co, а изменение дифракционных параметров линий (101) и (112) – о переориентации кристаллитов α -Co.

Установлено, что с ростом удельной мощности горения тлеющего разряда происходит рост фрагментов кобальтовой связи, что в свою очередь приводит к повышению ее вязкости. Также с ростом энергетических параметров разряда происходит снижение плотности дислокаций, как в твердой фазе, так и в связке.

Изменение физического уширения и интенсивности дифракционных линий Co, WC и Cr подтверждает, что воздействие тлеющего разряда приводит к уменьшению искажений как в связующем материале, так и в твердой фазе сплавов.

торного масла МС-20. Путь трения составлял 2500–4500 м. Величина линейного износа материала покрытия измерялась с помощью метода искусственных баз. Углубления на поверхности исследуемых образцов наносились с помощью прибора для испытаний линейного износа и не превышали 0,2 мкм. Измерение величины износа контртела осуществлялось по потере веса при испытаниях. С поверхности образцов контртела перед взвешиванием спиртом удалялись продукты изнашивания, затем образцы промывались, протирались и просушивались в сушильном шкафу при температуре ~ 100 °С. После высушивания образцы взвешивались на аналитических весах АДВ-200М. Перед испытаниями образцы и контртелo шлифовались на абразивной бумаге с мелким зерном Л254С10П.

В табл. 1 приведены основные результаты триботехнических измерений совместно с измеренной твердостью.

Табл. 1. Значения триботехнических характеристик восстановленных поверхностей

Вид восстановления	Работочный ток, А	Твердость покрытия HV, МПа	Интенсивность линейного изнашивания, I_h	Интенсивность весового изнашивания контртела, I_q , 10^{-2} мг/м	Коэффициент трения f
<i>Основа</i>	-	2350	$1,04 \times 10^{-8}$	0,7	0,15-0,17
<i>ЭДН</i>	100	4670	$0,80 \times 10^{-9}$	3,6	0,20-0,35
	140	2600	$3,12 \times 10^{-9}$	9,7	0,12-0,13
	160	2420	$3,38 \times 10^{-9}$	8,3	0,15-0,17
<i>СГТН</i>	150	4750	$4,80 \times 10^{-9}$	1,5	0,11-0,12
	250	5230	$1,45 \times 10^{-9}$	7,9	0,12-0,16
	300	5250	$0,83 \times 10^{-9}$	0,2	0,06-0,08

Общая картина триботехнических характеристик пар трения.

1. Триботехнические характеристики существенно зависят от вида и технологических режимов восстановления, причем существуют их оптимальные сочетания.

2. Физико-механические свойства восстановленного слоя значительно превышают аналогичные характеристики основы вала.

3. Поведение коэффициента трения f для восстановленных поверхностей имеет сложный характер. В целом, имея примерно одинаковое его значение по сравнению с основой в первоначальный период, f может в 1,5–2 раза возрастать при дальнейшей эксплуатации. Наблюдается импульсное (неравномерное) изменение коэффициентов трения практически во всех интервалах испытаний.

4. Существуют режимы минимального износа контртела (вкладышей).

Характер изменения параметров дифракционных линий (002) и (200) кобальта свидетельствует о протекании в процессе модифицирующей обработки полиморфного превращения α -Co $\rightarrow$ β -Co и β -Co $\rightarrow$ α -Co, а изменение параметров дифракционных линий (002), (110) и (112) – о переориентации кристаллов α -Co.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ходырев, В. И.** Прогрессивные электрофизические методы упрочнения твердосплавного инструмента / В. И. Ходырев, А. Ф. Короткевич, В. М. Шеменков // Электромеханика, приборостроение и информатика. – 2002. – №2. – С. 159–163.
2. **Шеменков, В. М.** Структурные изменения в поверхностных слоях однокарбидных твердых сплавов при их обработке в тлеющем разряде / В. М. Шеменков, Г. Ф. Ловшенко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – №26. – С. 121–130.
3. **Горелик, С. С.** Рентгенографический и электронно-оптический анализ : учеб. пособие для вузов / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев – 4-е изд. доп. и перераб. – М.: МИСИС, 2002. – 360 с.: ил.

Г.М. АЙРАПЕТЬЯНЦ, М.М. КОЖЕВНИКОВ

Учреждение образования

«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»

Могилев, Беларусь

В работе предложена методика выбора каналов управления вакуум-выпарными установками основанная на линеаризации динамических моделей. Однокорпусная вакуум-выпарная установка проанализирована как объект автоматического управления. В ходе проведенного анализа выделены каналы внесения возмущающих воздействий и получены передаточные функции, позволяющие выбрать каналы управления и определить законы регулирования температуры и вакуума, а также найти оптимальные параметры настройки автоматических регуляторов для различных режимов работы вакуум-выпарных установок.

В молочной промышленности молоко консервируют, вырабатывая сгущенные молочные консервы и сухие молочные продукты. Основной технологической операцией при этом является сгущение молока методом выпаривания до определенного содержания сухих веществ. Выпаривание производится в выпарных аппаратах при разрежении, что позволяет вести процесс на пониженных температурах (40–60 °C). Процесс сгущения при этом протекает более интенсивно, а съем пара с единицы поверхности нагрева намного выше по сравнению с атмосферным выпариванием.

Для автоматического регулирования температуры и глубины вакуума в вакуум-выпарных установках, используемых на предприятиях молочной промышленности, широкое распространение получили системы управления, разработанные производителями этих установок, такими как Wiegand, Alfa-Laval, Ebbot Laboratories и др., а также всероссийским научно-исследовательским институтом молочной промышленности. Эти системы включают в себя локальные контуры регулирования температуры, вакуума и концентрации сухих веществ в сгущенном молоке. В качестве устройств управления применяются цифровые ПИД - регуляторы, параметры настройки которых определяются по упрощенным динамическим моделям выпарного аппарата и конденсатора.

Необходимо отметить, что основным недостатком таких упрощенных динамических моделей является то, что они не учитывают возможность изменения расхода и температуры продукта на входе в вакуум-выпарной аппарат, а также изменение вакуумметрического давления. Это приводит к

Ю.В.ХЛОПКОВ

Государственное научное учреждение

«ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКИ НАН Беларуси»

Витебск, Беларусь

В связи с имеющимся большим парком изношенной автотракторной техники оптимизация технологических процессов ее восстановления является актуальной научно-практической задачей.

В настоящей работе приведены результаты триботехнических испытаний восстановленных поверхностей коленвалов тракторов. Именно они наиболее полно отвечают прогнозируемой надежности и долговечности трущихся высоконагруженных изделий.

Нанесение восстанавливаемых покрытий производилось на шейки коленвалов тракторов в различных технологических режимах. Материал валов – сталь 40.

Восстановление производилось двумя типами установок, наиболее распространенных на практике и находящихся в серийной эксплуатации на Витебском мотороремонтном заводе.

1. Модернизированная установка электродуговой наплавки УПС-301 с подачей проволоки СВ15ГСТЮ и порошка НП-Н77Х17С4Р4 с содержанием 20–25 % проволоки и остальное порошок (ЭДН). Рабочая среда – аргон.

2. Модернизированная установка сверхзвукового электрогазотермического напыления АМД-10 с подачей порошка ПГСР-4 (СГТН). Рабочий газ – пропан-бутан.

Оба метода восстановления являются конкурирующими и дополняющими друг друга.

Методом холодного отрезания из восстановленных валов формировались образцы для измерений в конечный размер 5х5х8 мм. Толщина покрытия на поверхности образца составляла $\delta \approx 1,5\text{--}2$ мм.

Триботехнические испытания образцов покрытий проводились на трибометре АТВП, оснащенный специально разработанным устройством для измерения коэффициента трения. Испытания осуществлялись по схеме возвратно-поступательного движения контактирующих тел при средней скорости их взаимного перемещения $\approx 0,1$ м/сек. Контртело в виде пластины с размерами 90х30х3 мм изготавливалось из наружного кольца подшипника скольжения с антифрикционным слоем толщиной около 1 мм. Испытания проводились при номинальном давлении 10 МПа в среде мо-

в условиях аналогичных течению вязкой жидкости с твердыми включениями.

Характерной структурной особенностью пластической деформации ДУМ является то, что в ее процессе размер и форма зерен не изменяется. Постоянной остается и плотность дислокаций, не образуются полосы скольжения, не формируются сложные дислокационные структуры внутри зерен (диполи, петли, дислокационные стенки), т.е. не наблюдается деформационного упрочнения. Это свидетельствует о том, что внутри зерен не работают источники Франка-Рида. Эти структурные свойства, присущие разработанному материалу, обусловлены специфическим механизмом деформации, – зернограничным проскальзыванием. Границы зерен являются стоками для дислокаций. При этом дислокации скользят от одной границы к другой, не пересекаясь друг с другом. Поэтому не происходит образования сложных дислокационных структур, что обеспечивает отсутствие деформационного упрочнения. Поле напряжений, возникающее у границы зерен, приводит к превращению дислокации в зернограничную за счет локального переползания. Затем происходит переползание зернограничных дислокаций, которое приводит к зернограничному проскальзыванию – смещению зерен относительно друг друга. Таким образом, зернограничное проскальзывание – это эффективный механизм аккомодации зерен и "залечивания" несплошностей, который обеспечивает сохранение размера и формы зерен при пластической деформации. Предложен механизм пластической деформации в условиях всестороннего неравномерного сжатия применительно к композиционным материалам с микрокристаллическим размером зерна, которые содержат дисперсные частицы упрочняющей фазы как внутри зерен, так и по их границам. Если скользящая дислокация натывается внутризеренное включение, ее скольжение тормозится и образуется скопление дислокаций возле границы с частицей. Это приводит к возникновению локальных напряжений, и дислокации начинают огибать включения за счет переползания, выходя далее на границу зерен. В остальном механизм зернограничного проскальзывания соответствует описанному выше. В материалах с нанокристаллической матрицей возможно проскальзывание отдельных групп нанозерен относительно других по механизму, аналогичному вышеизложенному, при этом внутри самой группы деформация отсутствует. Подтверждением этой важной особенности материала является то, что во-первых, он проявляет более высокую пластичность, чем любые медные сплавы при холодной деформации в условиях всестороннего сжатия, а во-вторых, что плотность дислокаций и размеры и форма зерен практически не меняются.

Эти особенности материала необходимо учитывать при разработке технологии обработки давлением (например, при выдавливании глубоких отверстий не требуются дополнительные переходы и промежуточные рекристаллизационные отжиги).

тому, что при колебаниях нагрузки выпарного аппарата для поддержания необходимой температуры кипения молока на заданном уровне необходимо корректировать параметры настройки автоматических регуляторов температуры и вакуума. Корректировка параметров осуществляется технологическим персоналом методом проб и ошибок. Такой подход приводит к повышенным тепловым нагрузкам при форсировании тепловых процессов и, как следствие, к неэффективному использованию теплоносителей.

Целью данной работы является выбор каналов управления однокорпусной вакуум-выпарной установкой на основе линеаризации ее динамической модели. Для этого вакуум-выпарная установка проанализирована, как многомерный объект автоматического управления, выполнена линеаризация ее динамической модели и получены передаточные функции, которые позволяют выделить искомые каналы управления. В отличие от известных, предложенный подход позволяет учесть колебания расхода и температуры продукта на входе в вакуум-выпарной аппарат, а также изменение вакуумметрического давления. Предложенная линеаризованная модель может быть использована для синтеза комбинированных систем регулирования температуры и вакуума, а также для определения оптимальных настроек автоматических регуляторов. Применение таких систем в практике регулирования позволит повысить эффективность использования теплоносителей в вакуум-выпарной установке.

Предложенная методика позволила выбрать ряд новых каналов управления процессом выпаривания, которые позволяют вводить корректирующие контуры регулирования. К этим каналам относятся:

- канал регулирования концентрации с коррекцией по расходу молока;
- канал регулирования концентрации с коррекцией расхода сокового пара;
- канал регулирования температуры молока с коррекцией по расходу молока;
- канал регулирования температуры молока с коррекцией по расходу сгущенного молока;
- канал регулирования глубины вакуума с коррекцией по температуре сокового пара в конденсаторе;
- канал регулирования вакуума с коррекцией по расходу кислорода.

Реализация таких каналов управления в системе АСУТП вакуум-выпарной установки позволит повысить качество регулирования процесса и эффективность использования теплоносителей путем учета колебаний расхода и температуры молока на входе в выпарной аппарат, а также учета изменений глубины вакуума.

УДК 641.526.7

ОБЖАРОЧНЫЙ АППАРАТ РОТАЦИОННОГО ТИПА С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ВЫТЕСНИТЕЛЕМ

А.В. АКУЛИЧ, А.В. БУГЛАК, А.В. ФЛЕРКО

Учреждение образования

«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»

Могилев, Беларусь

В настоящее время в различных отраслях промышленности широко используют обжарку при обработке многих пищевых продуктов для придания им соответствующего аромата, цвета и структуры. В кондитерской промышленности Республики Беларусь этот процесс применяется для обжарки какао-бобов, арахиса, миндаля, фундука, семечек, солода и других продуктов.

Известно широкое многообразие оборудования для обжарки сыпучих материалов, которое отличается как своим конструктивным исполнением, так и видом используемого теплоносителя. Наиболее широкое распространение получили аппараты с вращающимся барабаном, в котором происходит передача тепловой энергии и перемешивание обрабатываемого материала. От конструктивных особенностей оборудования зависит эффективность данных процессов.

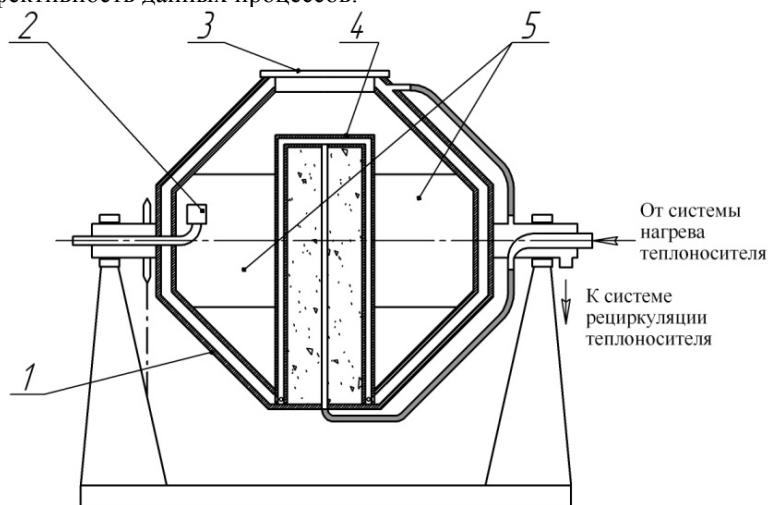


Рис. 1. Обжарочный аппарат с цилиндрическим вытеснителем

УДК 621.762

МЕХАНИЗМ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННОЙ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ МЕДИ

А.И. ХАБИБУЛЛИН, Ф.Г. ЛОВШЕНКО, *Г.Ф. ЛОВШЕНКО, **Б.Б. ХИНА,
В.Ф. ПАЦЕЙ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Государственное научное учреждение

«ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАН Беларуси»

Могилев, Минск, Беларусь

Для крупносерийного и массового производства жаропрочных изделий электротехнического назначения большое значение имеет способность материала подвергаться обработке давлением.

Был проведен ряд высокотемпературных испытаний механически легированной дисперсно-упрочненной меди (ДУМ) и типовых промышленных медных сплавов. Из анализа результатов испытаний можно сделать ниже следующие выводы.

1. Пластичность ДУМ не зависят от температуры.

2. Сопротивление деформированию у него значительно выше, чем у медных сплавов при любых температурах, что объясняется наличием микроструктурной матрицы с развитой поверхностью границ зерен, стабилизированных дисперсными включениями.

3. Степень упрочнения при любых температурах остается на постоянном низком уровне (около 1,03), т.е. наблюдается практическое отсутствие наклепа в процессе деформации. Это явление обусловлено тем, что скопление дислокаций у многочисленных препятствий подавляет деятельность источников размножения дислокаций, поэтому плотность дислокаций до и после деформации остается неизменной.

4. Обработку давлением необходимо производить в условиях неполной холодной деформации (при температурах 800–600 °С).

В результате исследований был установлен механизм пластической деформации в условиях всестороннего сжатия, который имеет важные особенности, обусловленные микроструктурой. При деформировании сплавов с размером зерен около 1 мкм действие механизмов внутризеренных деформаций затруднено. Поэтому, наибольший вклад в пластическую деформацию ДУМ вносит межзеренный механизм. Согласно модели Эшби-Веррала мелкие округлые зерна находятся среди толстых межзеренных прослоек, имеющих аморфное строение, что облегчает их проскальзывание

УДК 621.762
МЕХАНИЗМ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ, ПРОИСХОДЯЩИХ
В ПРОЦЕССЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНО-
УПРОЧНЕННОЙ МЕДИ В ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

А.И. ХАБИБУЛЛИН, Ф.Г. ЛОВШЕНКО, *Г.Ф. ЛОВШЕНКО, **Б.Б. ХИНА,
В.Ф. ПАЦЕЙ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Государственное научное учреждение
«ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАН Беларуси»
Могилев, Минск, Беларусь

Состав разработанной ранее базовой композиции включал в себя 0,8 % Al и 0,7 % O, вводимого с порошкообразными оксидами CuO (2,5 %) и MoO₃ (0,8 %). При условии полного взаимодействия между порошкообразными компонентами в процессе механического легирования должно образовываться 1,5 % оксида алюминия. Но, в реальности, полноты протекания реакций не наблюдается и около 0,15 % оставшегося алюминия растворяется в матрице. Так как образование твердого раствора приводит к значительным искажениям кристаллической решетки, а электропроводность является структурно чувствительной характеристикой, то наблюдается резкое снижение электропроводности (до 65 % от меди).

Для окисления алюминия, перешедшего в твердый раствор и повышения электропроводности механическое легирование, в данной работе, производилось в окислительной газовой среде N₂O, с различным избыточным давлением.

Результаты экспериментов позволили установить механизм фазовых превращений, происходящих в процессе механического легирования в окислительной газовой среде и последующего отжига:

- 1) растворение алюминия в медной основе;
- 2) окисление меди кислородосодержащей газовой фазой и, наконец;
- 3) последующее внутреннее окисление алюминия, вызывающее образование наноразмерных включений оксидов и нитридов.

Было установлено, что при обработке шихты в атмосфере N₂O с оптимальным избыточным давлением электропроводность материала по сравнению с результатами, полученными при обработке в изолированной среде, повысилась на 10 %. В работе было определено влияние условий обработки шихты на свойства гранулированной композиции, ее структуру и процесс гомогенизации, а также была произведена оптимизация режимов механического легирования и количества окислительной газовой среды. Параметрами оптимизации являлись предел прочности при растяжении и удельное электросопротивление.

В работе разработан обжарочный аппарат ротационного типа с цилиндрическим вытеснителем (рис. 1). Он содержит барабан 1 с рубашкой, выполненный в виде усеченных конусов, сочлененных большими основаниями с цилиндром, трубу 2 для отвода пара, устройство 3 для загрузки и выгрузки, систему нагрева теплоносителя. Барабан приводит во вращение привод, состоящий из мотор-редуктора и цепной передачи. Отличительной новизной разработанного обжарочного аппарата является наличие вытеснителя 4, выполненного в виде цилиндра с рубашкой и пластинами 5.

Установка цилиндрического вытеснителя с пластинами позволяет значительно повысить эффективность процесса тепловой обработки зернистых материалов. Это достигается за счет увеличения поверхности теплообмена, что приводит к уменьшению времени разогрева и тепловой обработки, а также, вследствие вытеснения части объема материала к обогреваемой внутренней поверхности камеры аппарата. В результате вращения барабана с вытеснителем и пластинами достигаются высокие сдвиговые характеристики в объеме материала за счет изменения его формы, приводя к интенсификации процесса перемешивания, максимально исключая застойные зоны.

В программе Solid Works 2007 рассчитана поверхность теплообмена для различных объемов заполнения камеры материалом. Каждая загрузка характеризуется коэффициентом заполнения, равного отношению объема заполнения камеры материалом к объему рабочей камеры аппарата. Поверхность теплообмена отнесена к объему заполнения и представлена в виде удельной поверхности теплообмена. Результат расчета показал, что выполнение аппарата с цилиндрическим вытеснителем увеличивает удельную поверхность теплообмена более чем на 30 % для всех коэффициентов заполнения.

Разработанная конструкция обжарочного аппарата позволяет существенно увеличить поверхность теплообмена и повысить эффективность тепловой обработки.

УДК 621.928.9
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
КОМБИНИРОВАННОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ С ЗЕРНИСТЫМ СЛОЕМ

А.В. АКУЛИЧ, В.М. ЛУСТЕНКОВ, *Н.В. КОНДРИКОВ, А.А. АКУЛИЧ
Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»

*Белорусский государственный концерн пищевой промышленности
«БЕЛГОСПИЩЕПРОМ»
Могилев, Минск, Беларусь

Решение проблемы охраны окружающей среды от твердых мелкодисперсных выбросов предприятиями пищевой промышленности возможно путем внедрения высокоэффективного пылеулавливающего оборудования. Однако повышение эффективности улавливания пылеуловителей связано с ростом их гидравлического сопротивления, а следовательно – энергетических затрат.

В настоящее время авторами проводятся исследования в области разработки высокоэффективного комбинированного пылеулавливающего оборудования при снижении гидравлического сопротивления за счет объединения нескольких способов, в частности, центробежной очистки на основе вихревых потоков и различных способов фильтрования. В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований гидродинамики комбинированного пылеуловителя с зернистым слоем (КПЗС), в энергетическом поле которого осуществляется центробежное отделение взвешенных частиц в системе двух взаимодействующих потоков, закрученных в одном направлении и движущихся навстречу друг другу с последующей доочисткой газа фильтрованием через зернистый слой, образованный различными мелкодисперсными материалами.

На основе уравнения энергетического баланса потоков, подаваемых в комбинированный пылеуловитель с зернистым слоем, в общем виде получено уравнение для определения его гидравлического сопротивления, которое включает потери давления периферийного (ΔP_1) и центрального (ΔP_2) потоков запыленного газа на стадии центробежной очистки и потери давления на стадии фильтрования (ΔP_3):

$$\Delta P = \Delta P_1 \cdot k + \Delta P_2 \cdot (1 - k) + \Delta P_3, \quad (1)$$

где $k = V_1/V_0$ – кратность расходов; V_1 – объемный расход периферийного потока газа; V_0 – общий объемный расход газа через аппарат.

УДК 621.9
ВЫБОР ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ
ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ
ВОЛОЧИЛЬНЫХ МАШИН

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

На территории Республики Беларусь работают 10 кабельных заводов, 8 из которых занимаются производством, связанным с получением медной проволоки. На них размещено оборудование, позволяющее получать провод диаметром от нескольких миллиметров до десятых долей миллиметра.

Наиболее быстрому износу подвергаются детали, по поверхности которых медный провод идет с натягом и некоторым проскальзыванием (ролики, бандажки, конуса и т.д.).

Исследования литературных источников показали, что современные западные производители машин для волочения ряд быстроизнашивающихся деталей изготавливают из спеченной керамики на основе Al_2O_3 с небольшими добавками других элементов.

Детали для машин, выпущенных в 70-х – 90-х годах прошлого века уже не производятся, поэтому кабельные заводы вынуждены изготавливать их самостоятельно из стали ШХ15 с последующей термообработкой. Стойкость таких деталей сравнительно низкая и составляет от нескольких недель до нескольких месяцев в зависимости от условий эксплуатации.

В связи с этим увеличение срока службы деталей волочильных машин путем напыления на их рабочую поверхность износостойких покрытий является одним из наиболее перспективных путей увеличения их срока службы.

Были разработаны специальные порошковые материалы для напыления, позволяющие увеличить срок службы деталей волочильных машин до одного года. При этом сами детали могут изготавливаться из любых конструкционных металлов, в том числе из алюминиевых сплавов.

Произведенные исследования работоспособности покрытий на различных деталях в лабораторных и производственных условиях позволили сделать выводы относительно перспективности использования материалов, полученных по технологии реакционного механического легирования. Так для восстановления деталей грубого волочения пригодны металлические и металлокерамические материалы, а для деталей тонкого волочения, можно использовать композиционные керамические порошки.

В настоящее время детали с покрытиями прошли производственное испытание и проводится подготовка к напылению опытной партии.

Сформованные заготовки спекали на воздухе при температурах 1500, 1550 и 1600 °С. Плотность спеченной керамики частично стабилизированного ZrO_2 после термообработки при 1500 °С равнялась 5,82 г/см³, а после отжига при 1600 °С – 5,96 г/см³, что составляло 98,8% от теоретической величины. Влияние соотношения компонентов наноструктурных композиционных порошков оксидов алюминия и циркония проявлялось на физико-механических свойствах керамики. Ее плотность возрастала у составов, содержащих от 60 до 100 % ЧСЦ, и убывала у составов, содержащих Al_2O_3 от 50 до 100 %.

Повышение температуры отжига также вызывало увеличение плотности керамических образцов, содержащих более 20 мас. % оксида алюминия. Так, например, у состава 60 % ЧСЦ: 40 % Al_2O_3 плотность образцов возрастала с 5,36 до 5,58 г/см³. В целом, с увеличением содержания Al_2O_3 абсолютная величина плотности керамических композитов понижалась до 5,44–5,52 г/см³, что обусловлено меньшей истинной плотностью самого оксида алюминия, вместе с тем и открытая пористость уменьшалась до 0,1 %. Микротвердость при нагрузке 1 кг у керамических образцов ЧСЦ составляла 1390–1420 кгс/мм² и 1990–2250 кгс/мм² – у композита 80 % ЧСЦ с добавкой 20 % Al_2O_3 .

Было установлено, что дисперсность и структура исходных порошков тугоплавких оксидов существенно влияют на эрозионную стойкость керамики. Экспериментально доказано, что износ керамики, спеченной из наноструктурных порошков тугоплавких оксидов, в 1,5–2 раза ниже по сравнению с износом керамики аналогичного состава, полученной из порошков микронных размеров. Наибольшей износостойкостью характеризовались образцы керамики на основе оксида алюминия. Износ составлял $0,20\text{--}0,25\cdot 10^{-7}$ у образцов ЧСЦ и $0,10\text{--}0,13\cdot 10^{-7}$ у керамических образцов из наноструктурных порошков оксида алюминия.

Исследование химической и термической стойкости образцов керамических композитов подтвердило их инертность и высокую химическую стойкость (99,93–99,99 %) при кипячении в 20 % соляной кислоте и в 35 % растворе едкого натра. При испытании на термостойкость образцы керамики выдерживали без разрушения более 50 теплосмен при перепаде температур 800-воздух/10 °С-вода.

Полученные керамические образцы характеризовались высокой плотностью, коррозионной стойкостью. Они могут использоваться как защитные облицовочные материалы, работающие в агрессивных газовых и жидких средах при высоких температурах, а их повышенная износостойкость позволяет изготавливать из них прокладки и втулки для насосов и вентиляторов, а также направляющие устройства и нитеводители для химических волоконных производств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ulyanova T.M., Krut'ko N.P. // International Journal of Nanotechnology, 2006. V. 3, No.1 pp. 47–56.

Проведены экспериментальные исследования на лабораторной модели комбинированного пылеуловителя с зернистым слоем КПЗС–150–450. Диаметр камеры центробежного отделения составляет 150 мм при диаметре корпуса 450 мм.

При исследованиях слой зернистого материала формировался из следующих материалов: полиэтилентрифосфат (ПЭТ) матированный; полиэтилентрифосфат (ПЭТ) гранулированный; слабоокисленный полиэтилентрифосфат (СО ПЭТ); опилки древесные еловые. Проведены исследования при различной высоте $h_{\text{сл}}$ зернистого слоя, а именно, 30, 50 и 70 мм. Эквивалентный диаметр гранул ПЭТ 4 мм, древесных опилок 2 мм. Объемный расход газовзвеси V_0 изменялся от 300 до 500 м³/ч в интервале кратности расхода $k = 0,1\div 0,9$.

Результаты экспериментальных исследований обработаны с использованием уравнения (1) и представлены в виде зависимостей гидравлического сопротивления от кратности расходов при различных общих объемных расходах газа и высотах зернистого слоя.

Установлено, что гидравлическое сопротивление (ΔP) комбинированного пылеуловителя с зернистым слоем из различных материалов ПЭТ изменяется незначительно, а минимальные значения ΔP при $V_0 = 300$ м³/ч и $k = 0,55$ составляют 980–1150 Па.

Найдено, что для материалов ПЭТ наблюдается снижение потери давления в сравнении с опилками древесными. Так, при $V_0 = 300$ м³/ч, $h_{\text{сл}} = 30$ мм и кратности расходов $k = 0,67$ гидравлическое сопротивление пылеуловителя с зернистым слоем из полиэтилентрифосфата матированного снижается на 643 Па по сравнению с ΔP для слоя из опилок древесных. Снижение потери давления аппарата с зернистым слоем из материалов ПЭТ объясняется тем, что их гранулы имеют более правильную форму и незначительно отличаются размерами.

При увеличении высоты слоя зернистого материала до 50 мм при расходе газа 300 м³/ч происходит рост потери давления пылеуловителя. При использовании опилок древесных при $k = 0,5$ величина потери давления аппарата возрастает на 211 Па, а для полиэтилентрифосфата гранулированного – на 115 Па.

Установлено, что с увеличением объемного расхода газа с 300 до 400 м³/ч при кратности расхода $k = 0,56$ и $h_{\text{сл}} = 30$ мм происходит увеличение потери давления комбинированного пылеуловителя с зернистым слоем из полиэтилентрифосфата матированного с 980 до 1600 Па. При использовании опилок древесных при данной кратности потери давления аппарата увеличиваются с 1800 до 2500 Па.

Полученные результаты исследований положены в основу режимной оптимизации разработанной конструкции комбинированного пылеуловителя с зернистым слоем.

УДК 621.787.6
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАТЕРИАЛЕ
ПОСЛЕ ИНЕРЦИОННО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

В.В. АФАНЕВИЧ

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

Одним из способов поверхностного пластического деформирования является инерционно-импульсная обработка. Для реализации такого способа разработан инерционно-импульсный раскатчик отверстий. Принцип его работы следующий. Инструмент устанавливается в шпинделе задней бабки станка и подводится к вращающейся заготовке. От нее вращение передается на ведущий элемент редуцирующего узла инструмента. Далее редуцированное вращение передается на выходное звено этого узла, являющееся опорным элементом для деформирующих шаров. На торце опорного элемента выполнена замкнутая периодическая волнообразная канавка. Особенность ее исполнения состоит в том, что деформирующие шарики, обкатываясь по ней в наиболее удаленных от оси вращения инструмента точках, выступают за наружную цилиндрическую поверхность. С другой стороны движение шариков ограничивается пазами сепаратора, который в процессе обработки не совершает вращательного движения. Относительно этих пазов деформирующие элементы совершают возвратно-поступательное движение и наносят удары по обрабатываемой поверхности. За счёт того, что частота вращения заготовки и частота вращения опорного элемента различны, при продольной подаче происходит обработка всей внутренней цилиндрической поверхности.

Важным эксплуатационным параметром, определяющим износостойкость обработанной поверхности, является наклеп поверхностного слоя.

Разработанная в модуле конечных элементов COSMOSWorks модель удара шарика по обрабатываемой поверхности позволяет определить глубину залегания и величину остаточных напряжений в поверхностном слое. Это дает возможность оценить глубину проникновения наклепа в обработанную поверхность. Ударная сила шарика, действующая на обрабатываемую поверхность, зависит от различных параметров (скорости движения шарика, его размеров, материала и др.). Скорость шарика является производной от частоты вращения заготовки. Таким образом, глубиной проникновения наклепа в процессе обработки поверхности можно управлять при помощи изменения частоты вращения шпинделя. Кроме того, разработанная модель учитывает материал шарика и материал обрабатываемой заготовки.

УДК 661.862+ 666.651
ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИЗ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОРОШКОВ

Т.М. УЛЬЯНОВА, Л.В. ТИТОВА, *А.А. ШЕВЧЕНКО

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ НАН Беларуси»
*Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Создание керамических материалов с высокими техническими характеристиками: термостойкостью, износостойкостью, химической стойкостью к агрессивным средам является важной задачей. Изделия из частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСЦ) с добавками тугоплавких оксидов металлов используются в высоконагруженных узлах трениях, в подшипниках скольжения, в качестве фильер и направляющих для волочения проволоки, стеклянных и синтетических нитей и в других устройствах, однако их термостойкость и износостойкость не отвечают требованиям производств.

Целью настоящей работы было исследование возможности получения керамики из наноструктурных порошков ZrO_2 - Y_2O_3 - Al_2O_3 и изучения ее физико-механических и химических свойств.

Наноструктурные порошки с переменным отношением компонентов: ЧСЦ и оксида алюминия синтезировали методом, описанным в работе [1]. Исходные целлюлозные волокна пропитывались растворами с заданным отношением солей, что обеспечивало равномерное распределение компонентов по объему всего материала. Затем в процессе термообработки из соледержащих волокон испарялась влага, происходил термолиз целлюлозы с постепенным удалением органических веществ и диссоциация введенных солей. В результате формировались нанозерна тугоплавких оксидов металлов. Синтезированные наноструктурные волокна обладали высокой пористостью (80–90 %), развитой удельной поверхностью (150–200 м²/г) и реакционной активностью. Они легко размалывались в порошки, из которых формовали заготовки и отжигали их в области температур 1500–1700 °С.

Структуру материалов изучали с помощью рентгеновских методов и электронной микроскопии. Размер наночастиц порошков определяли методом ОКР по рефлексам: α - Al_2O_3 – (012), ZrO_2 моноклинной модификации – (11 $\bar{1}$), его тетрагональной фазы – (111). Исследование физико-механических свойств, химической стойкости, термостойкости выполняли по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 24409-89, ГОСТ 7875-94 и ГОСТ 473.1-81. Интенсивность износа керамических образцов оценивали по размерам вырабатываемой лунки при вращении стального диска, находящегося в контакте с образцом.

Как следует из таблиц, время формирования покрытия связано с толщиной покрытия, микротвёрдостью, температурой электролита и его составом. При времени формирования покрытия ниже 5 минут, микротвёрдость поверхности такова, что покрытие не может эксплуатироваться в промышленных условиях. При температуре электролита выше 30 °С микротвёрдость покрытия перестаёт расти. При изменении температуры с 10 °С до 30 °С микротвёрдость поверхности увеличивается на 80–200 в абсолютных единицах или на 6,7–15 % в зависимости от электролита.

Задачей лабораторных ускоренных испытаний коррозии покрытий является получение в возможно более короткий срок результатов, позволяющих оценивать коррозионное поведение исследуемых материалов в условиях эксплуатации.

В условиях испытаний конструкций узлов из алюминиевых сплавов на коррозию, при оценке коррозионной стойкости металла и покрытия, основными являются следующие показатели:

- изменение массы образцов;
- глубина коррозионных поражений;
- время до появления первого коррозионного поражения;
- число очагов коррозии за определённое время испытания;

Для определения коррозионной стойкости покрытия использовали:

- ускоренный способ погружения образцов в электролиты с определённой концентрацией активных веществ;
- ускоренный способ, воспроизводящий атмосферные условия эксплуатации металлоконструкций;
- однокомпонентные ускоренные испытания в щелочах и кислотах.

Контроль коррозионной стойкости осуществляли путём определения изменения массы образцов и определения площади очагов коррозионного поражения.

Испытания в растворе электролита 3 % NaCl + 0,1 % H₂O показали, что покрытие коррозионно устойчиво. За 24 часа испытаний нет потерь массы и образования очагов коррозии. Такие же результаты получены при использовании в качестве испытательного агрессивного раствора – раствор с содержанием 30 мг/л HCl и 70 г/л H₂SO₄. Испытания с воспроизведением атмосферных условий химического производства дали следующее результаты. При концентрации оксидов серы, азота хлора в 2000 раз, превышающих ПДК (предельно – допустимые концентрации) и температура атмосферы 55 °С, влажности 98 %, через 10 суток, при толщине покрытия 8 мкм, наблюдалось 0,7 % потери массы и 0,1 % потери площади. Это, при пересчёте соответствует в реальных условиях надёжной эксплуатации покрытия до 5 лет в условиях агрессивных атмосфер химических производств.

Испытания на коррозионную стойкость показали, что покрытие устойчиво к воздействию кислот (соляной, серной, азотной) с концентрацией 5, 10, 20 %.

УДК 629.9.004.18

РАЗДЕЛ ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТЕ ПО «ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

В.М. БЛАГОДАРНЫЙ

Учреждение образования

«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Барановичи, Беларусь

Согласно Министерства образования Республики Беларусь в дипломных проектах инженерных специальностей должен быть раздел «Энерго-ресурсосбережение и экология». При проектировании новых конструкций машин, станков и другого оборудования, а также новых технологических процессов инженер должен решать не только прямые задачи создания новой техники и технологии, но и учитывать вопросы энерго-ресурсосбережения и экологической безопасности. Вновь создаваемые техническое оборудование и технологии должны быть менее энергоёмкими, экономить ресурсы и обладать экологической безопасностью в отношении окружающей среды и самого человека.

Мировое сообщество, наконец-то, стало осознавать, что запасы ископаемых энергоносителей не безграничны. По прогнозам ученых в случае энергопотребления на современном уровне нефть будет исчерпана через 80 лет, природного газа хватит на 150 лет, а каменного угля – на 500 лет. Справедливость этих предсказаний подтверждается и в Республике Беларусь: уровень добычи нефти с 8 млн т в год в недавнем прошлом сократился до 1,5 млн т в год в настоящее время. Кроме того, ископаемые топлива оказывают вредное воздействие на экологию в виде выбросов диоксида углерода CO₂, окислов серы, азота, твердых частиц и др. Загрязнение атмосферного воздуха оказывает неблагоприятное воздействие не только на здоровье самого человека, но также на флору и фауну, наносит большой экономический ущерб от разрушения зданий, сооружений, конструкций, транспортных средств и т.п.

В методических указаниях, предназначенных для студентов-дипломников специальностей «Технология машиностроения» и «Автоматизация технологического производства», разработанных автором, рассматриваются вопросы энерго-ресурсосбережения и экологической безопасности разрабатываемых проектов. Предложены методы расчета экономии энергии и ресурсов и оценки экологической безопасности проекта.

Раздел «Энерго-ресурсосбережение и экологическая безопасность» в дипломном проекте должен заканчиваться таблицей, в которой представ-

лены все показатели экономии энергии и ресурсов, а также частные и комплексный показатели экологической безопасности проекта.

Рассмотрены такие вопросы как, замена электродвигателей в станочном оборудовании с целью максимального использования их мощности, что приводит к значительной экономии электроэнергии. Установка автоматических ограничителей холостого хода рабочих машин позволяет сократить расход электроэнергии почти на 20 %.

Замена ламп накаливания люминесцентными лампами дает экономию электроэнергии при освещении производственного участка более чем на 80 %. Замена ламп накаливания на станках для местного освещения галогенными дает экономию электроэнергии почти на 60 %. Замена обычных выключателей сенсорными позволяет сэкономить почти 6 % электроэнергии.

Замена классической конвективной системы обогрева инфракрасными электрическими облучателями на 50 % экономичнее. Кроме того, по сравнению с классической конвективной системой обогрева производственного помещения, когда почти 50 % тепла уходит через двери, окна, пол при обогреве инфракрасными облучателями этих потерь нет. Инфракрасные облучатели нагревают непосредственно предметы и людей, а не окружающее пространство. Окупаемость отопления с применением инфракрасных систем в 2–3 раза выше, чем при использовании традиционных систем отопления.

Наряду с энергосбережением не менее важной проблемой является ресурсосбережение. При проектировании нового оборудования конструктор и технолог, в том числе, должны думать о том, как при обеспечении оптимального качества проектируемого изделия использовать недорогие материалы, расходовать минимальную энергию и получить высокую производительность. Источниками ресурсосбережения при этом могут быть: замена дефицитных дорогих материалов менее дефицитными и дешевыми; уменьшение припусков на заготовки путем применения более прогрессивных технологий изготовления заготовок деталей; применение более прогрессивных технологий изготовления деталей и др.

К ресурсосбережению относится также рециклинг деталей машин.

Станочное оборудование в цехах, а также транспортные устройства являются источниками поступления в атмосферу различных типов газов, таких, как диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O), перфторуглероды (ПФУ) и др. При оценке экологической безопасности необходимо учитывать наличие вредных веществ, оказывающих неблагоприятное влияние на окружающую среду и человека. Оценка экологической безопасности производится на основе системного подхода.

УДК 621. 794. 61: 669. 751

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЁРДОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ КЕРАМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЁННОГО МЕТОДОМ АМДО

Я.М. СУРГУНТ, Н.В. КОРОТУН, С.В. НИКИТИН

Государственное учреждение высшего профессионального образования «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилёв, Беларусь

Металлоконструкции, узлы и детали машин, применяемые на предприятиях производства химических волокон находятся во взаимодействии с агрессивной средой: газами, жидкостями, парами, а также под действием тепловых полей. Под взаимодействием данных факторов на поверхности изделий из сплавов алюминия протекают физико-химические процессы: адсорбция, коррозия, эрозия. Необходимость нанесения коррозионностойкого покрытия зависит от интенсивности этих процессов. Ущерб от коррозии может быть снижен путём рационального выбора способа нанесения антикоррозийного покрытия.

Одним из наиболее перспективным и экологически чистым методом нанесения коррозионностойких керамических покрытий на габаритные металлоконструкции и другие изделия из алюминиевых сплавов, является анодно-микродуговое оксидирование (АМДО) без последующей обработки резанием.

На всём протяжении исследований использовали для сравнения два и более электролитов. Из этих исследований видно, что добавки силиката в пиррофосфорнокислый натрий приводят к увеличению микротвёрдости на 8–9 %, а при $t = 30\text{--}35$ мин. эта разница составит до 30 кгс/мм кв. (табл. 1) Влияние температуры электролита на микротвёрдость для 4-х типов электролита приведена в табл.2. Характер изменения микротвёрдости во всех случаях идентичен, а при равных условиях наивысшую микротвёрдость имеют покрытия, полученные в электролитах на основе пиррофосфатнокислого натрия и силиката натрия.

Табл. 1. Зависимость микротвёрдости от времени формирования покрытия

Электролит	Микротвёрдость кгс/мм кв.			
	t = 5 мин.	15	25	35
Пиррофосфат натрия	680	1100	1280	1350
Пиррофосфат Натрий с силикатом	720	1200	1330	1380
Технологические параметры	Ja = 1,5 А/дм., T = 25 С, Co = 30 г/л			

Табл. 2. Зависимость микротвёрдости от температуры электролита

Электролит	Микротвёрдость кгс/мм кв.			
	10 С	20 С	30 С	40 С
Силикат натрия	1120	1185	1200	1210
Силумин натрия	1000	1100	1100	1100
Пиррофосфат натрия	1100	1200	1260	1250
Пиррофосфат Натрий с силикатом	1100	1260	1300	1310
Технологические параметры	Ja = 1,5 А/дм t = 18 мин. Co = 30 г/л			

ния наибольшего сродства материала электрода и металлической подложки в качестве связки была введена в исходный состав сталь X18H9T. С увеличением содержания TiC в электродном материале увеличивается микротвердость легированных слоев, что хорошо согласуется с твердостью самого материала.

Нанесение покрытий методом ЭИЛ проводили на установке SE-5.01 (г. Томск), при помощи которой по сравнению с аналогичными установками достигается возможность широкого варьирования режимов обработки. Качество легированных слоев контролировалось методом металлографического анализа по их сплошности, толщине и микротвердости.

В качестве обрабатываемого материала были выбраны образцы размерами 10x10x5 мм из высоколегированной стали 12X18H10T. Выбор такой подложки обусловлен ее высокой коррозионностойкостью, что позволило определить стойкость к действию кислот самого покрытия. Коррозионная стойкость изучалась кипячением в кислотах с различной концентрацией в течение 24 часов. Массовую долю нерастворимого остатка (в %) вычисляли после взвешивания образцов на аналитических весах. Было установлено, что с уменьшением доли TiC в электродах и покрытиях их стойкость к кислотам снижается (табл. 1).

Табл. 1. Результаты проведенных исследований

№ опыта	Кислота	Концентрация, %	Нерастворимый остаток, %
1	HNO ₃	74	98,3
2		37	97,6
3	H ₂ SO ₄	96	94,5
4		48	89,1

Выводы. Учитывая преимущества метода СВС-экструзии при получении электродных материалов для электроискрового легирования и результаты проведенных исследований деталей с покрытиями имеется целесообразность применения разработанной технологии в промышленности.

УДК 621.923.04 ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ШЛИФОВАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ 14X2H3M и 20XH3MA

Р.И. ВЕЧЕР, М.Р. ШЕЙБАК
Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О. Сухого»
Гомель, Беларусь

В исследованиях рассмотрено влияние следующих факторов на величину остаточных напряжений при шлифовании закаленных сталей: изменение истинного съема t за один проход; изменение скорости резания – $V_{кр}$, скорости детали V_d и способа шлифования (сплошным кругом или прерывистым).

Шлифование на очень тонких выхаживающих проходах (круг ЭБ25СМ2К, $t = 0,001$ мм; $V_d = 15$ м/мин; $V_{кр} = 28$ м/с) не оказывает существенного влияния на напряженность поверхностного слоя образцов из сталей 14X2H3MA, 20XH3A. Напряжения после шлифования не изменили свой знак, то есть остались сжимающими, как и после термической обработки, но величина их уменьшилась с 38–50 кг/мм² до 10–20 кг/мм². Отсутствие растягивающих напряжений в рассматриваемом случае свидетельствует о том, что при шлифовании на мягких режимах температуры в зоне резания не превышают температур структурных и фазовых превращений.

По мере увеличения припуска в поверхностном слое появляются растягивающие напряжения, величина которых зависит от величины истинного съема металла за один проход.

Из анализа напряженного состояния следует, что напряженность поверхности с ростом припуска увеличивается. Так при шлифовании с величиной истинного съема $t = 10$ мк в поверхностном слое формируются растягивающие напряжения порядка 45–50 кг/мм². С увеличением расстояния от поверхности величина напряжений уменьшается, и на глубине 0,15 мм они переходят в сжимающие.

При шлифовании с величиной истинного съема 0,02 мм глубина залегания растягивающих напряжений равна 0,22 мм; при $t = 0,03$ мм – 0,3 мм; при $t = 0,04$ мм – 0,43 мм и для $t = 0,05$ мм – 0,45 мм. При этом максимальные напряжения порядка 60–90 кг/мм² залегают на глубине 0,05–0,15 мм. Величина растягивающих напряжений на поверхности в зависимости от припуска колеблется в пределах от 10 до 50 кг/мм².

Следует заметить, что имеется качественная связь напряженного состояния и распределения микротвердости. Так изменение напряженного

состояния распространяется на глубину 0,05–0,10 мм большую, чем изменение микротвердости. Эту разницу можно объяснить действием одновременно механического фактора и теплового.

При шлифовании прерывистыми кругами с исследуемыми величинами припусков получено улучшение качества поверхности по глубине залегания остаточных напряжений на 0,05–0,1 мм и по величине на 5–20 кг/мм². Причем, как показывают опыты, лучшие результаты получаются при величине припуска до 0,35 мм.

Изменение скорости подачи детали от 6 до 15 м/мин оказывает влияние на теплонапряженность поверхностного слоя и, как следствие, на остаточные напряжения как по величине, так и по глубине. Максимальные растягивающие напряжения 60–70 кг/мм² залегают на глубине 0,03–0,05 мм, а на поверхности они равны 30–55 кг/мм². На глубине 0,28–0,46 мм растягивающие напряжения переходят в сжимающие. При этом можно отметить, что изменение микротвердости ограничивается меньшими глубинами, чем изменение напряженного состояния, каждой подаче соответствует своя определенная глубина дефектного слоя.

При прерывистом шлифовании изменение скорости подачи стола станка не оказывает большого влияния на теплонапряженность поверхностного слоя. Это видно из того факта, что остаточные напряжения, как по величине, так и по глубине залегания почти одинаковы. Эти выводы подтверждаются данными по микротвердости.

В значительной мере на качество поверхностного слоя влияет скорость резания. Исследовано напряженное состояние образцов для следующих скоростей резания: 22 м/с; 25 м/с и 28 м/с. Так остаточные напряжения при скорости резания 22 м/с на поверхности достигли 55 кг/мм²; распространение остаточных напряжений в глубину от поверхности составило 0,18–0,25 мм. При увеличении скорости резания до 25 м/сек остаточные растягивающие напряжения на поверхности понизились до 50 кг/мм², а максимальные 65 кг/мм² растягивающие напряжения залегают на глубине 0,05–0,07 мм, причем глубина действия остаточных напряжений составляет 0,25–0,3 мм. Дальнейшее повышение скорости резания до 28 м/с приводит к падению напряжений на поверхности до 40–45 кг/мм². Максимальные растягивающие напряжения 65–75 кг/мм² залегают на глубине 0,05–0,10 мм, а область действия напряжений распространяется до 0,40 мм. Из сопоставления данных, полученных в результате исследований остаточных напряжений и экспериментов по измерению микротвердости следует, что они хорошо дополняют друг друга.

С изменением скорости резания при прерывистом шлифовании качество поверхностного слоя изменяется незначительно. Это объясняется меньшей продолжительностью действия теплового источника, а также работой круга в режиме самозатачивания.

УДК 31.17.15

НАНЕСЕНИЕ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИЕМ СВС-ЭЛЕКТРОДАМИ

А.М. СТОЛИН, П.М. БАЖИН, *В.В. САРАНЦЕВ

Учреждение Российской академии наук

«ИНСТИТУТ СТРУКТУРНОЙ МАКРОКИНЕТИКИ И ПРОБЛЕМ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ РАН»

*Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Черноголовка, Россия; Минск, Беларусь

Введение. Развитие современной техники ставит перед исследователями задачи создания материалов или покрытий с определенным набором свойств. Детали, работающие в агрессивных средах при повышенном износе, экономически целесообразно не изготавливать из новых перспективных материалов, а производить нанесение защитных покрытий с нужными свойствами. При этом необходимо учитывать возможность и перспективность, как самого метода нанесения защитных покрытий, так и свойства упрочняющего материала.

Постановка задачи. Одним из наиболее экономически выгодных и технологически перспективных методов для локальной обработки является электроискровое легирование (ЭИЛ). Однако, для успешной реализации метода ЭИЛ, необходимо решить проблему с расходующимися электродами.

Решение поставленной задачи. Принципиально новый подход в организации технологического процесса получения электродов для ЭИЛ открывается в связи с применением метода СВС-экструзии. Данный метод сочетает процесс горения экзотермической смеси исходных компонентов и сдвиговое деформирование горячих продуктов синтеза. Этот способ обеспечивает синтез материала и получение изделия в одной установке и соединяет в себе достоинства как экструзии (возможность получения изделий нужного профиля с минимальной последующей обработкой), так и СВС-технологий (экономичность, простота оборудования, малое время процесса, отсутствие необходимости высоких усилий при деформировании, отсутствие энергозатрат на внешний нагрев заготовки). Изготовление изделий СВС-экструзией существенно упрощается, т.к. синтез материала и формирование изделия происходит за несколько секунд (вместо часов) в одном технологическом цикле. Этот метод, позволяет изготавливать электроды без пластифицирующих добавок, необходимых для мундштучного прессования, и не требует высокотемпературного спекания.

В настоящей работе методом СВС-экструзии были получены электроды на основе твердого раствора карбидов тантала и титана. Для достиже-

В.Ю. СТЕЦЕНКО, А.И. РИВКИН, Р.В. КОНОВАЛОВ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

В настоящее время подшипники скольжения широко используются в машиностроении. В основном они изготавливаются из антифрикционных бронз или латуней. Эти материалы являются дорогостоящими и закупаются за рубежом. Поэтому разработка альтернативного антифрикционного материала является актуальной задачей для Республики Беларусь.

В ГНУ «Институт технологии металлов» впервые в мире разработана технология получения полых отливок с наружным диаметром до 300 мм из антифрикционного силумина (АС) с эвтектической микроструктурой. Она представлена глобулярными высокодисперсными кристаллами кремния, равномерно распределенными в алюминиевой матрице. Такая микроструктура обеспечивает отливкам из силумина высокие механические и антифрикционные свойства. При твердости заготовок из АС 125÷150 НВ и временном сопротивлении разрыву 350÷450 МПа его относительное удлинение составляет 4÷8 %.

Исследование фрикционной износостойкости АС проводилось на машине трения СМЦ-2 в условиях сухого трения по закаленной стали 45. Было установлено, что образцы из АС по износостойкости превосходят аналогичные образцы из бронз БрАЖ9-4 и БрОЦС5-5-5 более чем в 7 раз и имеют на 65 % меньший коэффициент трения скольжения.

Производственные испытания АС проводили на ОАО «Белшина» (г. Бобруйск). Были изготовлены втулки диаметрами 125 мм и 115 мм, длиной 108 мм. Они устанавливались в сборочные станки СПД в качестве подшипников скольжения, работающих без смазки, взамен аналогичных из БрО5Ц5С5. Установлено, что за 6 месяцев работы станков в круглосуточном режиме, износ этих втулок составил не более 0,04 %. На сопрягаемых с втулками частях стального вала задиров и других следов износа не обнаружено. В настоящее время подшипники скольжения из АС успешно используются на ОАО «Белшина» (г. Бобруйск). Стоимость заготовок из АС в 2÷2,5 раза ниже, а масса – в 3,5 раза меньше, чем аналогичных из антифрикционных бронз БрО5Ц5С5 и БрАЖ9-4.

Таким образом, разработанный антифрикционный силумин является перспективным материалом, заменяющим бронзу в подшипниках скольжения.

В.Т. ВЫСОЦКИЙ, Т.В. ВЫСОЦКИЙ

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

Анализ опубликованных научных работ показывает недостаточность информации, посвященной дисперсному упрочнению железа различными легирующими элементами. Одновременно изучение возможности дисперсного упрочнения материалов на основе железного порошка является актуальным направлением, так как при этом возможно разработать принципиально новые технологии изготовления изделий методом порошковой металлургии. Применение низколегированных стальных порошков сравнительно невелико из-за отсутствия широкой номенклатуры стальных легированных порошковых материалов. В то же время получение спеченных сталей по классической технологии из смесей порошков «железо-легирующий элемент» имеет ряд недостатков.

В работе исследовано влияние легирования порошкового железа (ПЖРВ) наиболее часто используемыми для этой цели металлами: хромом, молибденом и никелем на структуру и свойства порошковых легированных сталей. При этом сравнивались два варианта получения шихты:

– смешивание порошка железа с порошками легирующих элементов в смесителе со смещенной осью в течение 2 ч (обычное легирование);

– приготовление лигатур, состоящих из порошка железа и утроенного процентного содержания легирующих элементов в высокоэнергетическом смесителе в течение 6 ч; смешивание 67 % железного порошка и 33 % лигатуры в смесителе со смещенной осью в течение 1 ч (механическое легирование). Легирующие элементы вводили в чистом виде (никель, молибден) или в виде ферросплавов (хром в виде порошка ПХ30-1). Концентрация легирующих элементов составляла от 0,7 до 2 %.

Формование образцов проводили в съемных стальных пресс-формах двухсторонним однократным прессованием по упорам, плотность образцов составляла при этом 85 %. Спекание проводили при температурах 1000–1200 °С в течение 2 ч в атмосфере водорода с точкой росы – 20 °С.

Изучение структуры и свойств материалов, полученных при различных способах легирования, показывает, что механическое легирование, по сравнению с обычным, позволяет во всех случаях получить более высокие значения прочности и несколько меньшие значения ударной вязкости, а также приводит к большей гомогенности материалов. Это объясняется тем, что механическое легирование, приводя к измельчению частиц основы и легирующих элементов, к лучшему перемешиванию шихты, приводит также и к ускорению процессов гомогенизации при спекании, что вполне согласуется с общей теорией легирования.

Проведенное исследование показывает эффективность механического легирования для повышения свойств порошковых сталей.

В.П. ГОРБУНОВ, О.А. МЕДВЕДЕВ, Д.В. ОМЕСЬ

Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Многоцелевой станок (МЦС) с ЧПУ представляет собой сложное, дорогостоящее оборудование и эффективность его использования является актуальной задачей для каждого машиностроительного предприятия. В процессе эксплуатации существенное влияние на точность обработки оказывают тепловые деформации базовых элементов несущей системы МЦС, которые приводят к изменению относительного положения базовых поверхностей несущих заготовку и инструмент. Все это влияет на точность выходных параметров станка. Поэтому важным этапом при анализе точности станка является определение тепловых деформаций базовых элементов.

МЦС представляет собой сложную систему, распределение теплоты в которой проблематично описать математически. Подводимая к станку энергия, не затрачиваемая на полезную работу, преобразуется в тепловую энергию. Источниками тепловыделения в станках являются электродвигатели, механические передачи, подшипники, муфты, система смазывания и гидросистема, сам процесс резания и другие факторы. Теплота от этих источников передается деталям станка, перераспределяется между ними и частично отводится в окружающую среду. В этом случае можно выделить следующие элементарные процессы: теплопроводность, конвекцию, тепловое излучение. Однако ни один из этих элементарных процессов в изолированном виде на практике не существует.

В качестве основных элементов при тепловом анализе и расчете станка МЦС выбираются те детали, которые имеют относительно большие линейные размеры, площадь теплоотдающей поверхности, массу. Это станины, стойки, шпиндельные бабки, ползуны и др. При этом рассчитывается мощность тепловыделения в источниках, выполняется анализ теплообмена в системе базовых элементов станка. На практике при определении температурного поля и расчете тепловых деформаций рационально применять Метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод реализован в модуле конечно-элементного анализа CosmosWorks, интегрированного в систему пространственного моделирования SolidWorks. Программа теплового анализа на базе МКЭ позволяет достаточно оперативно оценить распределе-

В.Ю. СТЕЦЕНКО, А.И. РИВКИН, А.П. ГУТЕВ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИЙ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

В настоящее время самым дешевым материалом, содержащим углеродные наночастицы, являются углеродные нанотрубки (УНТ). Благодаря высокой структурной дисперсности они могут использоваться в качестве модификаторов сплавов. Однако, вследствие повышенной летучести УНТ как модификаторы могут применяться только для сплавов с относительно низкой температурой плавления.

В институте технологии металлов были проведены исследования по определению влияния УНТ на микроструктуру и твердость промышленных свинцовистых баббитов марок БС83 (83%Pb+17%Sb), Б10 (74%Pb+16%Sb+10%Sn) и оловянистых баббитов Б83 (83%Sn+11%Sb+6%Cu), авиабаббита (92%Sn+3%Cu+5%Sb). Расплавы сплавов готовили в электропечи сопротивления «Snol-1300» в шамотографитовом тигле. УНТ вводили в количестве 0,1 % от массы жидкого металла путем их механического замешивания в расплав. Получали отливки диаметром 27 мм и длиной 70 мм без УНТ и, обработанные УНТ. После их шлифовки, полировки и травления микроструктуру шлифов исследовали с помощью программно-аппаратного комплекса на базе микроскопа «Carl Zeiss Axiotech vario». Твердость образцов определяли на твердомере ТШ2М.

Методом сравнительного металлографического анализа, было установлено, что введение УНТ в жидкие свинцовистые баббиты позволяет измельчить кристаллы первичной сурьмы и свинцово-сурьмянистой эвтектики. Так дисперсность фазовых составляющих отливок из баббитов БС83 и Б10, обработанных УНТ, повысилась в 2÷3 раза. При этом их твердость увеличилась на 5÷15 %. Модифицирование УНТ оловянистого баббита Б83 и авиабаббита, также позволило измельчить кристаллы сурьмы в 1,5÷2 раза, при этом они располагались более равномерно и были изолированы друг от друга. Твердость отливок баббитов после модифицирования УНТ снизилась на 5÷15 %, что положительно сказывается на прирабатываемости оловянистых баббитов.

Таким образом, углеродные наночастицы позволяют значительно улучшить структуру баббитов, что способствует повышению их антифрикционных свойств.

ского отжига стали Р6М5. Одновременно с проведением отжига осуществляли науглероживание одной из поверхностей экспериментальных кубических образцов. Пластичность металла оценивали в процессе сжатия кубических образцов с регистрацией изменения их размеров по трем измерениям. Изменение пластичности материала отражалось путем построения диаграмм сжатия в осях напряжение–деформация.

Результаты исследований показали, что науглероживание приводит к некоторому повышению микротвердости диффузионного слоя. Она достигает 3000–3300 МПа, в то время как твердость сердцевины не превышает 2100–2400 МПа. Это обусловлено тем, что в структуре слоя присутствует большое количество карбидных частиц.

Отмечены структурные различия между науглероженным слоем, полученным в процессе полного отжига и при маятниковом отжиге. В первом случае, структура науглероженного слоя, представляет собой композиционный материал, в котором первичные и вторичные карбидные частицы располагаются в металлической матрице – зернистом перлите. При этом морфология карбидной фазы определяется первоначальной текстурой заготовки и представляет скопления крупных включений в окружении более мелких частиц. Деформация данных образцов, при действии внешнего сжимающего напряжения порядка 2000 МПа, до величины около 20 % протекает без образования дефектов. Затем в материале появляются микротрещины, суммирование которых на диаграмме отмечено некоторым снижением величины внешнего напряжения. Окончательное разделение образцов на фрагменты происходит при деформации свыше 35 %.

Во втором случае, карбидная фаза представлена большим количеством округлых частиц размерами не более двух микрометров. Совмещение процесса науглероживания с маятниковым отжигом способствует равномерному распределению карбидной фазы в материале матрицы – зернистом перлите.

Технологическая пластичность данного материала отличается более низким пределом текучести, около 1100–1200 МПа. Деформирование образцов до уровня 40–45 % не сопровождается образованием структурных дефектов. Многочисленные карбидные частицы округлой формы в процессе деформации перемещаются в перлитной матрице диффузионного слоя, вызывая его постепенное уплотнение и упрочнение. Это отражается на диаграмме сжатия приростом внешнего напряжения.

Заключение. В работе выявлено влияние режимов комбинированной термохимической обработки науглероживанием быстрорежущей стали Р6М5 на её технологическую пластичность в холодном состоянии. Показана возможность значительного повышения пластичности в случае совмещения процесса науглероживания с маятниковым отжигом.

ния температур в конструкции станка, то есть воспроизводить эффект теплопроводящих свойств в зоне сопряжения (контакта) деталей и определить возникающие деформации.

В CosmosWorks реализован статический расчет с учетом температурных деформаций. В качестве источников информации могут быть: температура объектов, заданная в виде граничных условий; температурные поля, полученные при тепловом анализе. При анализе изменения процесса теплообмена за определенный период эксплуатации станка так же можно моделировать распространение тепловой энергии в зависимости от времени.

В качестве примера рассмотрена задача термоупругого анализа по определению тепловых деформаций стойки МЦС с ЧПУ модели МС 12-250 с горизонтальным расположением оси шпинделя.

Предварительно созданная по граничным условиям теплового расчета (принятым режимам обработки, положениям исполнительных механизмов) объёмная модель стойки в модуле CosmosWorks, позволяет определить распределение температуры по наружным и внутренним поверхностям рассматриваемого базового элемента. Для подтверждения адекватности созданной модели производились измерения температур в нескольких характерных точках на передней и задней стенках стойки с целью определения зоны максимальной разности температур, а также в местах основных источников тепловыделения. Исследования проводились на холостом режиме работы станка (без процесса резания) при частотах вращения шпинделя 500...2000 мин⁻¹. При этом было подтверждено предположение о термосимметричности конструкции станка относительно сечения в плоскости YOZ. Так же было установлено, что неравномерный нагрев передней и задней стенок стойки приводит к угловому смещению оси шпинделя и, вследствие этого, к линейному смещению области существования рассматриваемого выходного параметра (в нашем случае погрешности позиционирования) вдоль направления оси координат Y. Значения фактического смещения оси шпинделя в рабочей зоне станка показали высокую достоверность результатов расчета.

При изменении режима работы МЦС можно скорректировать граничные условия и повторно запустить процесс расчета. В предлагаемом расчете появляется возможность также учитывать силовые факторы (нагрузка на горизонтальный шпиндель, влияние консольного стола), которые дополнительно влияют на величину деформации стойки. Создав такую вполне адекватную модель, можно с определенной степенью точности прогнозировать изменение начальной точности станка с последующей компенсацией её устройством ЧПУ, а также определять пути повышения данной точности при проектировании станков за счет изменения расположения источников тепловыделения, мощности тепловых потоков, конструкции элементов и др.

В.Ф. ГРИГОРЬЕВ, Ю.А. ДАКАЛО
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Актуальным направлением повышения эксплуатационных показателей продукции является внедрение в практику конструирования и производства изделий машиностроения расчётных принципов обоснования их качественных показателей. При конструировании изделий длительного пользования полезно оценить динамику потери точности для сравниваемых вариантов проектируемого изделия.

В предыдущих работах решалась задача размерного анализа двух вариантов сборочной единицы электрических и газовых плит повышенной комфортности «Шарнир дверцы духовки» с точки зрения обеспечения точности исходного звена - угла открывания дверцы духовки. При изменении номинального значения размера корпуса шарнира обеспечивалась требуемая точность угла открывания при неизменных допусках составляющих звеньев.

В настоящей работе предпринята попытка оценить ресурс сравниваемых вариантов конструкций по точности выходного параметра - номиналу и допуску угла открывания. В практике расчётов подобных задач встречаются два направления: по требуемому ресурсу T определяют характеристики конечного размера (математическое ожидание M_Σ ; допуск t_Σ ; среднее em_Σ , верхнее es_Σ и нижнее ei_Σ отклонения); по заданным характеристикам M_Σ и t_Σ вычисляют ресурс изделия (T_{max} , T_{min}).

Математическое ожидание показателя точности сборочной величины Y_Σ определяется по формуле

$$M(Y_\Sigma) = \sum C_i \cdot Y_i, \quad (1)$$

где Y_i – составляющий показатель точности детали; C_i – коэффициент приведения.

Математическое ожидание случайной величины Y_i в общем случае можно определить:

$$M_{Y_i} = N_i + em_i + \alpha_i t_i, \quad (2)$$

где N_i – номинальное значение случайной величины; α_i – коэффициент от носительной асимметрии рассеяния размеров; t_i – допуск на размер.

Для зазоров, полностью выбираемых в одном направлении, математическое ожидание смещения осей определяется по формуле

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

Введение. Изготовление штампового инструмента для чеканки осуществляется путем выдавливания рабочей полости. Эта технология является альтернативой эрозионной обработке, и не снижает локальную прочность сталей ледебуритного класса, применяемых для изготовления тяжело нагруженного инструмента.

Для дополнительного улучшения эксплуатационных характеристик штамповой оснастки, в частности, увеличения усталостной долговечности и износостойкости, применяют упрочнение поверхностного слоя. Наиболее эффективно диффузионное упрочнение, которое обеспечивает формирование развитых модифицированных слоев (от 50 мкм и более).

В работе исследовано влияние режимов предварительной термической и совмещенной с ней химико-термической обработок (ХТО) на структуру и технологическую пластичность быстрорежущей стали Р6М5. Необходимость проведения ХТО на стадии предварительной термообработки обусловлена требованиями конструкторской документации на изготовление инструмента для чеканки. В частности, при изготовлении монет, наград и другой символики, гравюра штампа представляет собой сложный высокохудожественный рисунок. Изготовление полости штампа холодным выдавливанием обеспечивает максимально точное повторение рисунка будущего изделия в зеркальном отображении. В случае финишного упрочнения штампа с готовой полостью, повышается вероятность интенсивного окисления и искажения некоторых наиболее мелких элементов гравюры. Целью данного исследования была разработка технологии предварительного упрочнения стали Р6М5 путем науглероживания с обеспечением максимальной пластичности материала и упрочненного слоя с тем, что бы последующая деформация металла “по упрочненному слою” позволила сформировать сложную рабочую поверхность холодным выдавливанием.

Объекты исследования. Объектом исследований являлась быстрорежущая сталь Р6М5 с диффузионно-упрочненным слоем. Упрочнение осуществляли посредством науглероживания, которое совмещали с полным и циклическим отжигом.

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве способов реализации поставленной цели применяли технологии полного и циклического

жимам находили по соответствующим дифракционным линиям из выражения

$$D = \lambda / (\beta \cdot \cos \theta),$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения, θ – угол рассеяния.

Профиль анализируемых дифракционных линий закаленной стали заметно уширен, что связано с дефектами мартенсита. Магнитно-динамическое воздействие на поверхность закаленной стали приводит к дальнейшему росту ширины линий и смещению их углового положения.

В состоянии закалки дифракционные линии матричной α -фазы заметно уширены (β_{110} , β_{220} соответственно равны $9,92 \cdot 10^{-3}$ и $33,45 \cdot 10^{-3}$ рад), что указывает на относительно высокую плотность дефектов кристаллической решетки мартенсита. Последующая обработка магнитно-динамическим методом (образец 2) приводит к возрастанию β до $16,79 \cdot 10^3$ рад для линии (110) и $35,39 \cdot 10^{-3}$ рад – для (220), что свидетельствует об увеличении плотности дефектов кристаллической решетки после указанной обработки.

Для образца 2 величина отношения β_{220}/β_{110} равна 2,11, что достаточно близко к величине $\sec\theta_{220}/\sec\theta_{110} = 1,91$. Такая зависимость свидетельствует о формировании в поверхностных упрочненных слоях фрагментированных структур, характеризующихся скоррелированным расположением дислокаций в виде стенок, образующих границы блоков, ячеек или субзерен.

Располагая данными по значению величины β для различных образцов стали, можно, с одной стороны, оценить размер D ячеек субзеренной структуры, который, как показал проведенный расчет, для образца 2 составляет 12 нм. Это свидетельствует о том, что в поверхностных слоях закаленной стали, прошедшей магнитно-динамическое упрочнение, формируется наноразмерная субзеренная структура. С другой стороны, имеющиеся данные по физическому уширению линий (110) и (220) матричной α -фазы позволяют провести оценку параметров дислокационных структур в поверхностных слоях исследованных образцов.

Проведенные расчеты показали, что увеличение плотности дислокаций после магнитно-динамического упрочнения для выбранных образцов составило 14,5 %.

$$M_{\Sigma z} = 0,5 \sum |C_z| \cos \theta_z [(d_{az} - d_{bz}) + (em_{az} - em_{bz}) + (\alpha_{az} t_{az} - \alpha_{bz} t_{bz})], \quad (3)$$

где θ_z – углы между направлением линии смещения осей и линией исходного размера; d_{az} , d_{bz} – номинальные значения диаметров отверстия и вала; em_{az} , em_{bz} – средние отклонения диаметров.

Наибольшее влияние на динамику изменения точности изделия будет оказывать износ поворотных элементов (соединения вал-втулка). В нашем случае выделяем три группы размеров: независимые случайные скалярные величины, характеристики соединений деталей с зазором и функционально зависимые размеры (зазоры в соединениях вал-втулка). Математическое ожидание обобщенной функции:

$$M_{\Sigma} = M_{\Sigma s} + M_{\Sigma z} + M_{\Sigma f} \quad \text{или} \quad M_{\Sigma f} = M_{\Sigma} + M_{\Sigma s} + M_{\Sigma z}. \quad (4)$$

В случае линейной функциональной связи зависимых величин показатель $Y = aX + b$, где X – скорость изнашивания деталей в процессе эксплуатации. Для равномерного износа принимаем $b = 0$. По опытным данным, $a = T^{\beta}$, где T – ресурс изделия, β – эмпирический коэффициент. Таким образом, для изнашивающихся деталей $Y = T^{\beta} \cdot X$, или $C_i a_i = C_i T^{\beta}$.

В нашем случае характер и скорость изнашивания для всех деталей полагаем одинаковыми. Тогда математическое ожидание функционально зависимых величин M_f можно определить по формуле:

$$M_{\Sigma f} = T^{\beta} \cdot (N + em + \alpha t) \cdot \sum C_i T^{\beta}. \quad (5)$$

Приравняв уравнения (4) и (5), получим уравнение для определения математического ожидания ресурса изделия:

$$M[T] = \beta \sqrt{\frac{M_{\Sigma} - M_{\Sigma s} - M_{\Sigma z}}{(N + em + \alpha t) \sum C_i}}. \quad (6)$$

Зная допуски и коэффициенты рассеяния звеньев, аналогичным образом можно определить поле рассеяния ресурса $t[T]$ и предельные значения ресурса изделия по формулам:

$$T_{\min} = M[T] - 0,5t[T]; \quad (7)$$

$$T_{\max} = M[T] + 0,5t[T]. \quad (8)$$

Ввиду отсутствия опытных данных по характеристикам рассеяния размеров и эмпирического коэффициента β , абсолютные значения расчетных параметров не столь значимы для практики, как их отношение по сравниваемым вариантам. Проведенными расчетами установлено повышение точностного ресурса для второго варианта конструкции при условии непрерывной работы шарнира. Это можно объяснить увеличенным размером поворотного элемента.

Таким образом, разработанная методика размерного анализа конструкций с линейными и угловыми звеньями, учитывающая динамику их изнашивания, позволяет на стадии проектирования выполнить сравнительную оценку точностного ресурса изделия.

П.Н. ГРОМЫКО, Л.Г. ДОКОНОВ, П.С. ГОНЧАРОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Упростить процесс формообразования зубьев сателлита планетарной прецессионной передачи возможно, применив, так называемые способы формообразования пространственно – модифицированных зубьев с использованием упрощенных профилей.

Зубья сателлита ППП с упрощенными профилями – это зубья, изготовление которых возможно традиционными методами зубообработки с использованием стандартного зуборезного инструмента.

Идея использования зубьев с упрощенными профилями возникла после создания и анализа поверхностей теоретически точных компьютерных моделей зубьев сателлита.

Визуальный анализ компьютерной модели теоретически точного зуба, полученного методом компьютерного моделирования, позволил сделать вывод, что одна часть поверхности зуба имеет сложную пространственно – модифицированную поверхность. Другая часть поверхности зуба представляет собой эвольвентную коническую поверхность с малым углом конуса. Проведенные теоретические и практические исследования позволили доказать, что для получения более высоких значений КПД и повышения плавности работы необходимо использовать именно вторую часть зуба, имеющую эвольвентную коническую поверхность.

Так как коническая поверхность зуба сателлита имеет малый угол конусности, было предложено заменить его на обычный эвольвентный зуб. Т.е. была высказана идея использования в прецессионном зацеплении обычных эвольвентных профилей зубьев центрального колеса и сателлита. Данное зацепление было названо адаптированным эвольвентным зацеплением, а используемые профили зубьев – адаптированными эвольвентными профилями. Отличительными особенностями расчета адаптированных эвольвентных зубьев от зубьев обычной эвольвентной цилиндрической передачи является их уменьшенная высота зубьев (высота зуба берется равной значению модуля), а также нарезания зубьев сателлита с использованием значительных коэффициентов смещения исходного контура инструмента ($\xi \geq 3$).

Следует отметить, что адаптированные эвольвентные зубья ранее использовались в разработанных на базе ППП конструкциях ручных и электрических лебедок, а также в редукторах для привода контактных разьедителей, применяемых на электрифицированных участках железной доро-

Д.М. СВИРЕПА, Д.М. РЫЖАНКОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Известен эффективный метод магнитно-динамического упрочнения, при котором обеспечивают непрерывное взаимодействие или периодическое соударение деформирующих элементов с обрабатываемой поверхностью за счет энергии постоянного или переменного магнитного поля.

Однако рентгеноструктурные исследования обработанных поверхностей деталей до настоящего времени не проводились. Исследования проводились на двух образцах. В качестве образцов для исследования выбраны втулки размером ($D \times d \times h$): 130 x 110 x 50 мм.

Образец 1 – материал – сталь 45 (43HRC) после растачивания на токарном станке.

Образец 2 – получен после упрочнения образца 1 методом магнитно-динамического раскатывания. Упрочняющую обработку внутренней поверхности втулки осуществляли специальным магнитно-динамическим раскатником на вертикально-фрезерном станке модели ВФ 130. Режимы упрочнения: частота вращения инструмента $n=2240$ об/мин, подача $S=50$ мм/мин; охлаждение – масло индустриальное.

Рентгеноструктурные исследования проводили на автоматизированном рентгеновском комплексе на базе дифрактометра ДРОН-3М в $\text{CoK}\alpha$ -излучении с применением монохроматизации дифрагированного пучка. В качестве кристалла-монохроматора использовали пластину пиролитического графита. Для получения информации о структуре поверхностных слоев проводили запись дифракционных линий (110) и (220) матричной $\alpha\text{-Fe}$ фазы, расположенные в интервале углов рассеяния $2\theta = 49\text{--}56^\circ$, $2\theta = 118\text{--}130^\circ$ соответственно. Рентгеновская съемка выполнялась при напряжении $U=25$ кВ, токе $J=12$ мА в режиме сканирования (по точкам) с шагом $0,1^\circ$. Продолжительность набора импульсов в точке в случае линии (110) составляла 20 с, линии (220) – 30 с. Период кристаллической решетки образцов закаленной стали 45, а также напряженное состояние поверхностных слоев оценивали по результатам записи дифракционной линии (220). Физическое уширение β исследуемых линий определяли методом аппроксимации, при этом вводили поправки на геометрию съемки и неоднородность излучения. Размер субзерен D , сформировавшихся в поверхностных слоях стали после ее обработки по различным ре-

УДК 621.034.4:534.6
ПОВЫШЕНИЕ УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ
ПОКРЫТИЙ АРМИРОВАННЫХ СТЕКЛОВОЛОКНОМ
В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

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

Объектом исследований в данной работе служили антикоррозионные покрытия из эпоксидного композита, армированного стекловолокном. Критерием качества покрытия выбрана величина ударного разрушающего напряжения (КС). Ударная прочность эпоксидного покрытия, армированного стекловолокном является функцией многих переменных в том числе и от равномерного распределения волокнистого наполнителя по объему покрытия. Равномерность распределения волокнистого наполнителя зависит от длины волокон амплитуда колебания, времени воздействия ультразвука, физического состояния связующего и химической природы волокна. Для равномерного распределения волокнистого наполнителя в эпоксидном покрытии применялся ультразвук.

Полимерное эпоксидное покрытие с стекловолокном наносили в литевой форме под давлением. Ультразвук подводили к литевой форме при помощи магнитострикционного преобразователя ПМС-15А-18. Питание магнитостриктора осуществлялось от генератора УЗГ-4м, который позволял изменять амплитуду колебаний волновода от 13–24 мкм на частоте 19,5 кГц.

Изменение амплитуды колебания волновода исследовались с помощью оптического микроскопа МБИ-1 при увеличении $\times 320$.

Перед нанесением защитного покрытия в эпоксидный композит добавляли стекловолокно $\varnothing 10$ мкм длиной 5–10 мм и тщательно перемешивали в шнековом смесителе.

Литевую форму герметично закрывали и подавали эпоксидный композит под давлением, фиксируемым манометром и включали ультразвук. Ультразвуковые колебания приводили к разогреву эпоксидного композита на поверхности раздела полимер-волокно из-за различия их акустического сопротивления. Кроме того, на границе раздела полимер-волокно имеется газовая прослойка, что может привести к возникновению кавитационной полости, которая заполняется парами газов из окружающей смолы, что приводит к дегазации и снижению вязкости композита.

Оптическими исследованиями установлено, что в ультразвуковом поле стекловолокно более равномерно распределяется по толщине покрытия. Вероятнее всего, в поле ультразвуковых волн возникают силы трения между молекулами эпоксидной смолы, движущимися быстрее чем стекловолокно. А, следовательно, приводит к интенсивному перемешиванию смолы и волокна.

После отверждения покрытия подвергались испытанию на ударную прочность. Исследования показали, что ударная прочность покрытий армированных стекловолокном в ультразвуковом поле в 1,5-2 раза выше, чем у покрытий, полученных без применения ультразвука.

Однако эксплуатационные показатели прецессионных редукторов с адаптированными эвольвентными профилями находились на относительно низком уровне. Их применение в приводах контактных разъединителей стало возможным лишь только по причине не высоких требований данного привода к выходным показателям встраиваемых в их конструкцию редукторов.

Учитывая то, что ранее применение адаптированных эвольвентных зубьев в зацеплении ППП являлось единственным, внедренным в производство, способом обработки зубьев сателлита, обеспечивающим работу прецессионных редукторов, в дальнейшем данный способ обработки зубьев сателлита будем рассматривать как базовый. Т.е. эксплуатационные показатели прецессионных редукторов с адаптированными эвольвентными зубьями сателлита являются исходной точкой для сравнительного анализа эксплуатационных показателей прецессионных редукторов, создаваемых на основе новых способов обработки сателлита.

Специалистами лаборатории по прецессионным передачам были предложены для исследования три способа формообразования зубьев сателлита, базирующихся на использовании упрощенных профилей:

- изготовление приближенных зубьев сателлита на основе использования метода двойного рабочего хода;
- образование приближенных зубьев сателлита методом конического фрезерования;
- формообразование зубчатых венцов ППП на основе использования в качестве зубчатого венца центрального колеса конических роликов и зубьев сателлита, представляющих собой зубья звездочки цепной передачи.

Раскроем кратко сущность каждого из новых предложенных способов формообразования зубьев сателлита с использованием упрощенных профилей.

Первый метод, так называемый метод двойного рабочего хода, абсолютно не требует применения при нарезании никакой технологической оснастки. В начале, на заготовке сателлита производится нарезание левых косых зубьев с необходимым углом наклона, а затем осуществляется перенастройка оборудования и осуществляется нарезание косых зубьев с правым углом наклона. Второй предложенный метод – это метод конического зубофрезерования, заключается в обычном нарезании зубьев червячной фрезой, однако, при этом осуществляется радиальная подача инструмента, обеспечивающая коническую форму зубьев сателлита. Нарезание зубьев сателлита третьим методом представляет собой процесс обработки зубьев звездочки цепной передачи. Применение профиля звездочки цепной передачи в качестве профиля зуба сателлита стало возможно благодаря использованию в конструкции планетарной прецессионной передачи в качестве зубчатого венца центрального колеса конических роликов.

Применение указанных выше способов позволяет повысить технологичность конструкции прецессионных редукторов.

В.А. ДАНИЛОВ, Р.А. КИСЕЛЕВ, О.В. ЯЛОВСКИЙ

Учреждение образования
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Новополоцк, Беларусь

Применяемые способы обработки пазов на торцах кольцевых деталей типа кулачковых и храповых муфт зачастую не удовлетворяют современным требованиям по производительности. Создание более эффективных способов обработки связано с синтезом рациональных схем формообразования на основе следующих универсальных принципов:

- перенесение функции кинематики формообразования на инструмент для упрощения механики и конструкции станка;
- совмещение исполнительных движений деления и формообразования для обеспечения непрерывности процесса обработки, сокращения вспомогательного времени и повышения производительности;
- управление процессом формообразования пазов кинематическим, геометрическим или комбинированным методами;
- задание параметров схемы обработки, режущей части инструмента и исполнительных движений, обеспечивающих благоприятные, с точки зрения динамики, условия резания и работы механизмов станка.

Кроме указанных общих принципов необходимо учитывать также особенности формирования конкретных поверхностей, обусловленные их геометрией и взаимным расположением. Исходя из этого, применительно к обработке пазов на торце кольцевой детали важны следующие положения.

1. Множество методов формообразования пазов определяется возможными сочетаниями методов получения профиля паза и его формы по длине, а также заданной последовательностью формирования поверхностей пазов. При этом каждая из обеих производящих линий паза может быть образована методами следа, касания, копирования, обката и возможными сочетаниями этих методов при осуществлении процесса формообразования во времени одновременно, непрерывно или прерывисто.

2. В качестве направляющих боковых поверхностей паза целесообразно использовать циклоидальные кривые, соответствие формы которых номинальной технически просто обеспечивается заданием параметров схемы обработки при настройке станка. За счет этого боковым сторонам пазов может быть придана форма, обеспечивающая, например, минимальную концентрацию напряжений в зоне их контакта и повышенную долговечность кулачковой муфты (патент РБ № 6063).

Полученные результаты свидетельствуют об ином механизме формирования сфероидов из первичной частицы нежели образование их за счет потоков с внешней поверхности, когда на начальных стадиях наблюдается изменение формы первичных (базовых) частиц до эллипсообразных и далее постепенно выделяется сфероид, связанный с базовой частицей перемычкой. В данных исследованиях ничего подобного зафиксировано не было.

Таким образом, частицы с расплавленным материалом матрицы являются своеобразными пульсирующими генераторами ультрадисперсных сфероидов. Кроме того, сравнительные исследования различных составов порошков в виде тугоплавких боридов и карбидов показали, что их измельчение в плазменном потоке происходит за счет дробления частиц (продуктов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза) и последующей сфероидизации образовавшихся более мелких частиц. В случае, если исходные материалы являются плотными и компактными (продукты печного синтеза), то уменьшение размера исходных частиц происходит только в процессе сфероидизации.

Обнаружен и изучен механизм диспергирования оксидных микрокомпонентов в плазменном потоке, названный «импульсное деление».

Показано влияние размера исходных частиц и мощности плазменного генератора на эффективность измельчения порошка.

Предложенный метод диспергирования можно использовать для получения полидисперсных порошков, в том числе ультрадисперсных и наноразмерных со сферической формой частиц; с аморфной, кристаллической и аморфно-кристаллической структурой.

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ
В ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ

Н.А. РУДЕНСКАЯ, Г.П. ШВЕЙКИН, Н.В. СОКОЛОВА

Технопарк БНТУ «ПОЛИТЕХНИК»

«ИХТТ УрО РАН»

Учреждение образования

«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Новополоцк, Беларусь; Екатеринбург, Россия

Эксперимент проводили в потоке низкотемпературной плазмы. В качестве исходных материалов использовали полидисперсный порошок (менее 100 мкм) из оксидной керамики $TiO_2 - Al_2O_3 - ZrO_2 - SiO_2$, а также порошки диборидов хрома, циркония и карбидов вольфрама, титана как полидисперсных, так и монодисперсных.

В ходе исследований обнаружен и изучен новый процесс формирования микро-, ультра- и наноразмерных сфероидов, названный «импульсное деление», сущность которого сводится к следующему: в плазменном потоке происходит интенсивное измельчение как полидисперсного, так и монодисперсного исходного порошка.

Объяснение этого явления обычным механическим измельчением не дало согласующихся с экспериментом результатов. Специальные электронно-микроскопические исследования порошков-продуктов синтеза, извлеченных из реактора на разных стадиях процесса, позволили выявить некоторые особенности плазменного диспергирования микроконгломератов и представить его в нижеприведенном варианте. В высокотемпературной зоне плазменной струи происходит нагрев, предплавление и плавление объемов микрокомпозитов в зависимости от их дисперсности, состава и режимных параметров процесса. Из объема частицы, достигшей стадии плавления матричной составляющей, выделяется 3–4 сектора, обозначенных конвективными потоками, которые приводят в движение тугоплавкие включения композиции, способствуя тем самым их укрупнению. Так формируются центрально- и объемно-ориентированные кристаллические фрагменты в материале матрицы композиционной частицы. Одновременно с этими процессами происходит и диспергирование частиц микрокомпозитов, заключающееся в выделении из объема последних ультрадисперсных частиц сферической формы. В результате секториальной конвекции расплавленного объема частиц с одной стороны инициируется выталкивание определенной доли массы расплава с образованием микро- или ультрадисперсного сфероида, при этом с противоположной стороны частицы формируется углубление, имеющее форму воронки.

3. Непрерывность формирования множества обрабатываемых пазов может быть обеспечена кинематическим методом (при одном производящем элементе) или сочетанием кинематического и геометрического методов (при нескольких производящих элементах). Во втором случае количество формируемых пазов зависит от числа режущих зубьев и соотношения угловых скоростей инструмента и заготовки. Последняя величина обусловлена также последовательностью формирования пазов. При этом режущие зубья должны быть установлены равномерно по окружности с определенной точностью, которая определяется исходя из требуемой точности шага расположения пазов.

4. В зависимости от профиля, формы по длине и ширины паза его поверхности могут обрабатываться одновременно или последовательно. Одновременная обработка боковых поверхностей и дна паза характеризуется высокой производительностью, но возможность ее осуществления обусловлена жесткостью элементов технологической системы. При недостаточной жесткости выполняется раздельная обработка этих поверхностей. В этой связи у широких пазов, исходя из динамики процесса резания, предпочтительно дно обрабатывать отдельно от боковых поверхностей, что обеспечивается последовательным выполнением движений врезания и профилирования дна паза (а.с. СССР № 1798055).

Схема формообразования пазов определяется видом характеристического образа инструмента (точка, множество точек, линия, множество линий, поверхность), формой производящих элементов инструмента, методами формообразования его поверхностей и параметрами исполнительных движений. Поэтому синтез схемы формообразования пазов включает следующие основные этапы:

- распределение, исходя из метода формообразования, функции формообразования между инструментальной и кинематической системами станка;
- оптимизация структуры и параметров исполнительных движений, в частности, за счет исключения реверсивных движений;
- анализ схемы профилирования поверхности и условий резания исходя из ее формы, точности формообразования и требований к геометрии резания.

На основе изложенного подхода разработаны способы обработки деталей с торцовым зубчатым контуром резцовыми головками, червячными инструментами и инструментами секторного типа (патенты РБ №№ 553, 1550, 7041, 7846, 9765), реализация которых на универсальном и специально созданном станочном оборудовании обеспечила существенное повышение производительности и точности нарезания зубчатых контуров на торцах деталей различного назначения.

УДК 621.787
МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА
ДЛЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

А.М. ДОВГАЛЕВ, С.А. СУХОЦКИЙ

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

Среди известных способов повышения эксплуатационных свойств поверхностей деталей наиболее эффективными являются методы поверхностного пластического деформирования.

Поверхностное пластическое деформирование изменяет микроструктуру и физико-механические свойства поверхностного слоя металла, формирует благоприятные остаточные напряжения и выгодную топографию микронеровностей, повышает усталостную прочность, контактную выносливость и износостойкость деталей.

Большой научно-практический интерес представляет собой новый метод магнитно-динамического упрочнения (МДУ), при котором силовое взаимодействие деформирующих элементов с обрабатываемой поверхностью детали обеспечивается за счет энергии концентрированного магнитного поля. Разработаны конструкции инструментов для осуществления магнитно-динамического упрочнения внутренних и наружных поверхностей. На начальной стадии находятся работы по созданию инструментов для упрочняющей обработки плоских поверхностей.

Данная работа посвящена изучению теоретических основ кинематики и динамики движения шаров-ударников и деформирующих шаров инструмента при их периодическом взаимодействии.

Выбор конструктивных параметров магнитно-динамических инструментов для обеспечения заданных чертежом качественных характеристик плоских поверхностей деталей целесообразно осуществлять с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР), функционирование которой основано на моделировании работы инструмента.

Математическое моделирование инструмента выполнено в следующей последовательности: исследовано движение шара-ударника от периферийной поверхности магнитопроводного диска, контактирующего с магнитом и имеющего постоянные характеристики магнитного поля, до опорной поверхности корпуса инструмента; рассмотрены кинематические характеристики шара-ударника при его перемещении по опорной поверхности корпуса инструмента; выполнен анализ характеристик взаимодействия шара-ударника с деформирующим шаром инструмента.

Получены аналитические зависимости для определения рациональных конструктивных параметров двухрядных инструментов.

хрома исходные частицы в напыленном слое имеют сферическую форму. В структуре TiB_2 – содержащих покрытий отмечено присутствие исходных частиц как сферической, так и неправильной формы. Кроме того, в покрытиях с диборидом титана имеются участки, соответствующие по составу TiO_2 . Оксидные фазы распределены в основном вокруг боридных включений, что свидетельствует о протекании окислительных процессов именно при формировании покрытия, так как сфероидизацию проводили в среде инертного газа.

Вторая часть исследований посвящена границе раздела покрытий со стальной подложкой. Здесь следует отметить, что все покрытия характеризуются высоким качеством этой зоны, отсутствуют даже одиночные поры. Необходимо отметить, что область материала подслоя является также композиционной, поскольку в ней присутствуют как слои, так и исходные частицы материала основного слоя покрытия, что позволяет утверждать о наличии перемешивания материалов основного слоя и подслоя в процессе формирования покрытия.

Таким образом, получены следующие положительные результаты при напылении тугоплавких порошков сверхзвуковым плазмотроном: сформирована плотная структура основного слоя различных составов покрытий (содержащих оксиды и бориды титана, хрома, алюминия, кремния, циркония); граница раздела сталь – напыленный слой характеризуется высоким качеством и композиционной структурой.

Н.А. РУДЕНСКАЯ, К.Й. ЧОЙ, Н.В. СОКОЛОВА
Технопарк БНТУ «ПОЛИТЕХНИК»
ОАО «ТЕХПЛАЗМА»
Учреждение образования
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Новополоцк, Беларусь; Дмитров, Россия

Материалы, в состав которых входят тугоплавкие компоненты, рационально напылять плазменным методом. Плазменные генераторы для нанесения покрытий выбирают исходя из состава, дисперсности исходных порошков и тех свойств, которые требуется придать покрытию. Широкие возможности плазмотронов позволяют успешно напылять различные виды микрокомпозитов. Так, с помощью сверхзвуковой плазмы реализовано напыление тугоплавких материалов с минимальным содержанием компонента связки и в чистом виде.

В качестве исходных материалов использованы керамические порошки: оксидные и боридные композиции. Порошки на основе боридов подверглись предварительной сфероидизации. Напыление покрытий проводилось полидисперсными композициями. Эталонном служило покрытие из корунда. Порошки наносились на стальные образцы с помощью сверхзвукового плазмотрона. Материалом подслоя был выбран сплав Ni-Al.

Рассмотрены особенности структурообразования покрытий двух типов: содержащих оксиды и бориды. Сравнительный анализ микроструктуры покрытий из оксидных микрокомпозитов, напыленных дозвуковым (покрытия Д) и сверхзвуковым (покрытия С) плазмотронами, свидетельствует о том, что покрытия, сформированные по технологии Д характеризуются слоистой структурой. Покрытия, полученные по технологии С, имеют структуру композита: в материале матрицы достаточно равномерно распределены включения неправильной формы, их количество и размер увеличиваются при переходе от Al_2O_3 к оксидной керамике.

Исходные порошки в виде микрокомпозитов на основе боридов хрома и титана сфероидизировали в потоке низкотемпературной плазмы. Исследования эффективности сфероидизации порошков показали, что композиции, содержащие диборид хрома, отличаются более высоким выходом сферического продукта в сравнении с порошками, в состав которых входит диборид титана. И это заметно отразилось на структуре напыленных слоев, которая состоит из деформированных частиц (имеющих вид слоев в напыленном покрытии) и исходных частиц. В варианте состава с диборидом

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

Как правило, расчет любой размерной цепи начинается с определения конструктором эксплуатационно-допустимых границ поля допуска сопряжения. Затем, в случае расчета трехзвенной размерной цепи, по известному полю допуска осуществляется подбор стандартных полей допусков составляющих звеньев и распределения допуска замыкающего звена по допускам звеньев размерной цепи. При этом зачастую необходимо обеспечить запас, компенсирующий износ звеньев сопряжения в процессе эксплуатации.

При проведении расчетов по методу полной взаимозаменяемости возникает необходимость анализа значительного количества информации представленной в виде табличных данных, при сравнительно простых вычислениях. В случае проведения анализа на основе метода неполной взаимозаменяемости сложность вычислений значительно возрастает. В связи с этим метод неполной взаимозаменяемости зачастую неоправданно исключается из рассмотрения при расчетах трехзвенных размерных цепей.

С целью автоматизации процесса выбора и назначения допусков составляющих звеньев трехзвенных размерных цепей авторами была разработана компьютерная программа в виде макроса на языке Visual Basic в среде MS Excel. Разработанный программный продукт предназначен для анализа и выбора посадок с зазором и натягом гладких цилиндрических сопряжений в интервале размеров от 1 до 3150 мм.

В качестве исходных данных при расчетах используется информация: вид требуемой посадки (с зазором или натягом, система основного вала или отверстия); диаметр сопряжения; эксплуатационно-допустимые границы поля допуска сопряжения; допустимый процент брака. Ввод исходной информации о рассчитываемом сопряжении осуществляется через интерфейс пользователя.

Анализ проводится параллельно двумя методами обеспечения точности: полной и неполной взаимозаменяемости. Результатом вычислений является упорядоченный перечень посадок, обеспечивающий заданный эксплуатационный допуск замыкающего звена. Ранжирование посадок осуществляется с учетом предпочтительности, требований к точности составляющих звеньев. Каждая предполагаемая посадка сопровождается допол-

нительной информацией, включающей значения допусков замыкающего и составляющих звеньев, ожидаемую долю бракованных изделий в процентном выражении, обеспечиваемые запасы на эксплуатационный износ.

Анализ посадок по методу неполной взаимозаменяемости осуществляется на основании положений теории вероятностей при условии подчинения полигона рассеивания размеров составляющих звеньев закону нормального распределения, и условию равенства коэффициента относительной асимметрии нулю, а коэффициента относительного рассеивания - единице.

В состав программы включена информационная база данных, содержащая сведения о действующей системе посадок. База данных представляет собой два массива, один из которых содержит информацию о допусках, а второй информацию о значениях отклонений. Так же в состав базы данных включен перечень предпочтительных посадок к применению.

Условно структуру программы можно разбить на несколько частей. Модуль ввода исходной информации – служит для ввода исходных данных и выполняет анализ их корректности. Модуль расчета - осуществляет анализ посадок и расчет выходных параметров. Модуль вывода результатов расчета – обеспечивает преобразование полученных результатов в стандартный вид и представление ее в удобном для пользователя виде.

В процессе сравнительного анализа посадок для сопряжения с зазором $\phi 200$ мм с минимальным эксплуатационным зазором в 25 мкм и максимальным в 190 мкм установлено, что оптимальной посадкой, обеспечивающей точность по методу полной взаимозаменяемости, является Н8/f7, а по методу неполной взаимозаменяемости – Н8/h9 (при вероятности возникновения бракованных изделий – 0,12 %). Запас на эксплуатацию по максимальному зазору составит: для посадки Н8/f7 – 22 мкм, Н8/h9 – 28 мкм.

Для посадки Н8/h9 существует вероятность появления бракованных изделий – однако, в данном рассматриваемом случае, брак является исправимым и связан с возможностью получения изделий после сборки с зазором меньше требуемого. В связи с тем, что для обработки поверхности вала $\phi 200$ f7 требуется выполнение операции «шлифование», а для вала $\phi 200$ h9 достаточно только токарной обработки, следует ожидать существенного снижения стоимости механической обработки.

Использование параллельного расчета по методу неполной взаимозаменяемости позволяет, в ряде случаев, применить посадки с точностью составляющих звеньев на один – два квалитета грубее по сравнению с посадками, выбранными по методу полной взаимозаменяемости, что позволяет снизить стоимость механической обработки составляющих звеньев при приемлемых эксплуатационных показателях сопряжения после сборки.

ных фаз в покрытиях не выявлено. Введение в растворы частиц оксида ванадия способствует образованию поликристаллического покрытия, что, как правило, положительно сказывается на его механической прочности, упругости, пластичности.

Хотя в модифицированных покрытиях не обнаружено ощутимых количеств соединений ванадия, их микроструктура кардинальным образом отличается от структуры чисто медных пленок. Размеры зерен, слагающих КЭП на 1–1,5 порядка меньше, чем в чисто медных пленках, синтезированных при таких же условиях, а сами зерна имеют очень плотную упаковку с почти неразличимыми границами. Модифицированные покрытия сформированы из плотно упакованных зерен с размерами 0,2–1 мкм и формой, близкой к сферической; тогда как исходные медные пленки состоят из крупных кристаллитов пирамидальной формы с размерами 5–10 мкм и четко выраженными ступенями роста под углом к поверхности. Эти особенности микроструктуры оказывают существенное влияние на функциональные свойства покрытий.

Коррозионная стойкость композиционных пленок в растворах кислот и щелочей в 1,2–1,5 раза превышает устойчивость металлургической и гальванической меди, причем по мере испытаний коррозия модифицированных пленок постепенно замедляется, тогда как чистой меди - интенсифицируется. При этом покрытия пластичны, не растрескиваются и не отслаиваются от стальной основы при механических нагрузках, ударах и перегибах. При исследовании износостойкости КЭП методом истирания было установлено, что пленки, синтезированные из растворов, содержащих V_2O_5 , отличаются в 2–4 раза большим коэффициентом трения, чем исходные медные, полученные в тех же условиях. Микротвердость пленок при введении в электролит меднения неметаллической фазы возрастает на 15–17 % по сравнению с исходной медью.

Полученные материалы являются перспективной заменой деформирующихся медных сеток в фильтрах пожарных насосов, а также могут выполнять роль надежной герметизации в резьбовых соединениях пенных коммуникаций, топливо- и маслопроводов пожарной аварийно-спасательной и автотехники, так как при более высоких физико-механических свойствах они сохраняют пластичность меди, а так же ее коэффициент термического расширения.

Выводы. Разработан эффективный способ электрохимического осаждения с высокой скоростью (до 60–80 мкм/ч) коррозионно- и износостойких пластичных покрытий на основе меди для надежной герметизации резьбовых соединений насосов и трубопроводов с агрессивными жидкостями.

О.В. РЕВА, А.Е. ЛУПАНДИН, С.А. МИХАЛЮК

Государственное учреждение образования
«КОМАНДНО-ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ МЧС»
Минск, Беларусь

Гальванические покрытия из меди и композиционных материалов на ее основе широко используются в технике для восстановления изношенных деталей машин, герметизации резьбовых соединений трубопроводов высокого давления (топливо- и маслопроводов и др.), создания пластичных и паяемых уплотняющих слоев. Материалы нового поколения особенно востребованы для производства и ремонта спасательной техники, эксплуатирующейся в экстремальных условиях и требующей повышенной надежности. Проблема недостаточной механической, коррозионной и износостойкости чисто медных пленок может быть решена путем синтеза композиционных материалов, содержащих в медной матрице частицы оксидов и карбидов цветных металлов, соединений бора, фосфора, кремния и др., модифицирующих состав и структуру покрытий, придавая им принципиально новые физико-механические свойства. Электрохимическое осаждение защитных покрытий значительно менее материал- и энергоемко в отличие от методов наплавки и термического напыления, а также позволяет регулировать химический и фазовый состав покрытий, размеры зерен и плотность их упаковки, равномерность толщин на деталях сложной геометрической формы, что недостижимо металлургическими методами.

Цель данного исследования – разработка способа электрохимического осаждения модифицированных медных коррозионно- и износостойких покрытий, обеспечивающих надежную герметизацию резьбовых соединений трубопроводов и не подвергающихся коррозии в агрессивных средах, путем введения в скоростной кремнефтористый электролит меднения частиц оксида ванадия.

В результате проведенных исследований было установлено, что частицы V_2O_5 с размерами 1-3 мкм проявляют активность в процессе электровосстановления меди, о чем свидетельствует увеличение скорости осаждения покрытий из модифицированных электролитов, хотя обычно осаждение КЭП происходит медленнее, чем основного металла матрицы.

Методом рентгенофазового анализа установлено, что во всех исследуемых покрытиях, вне зависимости от условий синтеза присутствует только кристаллическая медь, но с очень сильно искаженной кристаллической решеткой. Несмотря на высокую скорость осаждения пленок, аморф-

А.А. ЖОЛОБОВ, А.В. КАЗАКОВ, А.В. ВАНЬКОВИЧ

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

При токарной обработке полого ступенчатого вала по мере удаления припуска и продвижения резца от задней бабки к шпиндельному узлу станка изменяются жесткость и деформация заготовки, величина упругой деформации передней и задней бабок. В результате получается деталь каждая ступень которой имеет погрешности в продольном сечении. При неблагоприятных условиях величина данной погрешности может превысить допуск на размер ступени.

Для оценки погрешностей обработки от деформации технологической системы была создана математическая модель, которая позволила выявить и оценить влияние деформации заготовки, инструмента, задней и передней бабок станка на точность и форму обрабатываемых поверхностей полого ступенчатого вала.

В созданной математической модели были учтены следующие параметры: отклонение от круглости (овальность) и погрешности профиля продольного сечения (конусность) исходной заготовки; смещение центровочных отверстий заготовки (при обработке в центрах); исходная шероховатость поверхности заготовки; погрешность базирования заготовки в патроне; смещение оси задней бабки; податливость шпиндельного узла; податливость задней бабки; жесткость инструмента; упругая деформация заготовки.

При разработке модели были сделаны некоторые допущения: материал поверхности заготовки имеет однородную структуру и равномерную твердость; шпиндельный узел и задняя бабка имеют одинаковую величину жесткости в направлении осей Y и Z.

Разработанная математическая модель на основе сведений о материале заготовки, размерах и шероховатости её поверхности, значениях режимов резания, геометрии инструмента, жесткости технологической системы, а также погрешности базирования позволила определить значения упругой деформации в каждой точке её поверхности по методу профессора В.С. Корсакова.

Данная модель может применяться в САПР направленных на повышение точности механической обработки полых ступенчатых валов при использовании токарных станков с ЧПУ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗОЙ

А.А. ЖОЛОБОВ, К.А. ШАЛЫЖИН, А.Л. ШИЛОВ

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

Эвольвентные шлицевые соединения, как и прямобочные, предназначены для передачи крутящего момента между ступицей и валом с одновременным обеспечением точности центрирования, высокой нагрузочной способности при ограниченных габаритах соединения, направленного осевого смещения ступицы относительно вала. В тяжелонагруженных механизмах эвольвентные шлицевые соединения вытесняют прямобочные. Это объясняется их повышенной прочностью, технологичностью, точностью центрирования и самоустановкой под нагрузкой. Повышенная прочность достигается благодаря большому количеству зубьев, утолщению их профиля к основанию и наличию закруглений у основания. Теоретический коэффициент концентрации напряжений при кручении в 2 раза меньше, чем у прямобочного профиля. Для обработки шлицевых валов эвольвентного профиля требуется меньший комплект более простых фрез с прямолинейными режущими кромками, чем для валов прямобочного профиля, вследствие чего эвольвентный профиль получается точнее. В сравнении с полигональными профилями типа «Р3G» и «Р4С» эвольвентные шлицевые профили имеют меньшие распорные усилия, деформирующие насаживаемые на вал тонкостенные детали, пригодны для работы в условиях осевых перемещений под нагрузкой, не имеют потребности в специальном оборудовании, проще контролируются.

Таким образом, эвольвентные шлицевые соединения обладают высокой конструкторской привлекательностью. Однако, в настоящее время, в производственных условиях возникает задача обеспечения точности их изготовления. Она особенно актуальна в следующих случаях: операции шлицефрезерования эвольвентных шлицевых поверхностей валов являются окончательными операциями их формообразования; шлицешлифование осуществляется на станках гаммы моделей 3В451(1–4), на которых обработка ведётся по методу обката, при этом инструмент воспроизводит на боковых сторонах шлицев не идеальную эвольвенту, а приближённую к ней дугу окружности.

Указанные обстоятельства, наряду с высокими требованиями к точности эвольвентных поверхностей, обуславливают предъявление высоких

и азота. Возникающие в таких системах напряжения растяжения весьма значительны (10–55 ГПа) и могут явиться причиной разрушения покрытия. Особенно негативно влияя напряжения растяжения на износостойкость покрытий при трении [4].

Определены кинетические особенности трения и изнашивания легированных АПП, влияние условий и режимов синтеза углеродных покрытий, легированных металлами, на значение коэффициента трения. Показано, что наиболее низкие значения коэффициента трения ($f=0,2-0,3$) регистрируются при введении в АПП меди. Углеродные покрытия, содержащие титан, характеризуются нестабильностью при трении и более высокими значениями коэффициента трения. Высокие триботехнические свойства легированных медью АПП можно объяснить образованием в зоне трения диспергированной медной пленки, которая выполняет функцию твердой смазки. При трении АПП, легированных титаном, в зоне контакта повреждения имеют локальный характер, и образование поверхностных структур отсутствует.

Медная пленка хорошо отводит тепло из пятен фактического контакта, снижает интенсивность протекания процесса графитизации АПП и его последующее окисление, которые согласно [1] являются основными стадиями изнашивания углеродной матрицы.

Таким образом, легирование АПП металлами, в частности, медью, титаном является эффективным методом снижения внутренних механических напряжений. При этом легированные покрытия сохраняют достаточную твердость. Наиболее высокие триботехнические свойства достигаются при введении в АПП меди. При трении таких покрытий коэффициент трения минимальный и его износостойкость значительно превышает износостойкость углеродных слоев, легированных другими металлами. Установленный эффект объясняется образованием в зоне контакта медной пленки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xiao-Hong Jiang, J.N. Yuan Sheng, V.P. Kazachenko et al., Influence of heat-treatment on mechanical and frictional properties of DLC films with and without Ti underlayer, *Tribology*, 24 (2004), 212-215.
2. A.V. Rogachev, N.I. Sajan, V.A. Emel'anov, A.N. Popov, Morphology and triboengineering properties of diamond-like coatings alloyed with metals, *Journal of friction and wear*, Vol. 27, 5 (2006), 53-56.
3. N.I. Sayan, A.V. Rogachev, A.N. Popov, V.P. Kazachenko Effect of substrate nature and heat treatment of diamond-like coatings on their tribological characteristics, *Journal of friction and wear* Vol. 26, 2 (2005), 61-64.
4. **Рогачев, А. В.** Восстановление и повышение износостойкости деталей машин / А. В. Рогачев, С. С. Сидорский. – Гомель: БелГУТ, 2005. – 343 с.

Д.Г. ПИЛИПЦОВ, А.В. РОГАЧЕВ, Р.В. БЕКАРЕВИЧ

Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.Ф.Скорины»
Гомель, Беларусь

Одним из основных направлений синтеза углеродных алмазоподобных покрытий (АПП) с высокими физико-механическими свойствами является создание систем, учитывающих особенности эксплуатации. Легирование АПП металлами, азотом влияет на их структуру и приводит к изменению механических и других свойств. В зависимости от природы металла и метода легирования металл в объеме покрытия находится или в виде фазы внедрения или в виде карбида [1].

Основной целью данной работы является установление особенностей влияния многокомпонентного легирования АПП на их морфологию и механические свойства. В качестве основных легирующих элементов выбраны титан, медь и азот [2]. Легирование АПП медью проводили из плазмы импульсного катодно-дугового разряда, введение титана в покрытие осуществлялось с помощью отдельного электродугового испарителя. Для определения концентрации легирующих элементов применялся рентгеноспектральный микрозондовый анализ. Основными характеристиками, определяющими механические свойства покрытий, были выбраны значения микротвердости, уровень внутренних механических напряжений, трибо-технические параметры.

Результаты исследования показали, что введение в покрытие меди приводит к значительному снижению микротвердости покрытия. Отметим, что высокие значения твердости наблюдаются при легировании АПП титаном до значений 49–50 %. Это может быть обусловлено образованием в объеме покрытия твердых карбидных фаз внедрения [2, 3].

Природа и концентрация легирующих элементов оказывает значительное влияние на характер и значение внутренних механических напряжений, возникающих в слоях при их синтезе. Однокомпонентные углеродные покрытия, сформированные вакуумно-плазменными методами, характеризуются не только высокой твердостью и высоким модулем упругости, но также и высокими внутренними напряжениями. Установлено, что их значения значительно снижаются при легировании. Так, введение в покрытие 2,7 % меди приводит к уменьшению напряжений более чем в два раза, при этом сохраняется достаточно высокая твердость. Интересным фактом является изменение характера напряжений при введении в покрытие меди

требований к параметрам их предварительной обработки в технологической системе шлицефрезерования червячной фрезой. Значимыми при этом являются следующие параметры: режимы резания; жесткости шпиндельного узла, задней бабки и опор инструментальной оправки; крутильная податливость привода станка; стойкость фрезы; размеры инструментальной оправки; упругие деформации заготовки, инструментальной оправки и её опор, шпиндельного узла и задней бабки; смещения центровых отверстий заготовки, оси задней бабки и опор инструментальной оправки; погрешности формы заготовки. Определение их оптимальных значений с помощью адекватного моделирования является более экономичным и производительным способом, чем эмпирическое исследование. Поэтому, в настоящее время, на кафедре «Технология машиностроения» университета создана программа управления входными параметрами технологической системы шлицефрезерования эвольвентных шлицевых поверхностей червячной фрезой, отличающаяся учётом радиального биения, погрешности профиля, износа инструмента.

Информационным обеспечением программы является комплекс баз данных, содержащих сведения об эвольвентных шлицевых профилях, инструментах, режимах резания, параметрах шлицефрезерного станка и заготовки. База данных эвольвентных шлицевых профилей является внутренней и содержит сведения об их размерах и геометрических характеристиках. База инструментов формируется на конкретном предприятии по имеющейся номенклатуре инструмента и оснастки. База данных параметров станка включает сведения о смещениях осей посадочных гнезд инструментальной оправки, жёсткостях шпиндельного узла и задней бабки, жёсткостях верхней и нижней опор инструментальной оправки, смещениях оси задней бабки. База данных параметров заготовки содержит сведения о величине и направлении смещения центровых отверстий, овальности и конусности заготовки.

Результаты работы программы представляются в виде координат шлицевого профиля в полярной и декартовой системах, а также в виде графиков профилей заготовки, номинального и реального шлицевых профилей с погрешностями.

Разработанная программа позволяет подбирать рациональные по точности значения режимов резания для станков с ручным управлением, а также рассчитывать их приращения для корректировки на шлицефрезерных станках с ЧПУ. Основными техническими эффектами применения разработанной программы являются снижение объёма бракованной продукции, в том числе и того количества, которое необходимо для отладки технологического процесса, а также повышение надежности и точности работы эвольвентного шлицевого соединения вследствие стабильности его геометрических параметров.

Д.А. ЗАБЕЛИН

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

Процесс сборки червячных передач является ответственным этапом в процессе их производства. Погрешности сборки вызывают уменьшение суммарного пятна контакта передачи, в результате чего снижается несущая площадь поверхности контакта сопряженных зубьев, неравномерно распределяются контактные напряжения и смазочные материалы. Это приводит к ухудшению эксплуатационных показателей, а также к усиленному износу рабочих поверхностей зубьев. Все это может стать причиной сокращения срока службы передачи.

Оценка качества сборки червячных передач может быть произведена путем анализа их кинематических погрешностей, а также амплитудно-частотных спектров. Для исследования зависимости между точностью сборки червячной передачи и ее кинематической погрешности в условиях РУП «Могилевлифтмаш» были проведены испытания нескольких партий червячных редукторов, входящих в механизм подъема кабины лифта, имеющих следующие технические параметры. Измерение кинематической погрешности редукторов производилось на специальном испытательном стенде.

По результатам анализа записей кинематических погрешностей червячных редукторов было установлено, что для выявления передач с наличием погрешностей сборки могут быть использованы методы метрического распознавания. При этом происходит распознавание принадлежности червячной передачи пораньше установленному классу. В данном случае было определено два класса состояний механических передач. К первому классу были отнесены передачи с уровнем шума, превышающим допустимый уровень, ко второму классу – передачи, у которых шум был в пределах нормы. Решение о принадлежности передачи к какому-либо из классов принималось на основе сравнения расстояний между данной передачей и эталонов установленных классов в многомерном пространстве признаков. В качестве координат такого пространства признаков использовались амплитуды гармонических составляющих кинематической.

Для исследования триботехнических характеристик модифицированных резин по схеме торцевого трения была спроектирована установка на основании машины трения СМТ-1. В процессе испытаний с ее помощью определялись коэффициент (момент) трения и температура резинового уплотнения. Давление в зоне трения составляло 0,1 МПа.

По результатам испытаний наименьший коэффициент трения показало покрытие АПП – 0,7. У покрытий АПП+N и АПП+Cu коэффициент трения составил 1 и 3,3 соответственно, у исходной резины – 5,7. Данные температуры коррелируют со значением коэффициента трения: АПП – 36 C° , АПП+N – 40 C° , АПП+Cu – 49 C° , исходная резина – 101 C° . Ресурсные испытания модифицированных резиновых уплотнений показали, что стойкость модифицированных резин в несколько раз превысила стойкость исходной резины.

После проведения триботехнических испытаний были изучены поверхности как исходных, так и модифицированных резиновых уплотнений. Снимки показали, что основным механизмом разрушения поверхности исходной резины в процессе трения является износ посредством «скатывания». Для АПП и АПП+Cu характерны трещины и вырывы материала, однако для последнего заметны следы переноса материала. На покрытии АПП+N присутствуют только мелкие трещины, что можно объяснить тем, что азот придает покрытию высокую эластичность.

Низкий коэффициент трения у модифицированных резин можно объяснить следующим образом. В процессе трения модифицированной резины с алмазоподобным покрытием на поверхности трения происходит его локальный разогрев в пятнах контакта, что приводит к графитизации покрытия и образования на поверхности трения графита, который является хорошей твердой смазкой. Графит остается не только на резине, но и переносится на индентор, о чем свидетельствуют изменения цвета его поверхности после работы с модифицированными резинами в отличие от индентора работающего с исходными резинами. Присутствие меди в АПП предположительно приводит к увеличению адгезионной составляющей силы трения, вследствие чего увеличивается коэффициент трения по сравнению с АПП.

Таким образом, нанесение алмазоподобных покрытий на поверхность резиновых уплотнений может значительно повысить их стойкость и долговечность.

С.В. ПЕТРОВ

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Гомель, Беларусь

Повышение долговечности резиновых уплотнений является актуальным направлением машиностроения, так как одним из распространенных причин ремонта является выход из строя герметизирующих уплотнений. Замена резинотехнических изделий (РТИ), обусловленная их преждевременным разрушением, увеличивает стоимость эксплуатации технических устройств, приводит к незапланированному простоем оборудования, существенным экономическим потерям. Нарушение герметичности уплотнительного узла вызывает утечки агрессивных жидкостей, нефти и нефтепродуктов, загрязнение природы, ухудшение экологической обстановки.

Одно из применяемых технологических направлений повышения ресурса РТИ заключается в целенаправленном изменении структуры и свойств поверхностных слоев. К числу наиболее перспективных методов этого направления следует отнести плазмохимические технологии, позволяющие формировать на поверхности РТИ тонкие полимерные покрытия, контролируя при этом порядок нанесения слоев и их состав. Данные покрытия практически не оказывают влияния на геометрические размеры узлов трения и позволяют существенно повысить служебные параметры резин. Однако процессы, протекающие при трении, физико-механические свойства поверхностно-модифицированных резин изучены недостаточно.

В данной работе исследовались алмазоподобные покрытия, образованные на готовых резинотехнических изделиях с целью улучшения их эксплуатационных характеристик. Для их получения использовалась серийная установка вакуумного напыления УВНИПА-1-001 (УРМЗ.279.070). Нанесение покрытий осуществлялось с помощью источника плазмы импульсного катодно-дугового разряда с центральным электродом $\varnothing 29$ мм из графита марки МПГ-6 (99,999 %) с плотностью $1,8 \text{ г/см}^3$, испаряющегося в процессе сильноточного дугового импульсного разряда. Углеродные покрытия наносились при напряжении разряда 250–300 В и частоте импульсов от 1 до 35 Гц. На поверхность резиновых уплотнений из маслобензостойкой резины 3826 на основе бутадиен-нитрильного каучука наносились покрытия: углеродное (алмазоподобное) покрытие (АПП), углеродное покрытие легированное азотом (АПП+N), углеродное покрытие легированное медью (АПП+Cu). Толщина покрытий составляла 0,132 мкм.

И.Д. КАМЧИЦКАЯ

Государственное учреждение высшего профессионального образования

«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Микрорельеф в виде лунок, образующийся после импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки плоской поверхности, не является следом деформирующего шара, так как пластическое течение металла происходит как в направлении подачи, так и в направлении обратном подаче, вызывая искажение соседнего микрорельефа, образованного ранее.

Образовавшийся микрорельеф после обработки можно сравнить с регулярным сетчатым вогнутым микрорельефом шестиугольного типа, получаемым в процессе вибронакатывания по схеме, предложенной проф. Ю.Г. Шнейдером.

В общем случае профиль лунки, оставляемой деформирующим шаром после обработки, характеризуется радиусом (a) и глубиной остаточного отпечатка (h) и описывается симметричной функцией $y(x)$. Радиус лунки находится в прямой зависимости от диаметра деформирующего шара и скорости вращения шара-ударника, а глубина лунки зависит от силы удара деформирующего шара по обрабатываемой поверхности. Изменение величины диаметров шаров пневматического накатника возможно в достаточно больших пределах, что позволяет управлять процессом образования оптимального микрорельефа на обрабатываемой поверхности.

Так как шероховатость поверхности в поперечном и продольном направлениях различна, то для оценки эксплуатационных свойств поверхности использование только стандартных характеристик шероховатости R_z , R_a , R_{max} по ГОСТ 2789-73 недостаточно.

В результате проведенных исследований шероховатости плоской поверхности (материал – СЧ20 ГОСТ 1412-85) после импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки было установлено, что на поверхности с параметром шероховатости $R_a = 1,25 \dots 2$ мкм обеспечивается образование больших средних радиусов закругления вершин микронеровностей $r = 5200 \dots 5800$ мкм, малый угол наклона их образующих в продольном направлении $\beta_{np} = 0,7 \dots 2^\circ$, в поперечном направлении $\beta_n = 3,5 \dots 5,5^\circ$, отношение средних радиусов закругления вершин микронеровностей к высоте микронеровностей $r / R_{max} = 440 \dots 900$, комплексный безразмерный параметр шероховатости Крагельского-Комбалова, учитывающий остроту выступов и их распределение по высоте $\Delta = 2,3 \cdot 10^{-4} \dots 9,9 \cdot 10^{-4}$.

А.В. КАПИТОНОВ, В.А. ПОПКОВСКИЙ, О.А. КАПИТОНОВ

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

Периодические дорожки планетарных шариковых и роликовых передач обрабатывают на фрезерных и шлифовальных станках с ЧПУ. Погрешности изготовления дорожек, влияющие на точность работы передачи, формируются уже на стадии разработки программы на станке с ЧПУ. При этом возникают погрешности аппроксимации, вычисления координат опорных точек, интерполяции, округления размеров и предсказания траектории движения режущего инструмента. Из-за указанных погрешностей получается траектория в виде ступенчатой линии, а на детали, соответственно, образуется искаженная поверхность.

Дискретность современных станков с ЧПУ составляет 1–10 мкм. При высоких требованиях к точности обработки дорожек следует учитывать долю погрешности интерполяции, так как будет возникать погрешность при округлении размеров до величины, кратной импульсу.

Погрешность аппроксимации возникает в результате приближенной замены криволинейного контура между опорными точками дуги, близким к нему контуром, составленным из ряда отрезков. При этом образованный контур не может точно повторять линию обрабатываемой дорожки, а только приближается к ней. При линейно-кусочной аппроксимации кривая линия заменяется ломаной, состоящей из коротких отрезков. Величина отклонения запрограммированного контура от теоретического зависит от количества точек, выбранных на кривой. Чем больше программируемых точек, тем меньше погрешность аппроксимации.

Проведены расчеты погрешности аппроксимации в зависимости от числа выбранных точек. Рассмотрены круговая интерполяция между опорными точками, сплайн и аппроксимация кривых дорожек полиномами до пятой степени. При этом определены погрешности отклонения обрабатываемого контура от теоретического.

В результате проведенных исследований, установлены погрешности программирования кривых периодических дорожек, их влияние на точность профиля дорожек и на точность работы планетарных шариковых и роликовых передач при оценке кинематических погрешностей. Эти исследования могут быть использованы при программировании обработки периодических дорожек на станках с ЧПУ.

ленного слоя стала структурированной, состоящей из нескольких фаз, что позволило управлять свойствами покрытий путем изменения их фазового состава. Дальнейшие исследования показали, что использование в качестве наплавочных материалов самофлюсующихся порошков на основе чугуна, более распространенной на машиностроительных предприятиях региона, не ухудшает, а по некоторым показателям повышает качество магнитно-электрических покрытий. В работе приведены результаты дюрометрических и металлографических исследований покрытий из самофлюсующихся порошков на основе стали и чугуна. Установлено, что твердость по Виккерсу магнитно-электрических покрытий из стального самофлюсующегося порошка составляет HV 690...695, из чугунного – HV 700...705, твердость подложки при этом составляет HV 230...236. Структура покрытий состоит из металлической матрицы и равномерно распределенных в ней боридов железа, обеспечивающих повышенную износостойкость при высокой пластичности покрытий. Испытания на изнашивание показали, что относительная износостойкость в условиях терния скольжения выше у покрытий из самофлюсующихся порошков на основе стали, и составляет 2...4 раза (в качестве эталона был принят образец из стали 45, подвергнутый улучшению); при испытаниях образцов в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания более высокую износостойкость показали магнитно-электрические покрытия из самофлюсующихся порошков на основе чугуна, относительная износостойкость при этом составила 2,5...5,5 раз (эталон тот же).

В работе показано, что использованные в магнитно-электрической технологии нанесения покрытий самофлюсующиеся порошки, изготовленные из стальной и чугунной дроби методом диффузионной металлизации, оказались не хуже серийно производимых самофлюсующихся сплавов производства РФ, США, Японии. При этом их себестоимость значительно ниже зарубежных аналогов.

Результаты исследований были апробированы при упрочнении и восстановлении шнека пневмовинтового насоса для ОАО «Гомельстойматериалы». При восстановлении рабочих поверхностей шнека использовались самофлюсующиеся материалы на основе чугуна с содержанием бора $9,5 \pm 0,7$ мас.%. Исследования твердости показали, что восстановленная магнитно-электрическим методом поверхность показала твердость HV 695...700, в то время как новый шнек, а также шнек, восстановленный методом электродуговой наплавки в среде углекислого газа, показали твердость HV 230...236. На испытаниях установлено, что шнек, восстановленный магнитно-электрическим методом с использованием самофлюсующихся порошков на основе чугуна, прослужил в 2 раза дольше нового, при этом производительность и КПД насоса оказались на 15...25 % выше, чем у насоса с серийно изготовленным шнеком.

Г.В. ПЕТРИШИН, М.П. КУЛЬГЕЙКО

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. П.О. Сухого»

Гомель, Беларусь

Существует ряд способов повышения износостойкости деталей машин: использование высоколегированных материалов для их изготовления, применение дополнительной химико-термической обработки, нанесение на рабочие поверхности защитных покрытий различными методами. С точки зрения экономической эффективности, а также энерго- и ресурсосбережения наиболее эффективно наносить на поверхность детали защитные покрытия, соответствующие условиям их работы. Одним из перспективных методов повышения срока службы деталей, работающих в тяжелых условиях изнашивания, является магнитно-электрический метод. Обладая такими достоинствами как: простота технологического оборудования, низкая себестоимость покрытий, высокая производительность процесса, данный метод при этом обеспечивает высокую износостойкость в различных условиях изнашивания, высокую ударную вязкость, а также прочную адгезионную и когезионную связи с подложкой, что в совокупности позволяет его успешно применять для повышения срока службы рабочих органов сельскохозяйственных и дорожно-строительных машин. В качестве наплавочных материалов при магнитно-электрическом нанесении покрытий чаще всего использовался ферробор марок ФБ-10, ФБ-17, а также феррохром бор, ферросталий и другие наиболее распространенные ферросплавы. Однако данные материалы не позволяли в полной мере раскрыть все преимущества метода и существенно ограничивали его область применения. В последнее время в магнитно-электрическом методе стали применять самофлюсующиеся порошковые материалы, которые длительное время успешно применялись в других наплавочных технологиях, но не использовались в технологии магнитно-электрического нанесения покрытий.

В работе приведены результаты исследований, показывающие, что магнитно-электрические покрытия из самофлюсующихся порошковых материалов на основе стальной дроби обладают комплексом механических свойств, позволяющих существенно расширить область применения таких покрытий. Так, у таких покрытий улучшились качественные и количественные показатели: внешний вид, шероховатость, сплошность, толщина, твердость, адгезия, износостойкость. Кроме того, микроструктура наплав-

М.М. КОЖЕВНИКОВ, С.Н СУБОЧ

Учреждение образования

«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»

Могилев, Беларусь

Рост эффективности внедрения роботизированных технологических комплексов связан с созданием систем автономного программирования. Одной из самых трудоемких задач при разработке таких систем является задача планирования траекторий роботов в среде с препятствиями. Такие проблемы возникают также на производствах, где сборочные, сборочно-сварочные и погрузочно-разгрузочные операции составляют 40–50 % в объеме общей трудоемкости, поэтому создание легко перенастраиваемого оборудования на базе промышленных роботов-манипуляторов является экономически целесообразным. Актуальность этой проблемы для Республики Беларусь обусловлена необходимостью в техническом перевооружении технологических процессов с целью повышения их эффективности, что включает в себя улучшение качества выпускаемой продукции, рост производительности и гибкости производства.

Большинство известных алгоритмов планирования траектории основаны на модели конфигурационного пространства робота-манипулятора, заданной в виде дискретного множества свободных от столкновений конфигураций. Эти дискретные конфигурации генерируются случайным либо детерминистическим способом. Общим недостатком алгоритмов планирования траекторий, основанных на генерации случайных конфигураций, является то, что траектория робота 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 манипулятора в среде с препятствиями сложной формы методы планирования, 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 алгоритмы 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 при планировании растет экспоненциально с ростом размерности конфигурационного пространства. С другой стороны вероятностные алгоритмы по-

звоняют обойти проблему размерности, но не учитывают форму препятствий и звеньев манипулятора, что приводит к реализации траекторий низкого качества с большим объемом движений, причем сходимость достигается, только с некоторой вероятностью.

В данной работе предложен новый метод планирования траекторий роботов-манипуляторов в рабочей среде с препятствиями, основанный на детерминистической дискретизации конфигурационного пространства, обеспечивающей свойство «полноты» решения. В отличие от известных, этот метод учитывает сложную форму препятствий характерную для сборочно-сварочных роботизированных комплексов. Предложенный подход основан на топологически упорядоченной нейронной сети, которая моделирует весовую функцию, характеризующую расположение робота-манипулятора относительно препятствий. В соответствии с этим подходом первоначально генерируется приближенная траектория робота, конфигурационное пространство которого дискретизировано с низким разрешением, а также предполагается отсутствие столкновений при движении робота между узлами сетки дискретизации. Если при движении робота по такой траектории зафиксировано столкновение, то матрица связей в нейронной сети модифицируется и генерируется новая траектория при неизменном разрешении сетки дискретизации. Такой процесс повторяется до тех пор, пока свободная от столкновений траектория найдена, либо предельное число итераций достигнуто. Последнее означает, что необходимо увеличить разрешение сетки дискретизации и повторить процесс поиска траектории. Такой метод, в отличие от известных, позволяет генерировать траектории робота без предварительной проверки его движений на столкновение, что обеспечивает приемлемое практики количество тестов столкновения при сохранении свойства «полноты» при фиксированном шаге дискретизации.

Разработанный алгоритм программно реализован с использованием пакета программ *Robotics Toolbox for MatLab* и тестировался в среде *MatLab 6.5*. На основе моделирования выполнена оценка показателей эффективности работы предложенного алгоритма и его сравнение с известными алгоритмами планирования, основанными на картах вероятных траекторий робота и низкодисперсионной дискретизации конфигурационного пространства. В докладе приведены результаты оценки сравнительной эффективности. Анализ результатов данных экспериментов позволяет сделать вывод о том, что предлагаемый подход эффективен при планировании траекторий в сборочно-сварочных РТК.

Эффективность предложенного алгоритма подтверждается также примерами практического применения при планировании траекторий промышленных роботов-манипуляторов РМ-01 и KR-125 в среде автономного программирования.

рама, титана и др.), в результате их стоимость резко возрастает, что повышает себестоимость обработки.

В данной работе была исследована возможность применения для магнитно-абразивной обработки диффузионно-легированных борированных порошков на железной основе с частицами неправильной формы. Проведенные сравнительные испытания технологических свойств магнитно-абразивных порошков колотой чугуновой дробы, подвергнутой дополнительной химико-термической обработке – диффузионному борированию на глубину 10...15 мкм показали, что предлагаемый материал показал результаты на уровне лучших магнитно-абразивных порошков, и оказался лучше широко применяемых в данной технологии недорогих магнитно-абразивных порошков (табл. 1).

Табл. 1. Эффективность магнитно-абразивной обработки при применении различных магнитно-абразивных порошков (обрабатываемый материал – сталь 40Х, цикл обработки 30 с)

Магнитно-абразивный порошок	Характеристика порошка	
	Производительность, мг/цикл	Шероховатость поверхности Ra, мкм
Fe-TiB ₂	215	0,10
Fe-WC	52	0,13
Fe-CrB ₂	207	0,09
Fe-TiC	302	0,07
Железо-карбид кремния	162	0,09
ДЧК (дробь чугуновая колотая)	45	0,32
Борированный порошок на основе ДЧК	212	0,09

Как видно из таблицы экспериментальных данных, предлагаемый магнитно-абразивный порошок, обладая хорошими магнитными свойствами, показывает хорошие режущие и полирующие свойства, уступая только порошку Fe-TiC, оказываясь при этом значительно дешевле.

Таким образом, предлагаемый магнитно-абразивный порошок, сочетающий в себе высокие магнитные, режущие и полирующие свойства, является эффективным в технологии магнитно-абразивной обработки сложного профиля поверхностей. Предварительные результаты исследований таких порошковых материалов показали необходимость дальнейших исследований в данном направлении.

УДК 621.762

ТЕХНОЛОГИЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ
И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НЕЕ

Г.В. ПЕТРИШИН, Е.Н. ДЕМИДЕНКО

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

Надежность всей машины, как и отдельных ее элементов, снижается вследствие их износа во время эксплуатации. Долговечность механических передач машины во многом определяется долговечностью элементов, наиболее подверженных износу: зубчатых, червячных колес, червяков и др. Известно, что на скорость износа рабочих элементов механических передач наибольшее влияние оказывает качество их изготовления - точность геометрической формы, шероховатость рабочей поверхности, состояние ее поверхностного слоя. Современные технологические методы обработки не обеспечивают должного качества изготовления элементов передач; кроме того, существующие методы финишной обработки сложнопрофильных поверхностей трудоемки и дорогостоящи, требуют применения специальной оснастки и инструмента. Предлагаемый метод финишной обработки деталей, имеющих сложный профиль, позволяет повысить качество изделий и при этом избежать ненужных трудозатрат. При магнитно-абразивном полировании режущий инструмент под воздействием магнитного поля формируется из ферромагнитного порошка, обладающего абразивными свойствами. При этом на качество обработки, и в первую очередь, на шероховатость обработанной поверхности и производительность процесса, оказывает существенное влияние магнитно-абразивный порошок. Выбор магнитно-абразивных порошков для финишной обработки сложнопрофильных поверхностей зависит от многих факторов: заданной шероховатости обработанной поверхности, физико-химических свойств материала (твердости, вязкости, склонности к адгезионному схватыванию и др.), схемы обработки и конструктивных особенностей технологического оборудования. В настоящее время разработана широкая гамма порошков для процесса магнитно-абразивной обработки, однако эти порошки дорогостоящие ввиду сложности их производства, так как они должны отвечать таким взаимоисключающим свойствам, как высокие магнитные свойства и высокая твердость (присуща в основном немагнитным материалам). Такие порошки изготавливают многослойными, состоящими из ферромагнитного ядра (как правило, сталь) и равномерно распределенных по поверхности немагнитных твердых включений (корунд, нитрид бора, карбиды вольф-

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ
ПРИ ШЛИФОВАНИИ

С.И. КРАСЮК, Р.И. ВЕЧЕР

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

В проведенных исследованиях для, сплошного и прерывистого шлифования определялись:

- а) оптимальная концентрация углерода в поверхностной зоне цементированного слоя шлифованных деталей;
- б) влияние метода шлифования на выносливость рабочих поверхностей пар трения качения.

Установлено, что при концентрации углерода 0,85–1,1 % и глубине цементированного слоя 1,8–2,2 мм обеспечивается стабильная твердость цементированной поверхности детали (не менее HRC 58). При концентрации углерода 0,65–0,8 % твердость цементированной поверхности ниже требуемой по ТУ для деталей, изготовленных из исследуемых материалов.

Сравнительные испытания износостойкости образцов с различной концентрацией углерода показали, что наибольший износ наблюдается у образцов с концентрацией 0,65–0,8 %. Это связано с пониженной твердостью цементированной поверхности.

Контактная прочность образцов при концентрации углерода 0,85–1,1 % при шлифовании контактирующих поверхностей сплошными кругами методом выхаживания увеличивается примерно в 2-3 раза. У образцов с концентрацией 1,2–1,4 % контактная прочность при шлифовании поверхности увеличивается незначительно. Положительное влияние шлифовки на питтингоустойчивость образцов с концентрацией углерода 0,85–1,1 % связано с удалением обезуглероженного слоя, который появился в результате термообработки.

При шлифовании образцов прерывистыми кругами контактная прочность увеличивается примерно на 30 %. Сказанное справедливо, как для образцов с концентрацией углерода 0,85–1,1, так и для образцов с концентрацией 1,2–1,4 %. Можно сделать вывод, что возникновение и развитие питтинга, независимо от содержания углерода в поверхностной зоне цементированного слоя, подчиняется определенной закономерности.

В процессе испытаний установлено, что при концентрации углерода 0,85–1,1 % у всех образцов имелся мелкий точечный питтинг (2-я стадия),

на двух-трех образцах были обнаружены более крупные очаги диаметром около 1 мм.

У 30 % образцов с концентрацией углерода 1,2–1,4 % после той же продолжительности испытаний, что и для образцов с концентрацией углерода 0,85–1,1 % имелись единичные крупные очаги выкрашивания диаметром более 2 мм – 3-я стадия.

Таким образом, при концентрации углерода 1,2–1,4 % осповидным износом поражается меньшая поверхность, но поражения более развиты по площади питтинга и его глубине. При этом питтинг развивается неравномерно, что опасно с точки зрения долговечности детали в целом. При концентрации углерода 0,85–1,1 % питтинг развивается более равномерно и поражение поверхности более мелкое, а долговечность образцов в исследуемом диапазоне нагружений в 2 раза выше, чем при концентрации 1,2–1,4 %. Поэтому детали в этих условиях сохраняют работоспособность длительное время. На основании полученных результатов оптимальной концентрацией углерода в поверхностной зоне цементированного слоя можно считать 0,85–1,1 %.

Удаление обезуглероженного слоя при определении оптимальной концентрации углерода производилось сплошным кругом и на выглаживающих режимах резания. И это правильно, так как обычное шлифование с припусками 0,03–0,05 мм приводит к прижогам в поверхностном слое.

С целью подтверждения данных о преимуществе прерывистых шлифовальных кругов по сравнению со сплошными, и в связи с этим, о значительном улучшении качества поверхностного слоя, была поставлена серия опытов по определению контактной усталостной прочности образцов, шлифованных с величиной припуска $t = 0,03$ прерывистым кругом (как наиболее целесообразной с точки зрения производительности) и $t = 0,01$ мм сплошным кругом.

Из результатов испытаний следует, что время до появления питтинга при обычном шлифовании с величиной припуска $t = 0,01$ мм одинаково со временем до появления питтинга при шлифовании прерывистым кругом с припуском 0,03 мм.

Контактная прочность образцов, шлифованных обычным кругом с припуском $t = 0,03$ мм меньше на 30–40 % по сравнению с прерывистым.

Таким образом:

- испытания на контактную прочность позволяют оценить устойчивость рабочих поверхностей пар трения качения против выкрашивания;
- контактная прочность деталей зависит от концентрации углерода в цементированном слое и способа шлифования;
- прерывистое шлифование является эффективным способом повышения контактной прочности деталей (по сравнению со сплошным шлифованием повышает контактную прочность на 30–40 %).

Как показали исследования, гальваношлямы ряда производств имеют достаточно высокое содержание меди и никеля.

Исходя из данных элементного анализа с точки зрения содержания целевых продуктов (соединений меди и никеля) от 10 % по массе и выше в качестве перспективных объектов исследований были выбраны материалы, образовавшиеся в ходе реализации различных гальванических процессов:

- шлам меднения стали;
- шлам никелирования стали;
- шлам электрохимического никелирования железоуглеродистых сплавов;
- шлам травления печатных плат на основе фольгированного текстолита.

В ходе проведенных исследований было выяснено, что ряд образцов отобранных на различных предприятиях содержит различные химические элементы, мешающие получению качественного литья такие, как фосфор, хром (6^+) и др., некоторые из них имели повышенное влагопоглощение, обусловленное наличием CaCl_2 и KOH .

Предложена методология оценки пригодности гальваношлямов для дальнейшей переработки в интересах нужд металлургического производства РБ, которая заключается в следующем:

- проводится химический анализ с целью определения содержания компонентов;
- на основании полученных данных оценивается экономическая целесообразность дальнейшей переработки;
- при целесообразности переработки проводятся дальнейшие исследования по определению влагопоглощения для материала, прокаленного при температурах 300, 500, 700, 900 °C;
- материалы у которых влагопоглощение остается в пределах 1,5 %, направляются на дальнейшую переработку для получения модификаторов для чугунов;
- материалы с повышенным влагопоглощением подвергаются различным методам исследований (рентгенофазовому анализу (РФА), термогравиметрическому анализу (ДТА-ДТГ-ТГ-ДСК), элементному анализу, определению удельной поверхности образцов) с целью выявления причины повышенного влагопоглощения;
- предлагаются мероприятия по снижению влагопоглощения, оценивается их эффективность;
- на основании полученных данных проводится окончательная оценка экономической целесообразности дальнейшей переработки.

А.С. ПАНАСЮГИН, С.В. ГРИГОРЬЕВ, Д.П. МИХАЛАП, Р.В. ДЕГТЯРЕВ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Характерной чертой гальванического производства является вовлечение в технологический процесс значительного количества цветных металлов. Часть используемых материалов переходит в готовую продукцию, часть – в отходы, в большинстве случаев находящиеся в жидком агрегатном состоянии. Хранящиеся гальваношламы являются потенциальными источниками экологических катастроф для тех территориальных комплексов, где они расположены.

Состав гальваношламов зависит от многих факторов. На форму соединений значительное влияние оказывают используемые реагенты и кислотность среды, в которой проходила реакция осаждения гальванических шламов, температура и концентрация составляющих. Химический состав веществ, получаемых в результате осаждения, влияет на дальнейший способ утилизации гальваношламов.

Гальваношламы, с точки зрения экологии, опасны тем, что при любом, даже незначительном смещении pH в более кислую область, конденсированные формы легко переходят в растворимые соединения. В результате этого окружающая природная среда загрязняется высокотоксичными металлами, возрастает их подвижность и вероятность потери огромного количества цветных металлов, необходимых промышленности.

В этой связи встал вопрос в качестве одного из вариантов решения данной проблемы – определения пригодности гальваношламов для дальнейшей переработки с целью получения модификаторов для нужд литейного производства Беларуси.

Известно, что для наиболее нагруженных машиностроительных деталей из железоуглеродистых сплавов основным методом повышения их эксплуатационной надежности является легирование цветными металлами, такими как медь и никель. Легирование никелем способствует образованию перлита в чугунах, повышает их прочность, коррозионную и кавитационную стойкость, износостойкость. Наличие меди тормозит процесс сфероидизации графита, повышает прочность и износостойкость. В целом комплексное легирование никелем и медью способствует повышению прочности и твердости отливки.

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

Техническим и экономическим показателем процесса механической обработки является стойкость инструмента. Стойкость является фактором принятия решений о количестве режущего инструмента, области применения инструментальных материалов, а также оптимальности условий его эксплуатации. Стойкость – есть свойство инструмента выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение определенного промежутка времени или наработки, поэтому стойкость является одной из характеристик надежности инструмента.

Для проведения исследований была взята партия пластинок из быстрорежущей стали Р6М5 из одной партии. Для экспериментов отбирали пластинки одной твердости HRC 62, которые были разделены на две партии: одна из них составила контрольную группу, другая – прошла модифицирование в вакууме низкоэнергетическим ионным потоком. Модифицирование проводилось при режимах, оптимальных для быстрорежущей стали Р6М5 $E = 2,5$ кэВ, $I = 0,50$ мА, $t = 45$ мин. Изнашивание пластинок из быстрорежущей стали исследовали при продольном точении стали 45 (HB180), при следующих режимах резания: $S = 0,38$ мм/об; $t = 1,0$ мм; $V = 55,76$ м/мин; диаметр обработки 50 мм. Фиксируемые параметры изнашивания: h_z – фаска износа задней поверхности; h_l – ширина лунки; l_l – длина лунки; R_l – радиус лунки.

Полученные данные свидетельствуют о том, что модифицированные в вакууме резцы из стали Р6М5 замедляют развитие очагов износа передней и задней поверхностей инструмента. Также практически полностью отсутствуют проточки и усы износа у краев контактных площадок инструмента, где наиболее сильно реализуются химико-окислительные виды износа. Отсутствие дополнительных очагов износа у краев контактных площадок положительно влияет на стойкость инструмента, т.к. при этом устраняются источники интенсивного трения и тепловыделения.

Анализ зависимостей износ-время для инструментов из быстрорежущей стали показывает, что с увеличением скорости резания стойкость модифицированного инструмента становится заметно больше по сравнению со стойкостью немодифицированного инструмента.

Облучение пластинок из быстрорежущей стали Р6М5 изменяет их свойства и повышает стойкость в 1,8–2,4 раза; разработанный метод упрочнения материалов низкоэнергетическим потоком ионов весьма эффективен для повышения стойкости и может быть рекомендован для упрочнения инструментов из быстрорежущей стали.

В.А. ЛОГВИН, П.Ф. КОТИКОВ, Ю.И. ИВАНОВ

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

Современные рыночные отношения вынуждают машиностроительные предприятия нашей страны решать задачи по снижению себестоимости и улучшению качества выпускаемой продукции. Потому 2009 год в Беларуси был посвящен решению проблем по снижению энергоемкости и энергетической независимости, а 2010 год объявлен годом качества.

Выбор способа повышения эксплуатационных свойств деталей проводится, в первую очередь, из соображений экономической эффективности и надежности устройства или технологии для ее осуществления. Достаточно эффективными и не дорогостоящими являются технологии на основе метода поверхностно пластического деформирования. Данный метод получил широкое распространение в машиностроении благодаря технологическим достоинствам и способности повышать усталостную прочность, износостойкость, а также контактную выносливость рабочих поверхностей деталей.

Разработано и достаточно эффективно используется большое количество различных устройств для обработки поверхностей деталей методом поверхностного пластического деформирования. Многие из них предусматривают в своей работе применение дополнительного привода с использованием различного вида энергии: электрической, энергии сжатого воздуха или жидкости. Все это требует дополнительных затрат и приводит к повышению себестоимости продукции или ремонтных работ по восстановлению необходимого состояния поверхностного слоя деталей.

Решая задачи по повышению экономической эффективности технологии упрочнения плоских поверхностей на основе метода ППД, разработано устройство работающее на использовании сил инерции ударных шаров, воздействующих на деформирующие шары. При этом отпадает необходимость в дополнительном приводе, что повышает КПД устройства, дополнительно с упрочнением обрабатываемой поверхности позволяет наносить регулярный микрорельеф с микрокарманами для удержания смазки и снизить влияние фактора переноса шероховатости деформирующих шаров на рабочую поверхность детали так, как воздействие деформирующих шаров происходит по касательной к обрабатываемой поверхности.

Для проведения определенных структурных изменений в приповерхностном слое обрабатываемой детали необходимо к деформирующим ша-

Полученные результаты пластометрических исследований подтверждают вывод, сделанный по результатам ИК-спектроскопии о том, что деструктивные процессы в отработанной смазке Буксол выражены в меньшей степени, чем в смазке ЖРО. Об этом свидетельствует практическое совпадение кривых для отработки буксола и смазки СПЛ, которая еще не была в работе. Вязкость отработки ЖРО существенно снижена по сравнению с буксолом и СПЛ. Это обусловлено процессами механо- и термоокислительной деструкции молекул загустителя и масляной основы.

Для того, чтобы использовать такие смазки в рельсосмазывающих устройствах необходима их модификация, очистка от продуктов износа и введение соответствующих присадок. Как показали результаты исследований отработанных смазок ЖРО и Буксол, присутствие механических загрязнений в их составе сравнительно невелико. Частицы загрязнений имеют довольно значительные размеры и поэтому легко могут быть удалены фильтрацией смазок при температуре 80–100 °С через фильтрующий материал (в частности металлическое сито) с размерами ячеек 20–30 мкм. Вязкость можно регулировать введением минерального масла (снижение вязкости) или соответствующих загустителей (мыл, полимеров и др.). Повышение противоизносных свойств достигается введением в состав отработок графита. При этом необходимо иметь в виду, что наполнение графитом также влияет на вязкость. Таким образом, количество графита, которое необходимо вводить в состав разрабатываемой смазки должно быть оптимальным для обеспечения противоизносных свойств. С помощью сжимающего пластометра было установлено, что введение графита влияет на вязкость. При небольшом проценте наполнения (до 20 %) увеличение содержания графита увеличивает вязкость материала.

Отработка Буксола по вязкости гораздо ближе к смазке СПЛ. Введение в отработку графита в количестве 15 % приводит к практическому совпадению графиков зависимости растекания смазки на основе Буксола и смазки СПЛ на начальном участке кривых (до напряжения 1,8 Н/см²).

Учитывая приведенные ранее данные спектральных и пластометрических исследований, свидетельствующих о более высокой устойчивости смазок на основе Буксола к агрессивным эксплуатационным факторам, по результатам проведенных экспериментов можно рекомендовать состав на основе Буксола, наполненный 15 % графита в качестве замены для смазки СПЛ. Однако, для полной уверенности в целесообразности такой замены необходимо проведение сравнительных фрикционных испытаний разработанной смазки и смазки используемой в настоящее время для рельсосмазывателей (СПЛ), в условиях, приближенных к условиям эксплуатации.

УДК 531.43/46
СОЗДАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
АНТИКОРРОЗИОННОГО И АНТИФРИКЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ

А.С. НЕВЕРОВ, И.В. ПРИХОДЬКО
Учреждение образование
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
Гомель, Беларусь

Решение проблемы переработки или утилизации отработанных смазочных материалов является немаловажной задачей для предприятий. Пластическую смазку, в виду ухудшения ее свойств в процессе эксплуатации, нельзя использовать по прямому назначению, но она может послужить основой для создания нового смазочного материала. Отработанные железнодорожные смази Буксол и ЖРО по своим свойствам близки к той, что используется для заправки рельсосмазывающих устройств. Таким образом, очистка и модификация отработанных смазок может привести к их дальнейшему использованию.

Для получения сведений о составе и свойствах исследуемых образцов были проведены испытания и получен ряд экспериментальных данных, позволяющих судить о возможности дальнейшего использования такого рода материалов. Визуальное изучение предоставленных образцов железнодорожных смазок было проведено при помощи стерео микроскопа МБС-9. Исследование при увеличении 50–200 крат показало наличие многочисленных газовых и некоторого количества твердых включений, размерами до 20 мкм, являющихся, по-видимому, частицами износа металла. Оптико-микроскопические исследования не позволяют получить информацию о составе смазок. Поэтому были проведены ИК – спектроскопические исследования образцов отработанных смазок ЖРО и Буксол. По отношению к смазкам был опробован метод компенсации. Исследования выполняли на двухлучевом спектрометре Specord–75IR в области частот 400...4000 см⁻¹. В качестве носителя был опробован полиэтилен. Анализ спектров свидетельствует о более высокой устойчивости смазки Буксол к воздействию агрессивных эксплуатационных факторов.

Для оценки пластических свойств вязких сред применялся метод пластометрии, в котором для измерения вязкости использовали «сжимающие пластометры». В данном случае исследуют растекание жидкости при сдавливании двух плоскопараллельных пластинок. Данный метод очень удобно использовать как для оценки пластических свойств исследуемых образцов, так и для сравнительного анализа материалов, полученных в процессе модификации.

рам приложить усилие, позволяющее это сделать, создав определенное контактное давление в зоне контакта шар-деталь. Указанная задача решена благодаря тому, что корпус, в котором располагаются ударные шары, выполнен в виде усеченного тора, а ударные шары заполняют объем между деформирующими шарами и внутренней торовой поверхностью корпуса не более чем наполовину. При этом деформирующие шары расположены свободно в направляющем канале и контактируют с обрабатываемой поверхностью. Диаметр d ударных шаров выбирается в зависимости от радиуса тора R и частоты вращения шпинделя n по соотношению

$$d = 100 \cdot \pi \cdot \sqrt[3]{\frac{32,4}{n^2 \cdot R \cdot \rho}},$$

где ρ – плотность материала ударного шара.

Во время обработки деформирующие шары, в результате непродолжительного контакта с обрабатываемой поверхностью, сминают гребешки и смещают их в сторону от обработанной поверхности к необработанной, тем самым исключая образование обратной волны течения металла заготовки в сторону обработанной поверхности, что уменьшает шероховатость и волнистость поверхности. Величина микролунок, образующихся на поверхности детали, зависит от продолжительности времени контакта деформирующих шаров с деталью, что, в свою очередь, зависит от частоты вращения инструмента и подачи.

Для исключения возможности появления вибраций при обработке, как результата износа деформирующих шаров и не равномерного перераспределения ударных шаров в объеме усеченного тора, а также снижения частоты вращения инструмента при его работе, изменяли величину R . Появление вибраций во время работы инструмента нарушает формирование регулярного микрорельефа и приводит к изменению усилия взаимодействия деформирующих шаров и заготовки.

Для обеспечения комфортных условий обслуживающему персоналу и соблюдения санитарных норм по шуму, издаваемому работающим устройством, в нем применен ряд конструктивных решений решающих данную задачу. Уменьшение уровня шума, возникающего вследствие перемещения шаров друг относительно друга и ударов ударных шаров о деформирующие шары и стенки корпуса, достигнуто за счет покрытия его наружной поверхности слоем шумоизолирующей пены, а на торцевой поверхности резьбовых крышек загрузочных окон закреплены резиновые прокладки.

Предложенное устройство позволяет производить упрочнение плоских поверхностей на деталях из различных материалов на оборудовании, имеющем шпиндель для крепления устройства и тяговое устройство для перемещения заготовки относительно шпинделя, находящегося в любом пространственном положении относительно заготовки.

УДК 621.91.002
СИНТЕЗ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ПО ГРАФАМ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ ДЕТАЛЕЙ

О.А. МЕДВЕДЕВ, В.П. ГОРБУНОВ, М.В. МЕЛЕЩУК
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Выбор технологических баз относится к числу наиболее сложноформализуемых задач, решаемых при проектировании технологии механической обработки. Поэтому разработка способа ее формализации является актуальной задачей. С этой целью предлагается использовать графы размерных связей детали, вершинами которых являются конструктивные элементы детали, а ребрами графа – размеры и допуски расположения поверхностей. Полная информация о размерных связях детали может быть представлена шестью графами (три графа линейных связей вдоль каждой из трех координатных осей детали и три графа угловых связей по поворотам вокруг этих осей). Комплексный анализ всех шести указанных графов, построенных при условии правильной простановки размеров и допусков, позволяет обоснованно выбрать комплекты чистовых и комплект черновых технологических баз. Каждый граф содержит только те объекты, которые могут быть границами размеров и служить технологическими базами в определенном направлении. С учетом принципа совмещения баз лучшей базой будет тот объект, к которому примыкает большинство ребер графа (обычно это конструкторская база). Число графов, на которых фигурирует этот объект, определяет вид базы по числу лишаемых степеней свободы.

С учётом изложенных положений, выбор чистовых технологических баз предлагается производить в следующем порядке.

1. В качестве установочной или двойной направляющей базы выбирается объект, к которому на графах угловых размерных связей примыкает наибольшее количество рёбер. Такая база должна фигурировать в двух из трёх графов угловых размерных связей и базировать деталь по поворотам вокруг двух координатных осей. Если эта база фигурирует также в одном из трех графов линейных размерных связей, она является установочной базой. Если эта база фигурирует в двух из трёх графов линейных размерных связей, она является двойной направляющей базой.

2. В качестве направляющей базы для ориентации детали по поворотам вокруг третьей оси выбирается поверхность или ось, к вершине которой примыкает наибольшее количество ребер третьего (оставшегося) графа угловых размерных связей. Следует иметь в виду, что направляющая база может входить в комплект только с установочной базой. Если ранее принята двойная направляющая база, то по третьему оставшемуся графу угловых размерных связей определяют опорную базу по тому же принципу, что и направляющую базу.

линзами телескопа, а другая расположена на некотором расстоянии от него.

Лазер генерирует пучок цилиндрической формы со сплошным круговым сечением, который после прохождения через отрицательную линзу, первую коническую линзу и положительную линзу, перераспределяется в кольцевой пучок в результате преломления на конической поверхности линзы. Затем этот пучок направляется на вторую коническую линзу у которой угол при основании выбран таким образом, чтобы после преломления он распространялся параллельно оптической оси системы. Плавное изменение диаметров кольцевых контуров осуществляется посредством перемещения конической линзы вдоль оптической оси системы с изменением ее положения относительно одного из компонентов телескопической системы.

Исследования процесса наплавки проводились на поверхности образцов высокопрочной стали 30ХГСА при использовании пучков кольцевого и кругового сечения в среде аргона. В ходе исследований плотность мощности выбиралась таким образом, чтобы глубина плавления основы соответствовала диапазону оптимальных значений, которые были определены ранее в предположении об использовании присадочного материала в виде проволоки диаметром – $0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

В результате данных исследований было установлено, что при заданных значениях плотности мощности лазерного излучения коэффициент формы наплавки при использовании кольцевого пучка равен 0,8, для пучка кругового сечения – 0,6. Это обстоятельство подтверждает то, что при наплавке кольцевым пучком расплав движется от периферии к центру и поэтому форма наплавки более предпочтительна, чем при использовании гауссового пучка.

Анализ данных также показал, что размерные параметры процесса наплавки зависят не только от энергетических и временных характеристик лазерного излучения, но и от распределения интенсивности в поперечном сечении пучка лазерного излучения.

А.В. МАКСИМЕНКО, В.Н. МЫШКОВЕЦ, *А.И. КРАВЧЕНКО,
*П.С. ШАПОВАЛОВ

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Ф.Скорины»

*Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О. Сухого»

Гомель, Беларусь

Одним из способов, применяемых для повышения эффективности процесса лазерной наплавки металлов, является использование кольцевых пучков. Наплавка таким пучком приводит к уменьшению выброса металла из зоны наплавки и к смещению большей части расплавленного металла к центру лазерного пятна.

Для расчета температуры (T) при нагревании металлов лазерным пучком было использовано стационарное уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = -\frac{1}{\lambda} I, \quad (1)$$

где λ – теплопроводность материала; I – тепловой источник (интенсивность лазерного пучка).

В качестве теплового источника использована функция вида:

$$I = (C_0 + C_1 r^2 + \dots + C_n r^{2n}) \exp\left(-\frac{2r^2}{w_0^2}\right). \quad (2)$$

Здесь $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, w_0 – радиус пучка. В случае $C_0 \neq 0$, а $C_i = 0$, ($i = \overline{1, n}$) имеем обычный гауссовый круговой пучок, где C_0 – является интенсивностью лазерного излучения на оси пучка $r = 0$. Если $C_0 = 0$, то имеем кольцевой лазерный пучок. И в зависимости от выбора C_i можно подобрать произвольную форму пучка.

Решение уравнение (1) с учетом (2), получено в аналитической форме. Анализ решения показывает, что распределение температуры на поверхности материала, при использовании кольцевых пучков более равномерно в сравнении с гауссовыми пучками.

Для получения кольцевых пучков, разработана оптическая схема технологической установки, в состав которой введены телескопическая система и две конические линзы. Одна коническая линза помещена между

3. Оставшаяся опорная база выбирается по графу линейных размерных связей, на котором ещё нет вершин, соответствующих базам. В качестве опорной базы выбирается вершина этого графа, к которой примыкает наибольшее число рёбер. При этом не учитывают рёбра, соответствующие диаметрам поверхности, так как они от базирования не зависят.

4. На каждом графе индексом "Б" обозначают одну из вершин, которая соответствует выявленной базе по данному координатному направлению.

5. Составляют теоретическую схему базирования с учётом того, что число идеальных опорных точек, приложенных к базе, равно числу графов размерных связей, на которых эта база обозначена индексом "Б".

В качестве черновой базы, используемой для базирования заготовки только один раз по определенному направлению. целесообразно выбрать ту поверхность заготовки, после обработки которой, получается наиболее точная и ответственная поверхность детали, связанная с чистовыми базами точными угловыми размерами. Поэтому черновые базы предлагается выбирать в следующем порядке.

1. По графам угловых размерных связей определяем поверхность детали, связанную самым точным угловым размером с объектом, отмеченным как чистовая база индексом "Б". В качестве черновой базы принимается та поверхность заготовки, под которой будет находиться ранее указанная точная поверхность детали. Если эта поверхность фигурирует на двух графах угловых связей и двух графах линейных связей, то принятая черновая база будет использоваться как двойная направляющая. Если эта поверхность фигурирует в двух графах угловых связей и одном графе линейных связей, то принятая черновая база будет использоваться как установочная база;

2. По оставшемуся третьему графу угловых связей определяем поверхность детали, связанную самым точным (на данном графе) угловым размером с объектом отмеченным индексом "Б". В качестве черновой базы принимается та поверхность заготовки, под которой будет находиться найденный объект. Если ранее принята черновая установочная база, то на данном этапе выявляется черновая направляющая база. Если ранее принята двойная направляющая база, то на данном этапе выявляется черновая опорная база; оставшаяся опорная черновая база выявляется по тому графу линейных связей, на котором отсутствуют объекты детали, лежащие под ранее выбранными черновыми базами. В качестве опорной черновой базы принимается та поверхность заготовки, под которой находится объект детали, связанный самым точным линейным размером с поверхностью отмеченной индексом "Б".

Аналогично разработан порядок выбора черновых баз, при условии, что приоритетным является выбор поверхностей детали, не обрабатываемых резанием.

Окончательный выбор баз может учитывать и другие критерии.

А.П. МИНАКОВ, Е.В. ИЛЬЮШИНА

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Исследование суперфинишной пневмоцентробежной обработки (ПЦО) отверстий показало, что процесс происходит при докритическом режиме истечения сжатого воздуха в инструменте. Оптимальный перепад давлений на входе и выходе из сопла инструмента составляет $\beta = 0,55$. Экспериментально и теоретически определена величина давления в камере расширения инструмента P_2 , и установлено, что она изменяется в зависимости от конструктивных параметров инструмента, режимов обработки и не может быть основополагающей при управлении процессом суперфинишной ПЦО.

Один из способов управления процессом суперфинишной ПЦО связан с относительной скоростью вращения шаров в инструменте. Зная относительную скорость, при которой получается необходимое качество обработки ($Ra < 0,1$ мкм), можно считать ее оптимальной. Такая оптимальная скорость должна быть получена для обработки отверстий разного диаметра инструментами с различными конструктивными параметрами, что позволит получить необходимую шероховатость обработанной поверхности по параметру Ra .

Теоретическое определение скорости вращения шаров вызывает сложность и сопряжено с многочисленными допущениями, которые влияют на точность ее расчета. Наиболее простым является стробоскопический метод измерений частоты вращения шаров, основанный на освещении вращающихся тел короткими повторяющимися с известной частотой импульсами света, и наблюдение при этом освещении кажущейся остановки шаров (при совпадении частот). Оптимальная измеренная частота вращения шаров в инструменте соответствует линейной скорости шара $V_{ш} = 11,172$ м/с.

Вышесказанное позволило разработать методику управления процессом суперфинишной ПЦО, связывающую скорость, направление вращения шаров и заготовки с конструктивными параметрами инструмента и режимами процесса. То есть, вычислив необходимую частоту вращения шаров при различных диаметрах обрабатываемой заготовки и шаров, можно построить на нее стробоскоп и, варьируя режимами процесса обработки, получить в инструменте точно такую же частоту. Это дает возможность просто и при этом эффективно управлять процессом суперфинишной ПЦО.

– структура материала относится к микрокристаллическому типу; размер включений легирующих элементов не превышает 20 мкм;

– термическое воздействие при экструзии приводит к протеканию фазовых и структурных превращений. Установлено наличие в материале таких фаз, как Si_3Zr , Zr , Cr , Fe .

– материалы характеризуются высоким комплексом механических свойств. Твердость достигает 195-205 НВ; предел прочности 680–780 МПа при относительном удлинении до 10–12 %;

– прочность и твердость материалов возрастают, а пластичность уменьшается по мере увеличения объема легирующих элементов;

– полученные материалы отвечают требованиям, предъявляемым к сплавам-лигатурам для выплавки бронз электротехнического назначения;

– достигнутые значения механических свойств позволяют применять материалы также и в качестве конструкционных бронз. _

УДК 621.762

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕХАНИЧЕСКИ
ЛЕГИРОВАННОЙ ЛИГАТУРЫ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ХРОМОВЫХ,
ЦИРКОНИЕВЫХ И ХРОМОВОЦИРКОНИЕВЫХ БРОНЗ

Ф.Г. ЛОВШЕНКО, *Г.Ф. ЛОВШЕНКО, И.А. ЛОЗИКОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Минск, Беларусь

Получение лигатуры для производства хромовых, циркониевых и хромовоциркониевых бронз электротехнического назначения методом плавки является высокотемпературным (1550–1650 °C), длительным, энергоемким и экологически небезопасным процессом, требующим специального дорогостоящего оборудования. Причем, качество лигатуры не всегда соответствует требуемому. Она обычно имеет низкопроцентный химический состав (не более 8–10 %) из-за активного выгорания хрома и циркония, загрязнена оксидными включениями и шлаковой пленкой. Это все в значительной мере влияет как на стоимость получаемых бронз, так и на их качество и свойства.

Этих недостатков позволяет избежать применение технологии порошковой металлургии, дающая возможность получать высококонцентрированную лигатуру с содержанием легирующих элементов до 20–25 % при незначительных энергетических затратах.

В данной работе исследовалось влияние концентрации Cr и Zr на структуру и свойства компактных материалов, подготовленного для дошифровки при выплавке соответствующих бронз. Исходными компонентами служат стандартные порошки меди, хрома и циркония. Лигатура изготавливалась из шихты, обработанной по специальной технологии, экструзией холоднопрессованных брикетов при температуре 800 °C с коэффициентом обжатия 90 %. Определение механических свойств проводилось при испытаниях на разрывной машине МР-100. Твердость исследовалась по методу Бринелля и Виккерса. Металлографический анализ проводился на световом микроскопе UNIMET (Япония) и сканирующем электронном микроскопе TESCAN-LSH (Чехия) с приставкой для энергодисперсионного микроанализа INCA-ENERGY (ФРГ).

Анализ полученных результатов исследований позволяет сделать следующие выводы:

– скомпактированные экструзией материалы характеризуются однородным и дисперсным распределением элементов;

УДК 621.9

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ ФАСОННОЙ
КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПОЛУЧЕННОЙ ТОЧЕНИЕМ

М.И. МИХАЙЛОВ

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О. Сухого»

Гомель, Беларусь

Современный уровень развития техники характерен необычайным увеличением диапазона и усложнением используемых форм рабочих поверхностей деталей и одновременным повышением требований к точности их обработки. Во многих случаях только усложнение геометрической структуры рабочей поверхности детали и повышение точности ее формы позволяет получить новые потребительские свойства, расширить функциональные возможности, увеличить надежность, ресурс, к.п.д. и улучшить эксплуатационные характеристики деталей и машин в целом.

Важнейшим аспектом машиностроительного производства является формообразующая обработка деталей, для которой в отличие от не формообразующей обработки (все виды химико-термической обработки, нанесение защитных и износостойких покрытий и др.) характерно изменение формы и параметров детали по сравнению с заготовкой.

Формообразующая обработка сложных поверхностей деталей характерна высокой трудоемкостью и большой долей ручных доводочных операций.

Внедрение в машиностроительное производство числового программного управления обусловило необходимость построения моделей технологического процесса обработки деталей, потребовало широкого использования математических методов моделирования и вычислительной техники, что в конечном итоге привело к революционным изменениям в технологии машиностроения как науке. Неотъемлемой ее составной частью является теория формообразования поверхностей при механической обработке деталей, служащая отправным пунктом при проектировании конструкций металлорежущих станков, инструментов и способов обработки.

Известно, что на токарном станке с ЧПУ можно обработать различные виды поверхностей. В качестве примера рассмотрены особенности формирования кинематических поверхностей с образующей в виде дуги окружности.

Чтобы обеспечить обработку фасонной поверхности необходимо было решить уравнение формообразования совместно с уравнениями отражающими функциональную и параметрическую связи.

Решение уравнений для одной точки формообразующей кромки резца позволило построить траекторию ее движения.

В работе при следующих исходных данных: $z = 1$ мм; $S_{\text{прод}} = 0,02$ мм/рад (или 0,13 мм/об); $\varphi = 65^\circ$; $x_n = z_n = 0$ мм; $R = 15$ мм; $x_{\text{ц}} = 25$ мм; $z_{\text{ц}} = 15$ мм была получена модель топографии обработанной поверхности для двух точек формообразующей кромки резца.

Полученные модели позволили определить влияние параметров образующей поверхности детали и элементов режима резания на погрешность обработанной поверхности.

В результате расчетов было установлено, что с увеличением радиуса кривизны образующей поверхности детали погрешность на периферийных точках уменьшается и изменяется топография поверхности. Анализ позволяет заключить, что при увеличении подачи изменяется топография обработанной поверхности, а значит изменяются ее эксплуатационные показатели (несущая способность, износостойкость и т.д.).

Выявлено влияние радиуса кривизны образующей поверхности детали и подачи резца на ее погрешность.

Анализ полученных результатов позволил заключить, что шероховатость на периферии отличается от своих значений по центру фасонной поверхности в 13,5 раза. И при увеличении радиуса кривизны образующей фасонной поверхности в два раза, шероховатость по центру фасонной поверхности уменьшается в 1,07 раза, а на периферии поверхности увеличивается в 1,3 раза.

Полученные математические модели позволяют сформировать топографию кинематических поверхностей при обработке проходными резцами, а также рассчитать параметры ее шероховатости.

и пористости металлопорошкового покрытия, получаемого совместной вытяжкой покрытия и основы, делает необходимым поиск зависимости между этими величинами и величиной относительного обжатия опытным путем.

Плотность и пористость спечённых образцов определялась по ГОСТ 18898-89 методом взвешивания их на воздухе и в воде.

Полученная зависимость средних значений величины плотности покрытия от величины относительного обжатия порошка имеет нелинейный характер. Максимальные значения плотности покрытия достигаются при относительном обжатии 8...10. При дальнейшем её увеличении плотность покрытия уменьшается. Это может быть объяснено тем обстоятельством, что в интервалах относительного обжатия от 3 до 10 вытяжка основы шла без утонения стенок, а при увеличении обжатия имело место заметное утонение стенок основы. Переход от вытяжки без утонения стенок к вытяжке с утонением стенок существенно меняет напряженное состояние в материале основы: из плоского напряженного оно переходит в объемную схему с двумя главными напряжениями сжатия и одним – растяжения. Меняется и характер деформации материала основы, так как уменьшение толщины стенок приводит к интенсивному удлинению волокон металла в направлении главного напряжения растяжения.

В результате расчетов по методике [4], получена следующая эмпирическая зависимость плотности покрытия от величины обжатия:

$$\rho_n = 2,39 \left(\frac{h_n}{h_n} \right)^{0,92} e^{-0,11 \cdot \frac{h_n}{h_n}},$$

где h_n – начальная толщина порошкового материала; h_n – толщина покрытия после совместной вытяжки.

По методике, изложенной в [4], доказано, что между массой засыпки и плотностью получаемого покрытия отсутствует корреляционная зависимость, а между величиной относительного обжатия порошка и плотностью получаемого покрытия существует корреляционная зависимость; подобрана эмпирическая формула.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ изготовления полого композиционного изделия: пат. 3933 Респ. Беларусь, МПК В21D 22/20, В22F 3/02 / М. И. Лискович, Ю. Л. Бобарикин, Н. И. Стрикель // заявитель ГГТУ им. П.О. Сухого; заявл. 25.05.1998; опубл. 30.06.2001 // Афіцыйны бюл. «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы». / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2001. – № 2(29). – С. 174.
2. Способ изготовления полого композиционного изделия: пат. 3933 Респ. Беларусь, МПК В21D 22/20, В22F 3/10 / М.И. Лискович, Ю.Л. Бобарикин, Н.И. Стрикель // заявитель ГГТУ им. П.О. Сухого; заявл. 16.05.2005; опубл. 30.08.2008 // Афіцыйны бюл. «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы». / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4(63). – С. 153.
3. Лискович, М. И. Анализ напряжённого состояния при совместной вытяжке покрытия и основы / М. И. Лискович, Ю. Л. Бобарикин, Н. И. Стрикель // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О.Сухого. – 2000. – №2. – с. 5–14.
4. Степнов, М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний / М. Н. Степнов. – М. : Машиностроение, 1972. – 345 с.

М.И. ЛИСКОВИЧ, Н.В. ИНОЗЕМЦЕВА

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»

Гомель, Беларусь

Разработка и применение новых способов нанесения металлопорошковых покрытий на тонкостенные полые металлические изделия делает возможным решение проблемы повышения эксплуатационных характеристик подшипников скольжения, скользящих токоъемных контактов, композиционных теплоохлаждающих экранов и других изделий подобного типа. В ГГТУ им. П.О.Сухого разработан новый способ изготовления полых композиционных изделий совместной вытяжкой покрытия и основы [1, 2], позволяющий получать цельноштампованные композиционные втулки с повышенной, по сравнению с получаемыми гибкой и калибровкой, точностью размеров.

Свойства металлопорошковых изделий и покрытий существенно зависят от их плотности и пористости. Меняя плотность покрытия, например, при изготовлении подшипников скольжения, можно изменять прочность, износостойкость и долговечность покрытия, маслостойкость, продолжительность работы без смены смазки, коэффициент трения.

Целью работы является определение величины плотности и пористости покрытия получаемого совместной вытяжкой и их зависимость от величины обжатия материала покрытия.

Процесс совместной вытяжки металлической заготовки и порошка происходит с помощью матрицы и пуансона. Полученная предварительной вытяжкой полая металлическая заготовка устанавливается на матрицу. Между боковыми стенками заготовки и пуансоном засыпается порошок и перемещением пуансона осуществляют совместную вытяжку металлической основы и материала покрытия, получая композиционное изделие. Технологическими параметрами процесса совместной вытяжки являются: диаметр отверстия в матрице, определяющий диаметр композиционного изделия; диаметр пуансона; толщина стенок основы перед совместной вытяжкой; диаметр полый металлической заготовки; масса засыпки порошка.

Плотность и пористость металлопорошковых изделий и покрытий существенно зависят от силовых параметров технологического процесса, в основном от величины давления, оказываемого на порошок в процессе его деформирования. В рассматриваемом технологическом процессе, как было теоретически и экспериментально доказано в работе [3], между силовыми параметрами, в том числе давлением деформирования материала покрытия, и величиной относительного обжатия существует однозначная функциональная зависимость. При изменении величины относительного обжатия соответственно меняется и величина давления, а также остальные силовые параметры.

Отсутствие теоретических и опытных данных, касающихся плотности

М.И. МИХАЙЛОВ, Л.И.ГУЛЕВИЧ, В.Д. НИКИТЕНКО

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»

Гомель, Беларусь

Требования к экономии ресурсов ставят проблемы по созданию новых материалов и по совершенствованию технологий получения рабочих поверхностей. Для экономии дефицитных материалов используются составные конструкции с использованием разнородных материалов. Рост требований к эксплуатационным характеристикам адгезионного соединения разнородных материалов, расширение области применения, необходимость снижения производственных расходов и энергетических затрат на их получение и переработку, улучшение качества продукции и исключения загрязнения окружающей среды, выдвигает на первый план изыскание эффективных путей создания композиционных покрытий из материалов с заданным комплексом свойств и параметров.

В зависимости от состава и структуры компонентов, от способов и условий проведения процесса получения композиций, можно их получить с разными параметрами. Для этого вводятся в основной состав материала различные наполнители с разным количественным соотношением наполнителей.

Значительное расширение ассортимента композиционных материалов, получаемых на основе латуней, и повышение эксплуатационных характеристик готовых изделий приводит, соответственно, к расширению областей их применения.

Осуществление направленной модификации композиций с целью придания им более ценных технических качеств рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений создания новых материалов с заданным комплексом свойств.

Целью данного исследования является изучение влияния количественного состава компонентов композиционного материала на свойства этого материала.

В качестве основного материала была выбрана латунь в порошковом состоянии. В качестве наполнителей использовались абразивный материал и отработки после шлифования материалов абразивным инструментом. Такой выбор наполнителей продиктован следующими требованиями:

фрикционной способностью, максимальным рециклингом инструментального производства и требуемой адгезионной прочностью соединения. При использовании отходов абразивной обработки их дополнительно прокаливали в печах. Предварительно по пробным экспериментам установлено процентное соотношение каждого из элементов композиционного материала.

Исследованию на сдвиг подвергались образцы из конструкционной стали 40Х. С каждым наполнителем были изготовлены и подвергались нагружению по четыре образца. Нагружение производилось от 0 до определённой нагрузки, которую выдерживал образец до окончательного разрушения. По результатам испытания каждой серии образцов было определено среднее значение предельной нагрузки каждой композиции. Как показали эксперименты, использование в качестве наполнителей абразивосодержащего шлама со стружкой из конструкционной стали, приводит при нагревании его на установках ТВЧ к резкому окислению состава и снижению текучести композиционного материала по сравнению с чистой латунью. Кроме того, на адгезионную прочность соединения влияет строгое соблюдение условий нагрева и охлаждения соединения.

Для обеспечения качества соединения использовалась обезвоженная бура и флюс.

Прочность соединения составляла около 40...65 кН. При этом разрушение происходило только по толщине композиционного материала, что характеризовало высокую адгезионную прочность соединения. Такой вид разрушения соответствовал росту нормальных и касательных напряжений в нагружаемых материалах.

В результате экспериментов установлено, что увеличение содержания наполнителя с 5 % до 15 % приводит к снижению предела прочности в 1,2 раза.

Проведенные исследования позволяют заключить, что в составных конструкциях, в которых касательные напряжения не превышают 190 МПа, можно использовать в качестве наполнителей абразивосодержащие смеси в количестве не превышающем 15 %.

ния олигомеров, что вызывает изменение свойств получаемых алкидных лаков.

Таким образом, условия синтеза алкидных олигомеров в процессе получения полуфабрикатного меламиноалкидного лака МЛ-0159 для эпоксисодержащей меламиноалкидной эмали пониженной температуры сушки должны обеспечивать высокую реакционную способность алкида – определенное содержание гидроксильных и карбоксильных групп, а также необходимую молекулярную массу и дисперсность смолы. Даже соответствуя паспортным данным на материал, отклонения в воспроизведении процесса синтеза алкидного олигомера вызывают изменения свойств получаемого конечного продукта – эмали. Для изучения процессов, происходящих в ходе глицеридного процесса синтеза алкида, разработан лабораторный технологический регламент синтеза алкида и постановки лака «на тип», соответствующий заводскому технологическому регламенту. Это позволило провести многократные синтезы, с контролем параметров, который невозможно осуществить в заводских условиях. Стадия алкоголиза контролировалась отбором проб для определения гидроксильных чисел алкоголизата. Первая контрольная точка соответствовала 15 мин от начала процесса, последняя – 120 мин. Отмечено, что величины гидроксильных чисел колеблются от 420 до 670 мг NaOH/г, не всегда постоянны по значениям в одинаковые промежутки времени от начала алкоголиза, но максимальные значения достигаются в промежутке от 75 до 90 мин. Разделение фаз масла и глицерина сохраняется от 45 до 90 мин. Побочных реакций избежать не удастся, даже проводя реакцию под слоем инертного газа – с течением времени алкоголиза реакционная масса темнеет, наблюдается активное выделение паров – протекают реакции дегидратации. Продолжительность поликонденсации со фталевым ангидридом до кислотных чисел от 20 до 25 мг NaOH/г различна у всех образцов и составляет от 2 до 4 ч. Твердость лаковых покрытий при высокотемпературном отверждении достигает максимума для образцов со временем алкоголиза 90 мин.

Согласно заводскому технологическому регламенту и СТП 10-98 при постановке лака «на тип» используется смесь сольвента и уайт-спирита в соотношении (1/1). Одним из выводов проведенной работы по подбору растворителя для эпоксисодержащей меламиноалкидной эмали является стабилизирующее влияние на пленкообразующую систему эмали этилцеллозольва. Высокое кислотное число алкидного олигомера (20–25 мг NaOH/г), требующееся для достижения заданных физико-механических свойств покрытий эмали, требует стабилизации не только пленкообразующей системы эмали, но и полуфабрикатного лака, т.е. рекомендовать использование в составе полуфабрикатного лака МЛ-0159 этилцеллозольва или бутилцеллозольва.

УДК 691.57

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ПОЛУФАБРИКАТНОГО МЕЛАМИНОАЛКИДНОГО ЛАКА

И.К. ЛЕЩИНСКАЯ, А.Л. ШУТОВА, Н.Р. ПРОКОПЧУК

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

В настоящее время в связи с возрастающими требованиями к новым лакокрасочным материалам и функциональным покрытиям на их основе возникает необходимость расширения ассортимента пленкообразователей и дальнейшего развития знаний о физико-химических процессах формирования структуры и свойств покрытий. Меламиноалкидные эмали относятся к лакокрасочным материалам (ЛКМ) горячей сушки. Температура сушки (отверждения) зависит от состава лакокрасочного материала и требований производства, как правило, находится в интервале 80–140 °С, а продолжительность составляет 10–60 мин. Характер реакций, протекающих при отверждении меламиноалкидных ЛКМ, определяет свойства получаемых покрытий. В настоящее время разработана рецептура эпоксисодержащей меламиноалкидной автоэмали, удовлетворяющая современным требованиям по условиям формирования покрытий и их физико-механическим характеристикам. В состав эмали входят полуфабрикатные лаки и смолы, производства ОАО «Лакокраска» г. Лида. Основой рецептуры является полуфабрикатный меламиноалкидный лак МЛ-0159. В ходе работ возникла необходимость изменения технологии получения и состава этого лака, т. к. его характеристики не соответствуют требованиям современных меламиноалкидных ЛКМ. Строение алкидного олигомера, как носителя и гидроксильных и карбоксильных групп в пленкообразующей системе очень важно. Изучены пигментированные составы с использованием полуфабрикатного меламиноалкидного лака МЛ-0159 заводского производства с различным количеством групп COOH (кислотным числом). С ростом кислотного числа меламиноалкидного лака, увеличивается содержание гелевой фракции в покрытиях и возрастает их относительная твердость, что указывает на значительную активизацию процессов формирования трехмерной сетки. Ударная прочность формирующихся покрытий уменьшается с ростом кислотного числа и часто имеет нестабильные показатели. Следует отметить, что все используемые заводские полуфабрикатные лаки получены по единому технологическому процессу и имеют один и тот же состав. Отклонения в воспроизведении процессов синтеза алкида в различных партиях лака приводят к изменению молекулярно-массового распределе-

УДК 621.01: 004: 347.78

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ
ПЕРЕДАЧ НА ЭТАПЕ ИХ СБОРКИ

В.М. ПАШКЕВИЧ

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

Использование спектра кинематической погрешности в качестве параметра для управления процессом сборки передач может привести к получению заключений, имеющих невысокую достоверность, так как применение классического преобразования Фурье для реальных записей может столкнуться с рядом проблем. Так, например, наличие в сигнале реальных кинематических погрешностей как регулярных, так и нерегулярных составляющих, приводит к существенным искажениям ее спектра. Для реализации ряда процедур анализа кинематической погрешности, на кафедре «Технология машиностроения» университета разработана система *InSpec-tor*.

В настоящее время система поддерживает набор следующих функциональных возможностей:

- загрузка, преобразование и сохранение файлов кинематической погрешности в угловых минутах и радианах;
- загрузка из файла скриптов с набором команд;
- расчет и сохранение в файл амплитудно-частотного и фазово-частотного спектров кинематической погрешности;
- курсорные измерения и масштабирование графиков данных;
- ведение лог-файла для выполненных команд;
- фильтрация отдельных спектральных составляющих на основе цифровых полосовых фильтров;
- выделение отдельных спектральных составляющих;
- амплитудная дискриминация спектра;
- сглаживание амплитудно-частотного спектра на основе использования окна Хэмминга;
- сглаживание фазовой части спектра;
- сегментация серии повторных наблюдений на основе применения метода синхронного накопления, что позволяет выделять из совместной записи кинематические погрешности ведущего и ведомого звеньев;
- построение усредненного спектра для серии повторных наблюдений;
- расчет первой, второй и третьей производных кинематической погрешности для нахождения функций и спектров угловых скоростей, угловых ускорений, резкости ведомого звена;

- фильтрация высокочастотных шумов на основе процедуры экспоненциального сглаживания;
- фильтрация высокочастотных шумов на основе процедуры скользящего усреднения;
- расчет автокорреляционной функции сигнала;
- расчет кепстра сигнала;
- расчет гистограммы и построение функции плотности распределения выборки, проверка гипотезы о нормальности распределения случайной величины на основе критерия Колмогорова;
- расчет основных характеристик выборки (минимальное и максимальное значения, поле рассеивания, среднее, стандартное отклонение, коэффициент вариации, 1...5 центральные моменты распределения, коэффициенты асимметрии и эксцесса);
- устранение краевых эффектов и разрывов функций;
- расчет и устранение линейного дрейфа сигнала;
- загрузка и сохранение данных в форме электронной таблицы (аналог *MS Excel*), построение графиков данных и их дополнительная обработка с использованием более 100 встроенных в электронную таблицу функций-аналогов *MS Excel*;
- полный импорт и экспорт данных между электронной таблицей и основным окном программы;
- прореживание и утачивание данных до выборки требуемого объема;
- центрирование данных;
- поиск амплитудных выбросов данных и расчет пик-факторов;
- устранение амплитудных выбросов данных (два варианта);
- нормализация амплитудно-частотного спектра за счет подстройки частоты спектральных составляющих.

Главное окно программы содержит область, в которой требуемый сценарий обработки представляется в виде набора команд (скрипта). Скриптовый набор программы включает 32 команды с параметрами, при выполнении которых можно автоматизировать всю процедуру расчета, включая загрузку скриптов, файлов данных, электронных таблиц, сохранение полученных данных в файл. Функциональные возможности программы позволяют также использовать для обработки созданный исследователем библиотечный набор электронных таблиц.

Системой используется также значительное количество эвристических процедур, хорошо зарекомендовавших себя на практике. Так, например, при использовании процедуры амплитудной дискриминации спектра не требуется точного описания частот соответствующего полосового фильтра, что позволяет использовать эту процедуру для передач с разными передаточными отношениями. При этом ее применение обеспечивает довольно стабильные результаты при достаточно широких вариациях величины показателя дискриминации.

случае не удалось, это обусловлено инерционностью применяемого оборудования.

Для того, чтобы снизить скорость и температуру горения за счёт уменьшения концентрации реагирующих веществ при получении композита Cu/ZrO_2 в качестве восстанавливающего оксид меди агента можно использовать твёрдый раствор циркония в меди, интерметаллиды Cu_xZr_y или композит Cu/Zr . В этой работе для восстановления оксида меди был использован механокомпозит, полученный путём механической активации смеси $\text{Cu} + 20 \text{ мас.}\% \text{ Zr}$ в течение 20 мин. Рентгенографические исследования свидетельствуют о формировании структуры, для которой характерны несколько уширенные дифракционные отражения меди и очень размытые отражения циркония. Микрорентгеноспектральный анализ свидетельствует о формировании композиционной структуры. Более чётко распределение фаз меди и циркония показывают данные электронной микроскопии, полученные в характеристических излучениях, как меди, так и циркония, из которых видно, что локальные участки циркония очень размыты, однако размеры их $\sim 1\text{--}3 \text{ мкм}$.

CBC процесс, где в качестве прекурсора был использован механокомпозит CuO/Cu/Zr , полученный путем совместной активации смеси $\text{CuO} + \text{механокомпозит Cu } 20 \% \text{ Zr}$ в течение 4 минут, меняет механизм от взрывного взаимодействия между реагентами к стационарному режиму горения. Скорость горения составляла $\approx 2 \text{ мм/с}$, при этом скорость подъема температуры была порядка $730 \text{ }^\circ\text{C/с}$. Температура горения $1044 \text{ }^\circ\text{C}$. На термограмме присутствуют две изотермические площадки. Первая фиксируется при достижении температурного максимума, и, скорее всего, свидетельствует о протекании процесса плавления. Вторая (при температуре $580\text{--}590 \text{ }^\circ\text{C}$) отвечает за пост-процессы, проходящие в зоне догорания.

Продукт CBC представляет собой смесь меди и оксида циркония с примесью Cu_2O , имеющую композитную структуру, формирование которой подтверждается электронной микроскопией в характеристических излучениях меди, циркония и кислорода.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке интеграционного проекта БРФФИ (T09CO-014) и СО РАН (№ 138).

А.И. ЛЕЦКО, Т.Л. ТАЛАКО, *Т.Ф. ГРИГОРЬЕВА

Государственное научное учреждение

«ИНСТИТУТ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НАН Беларуси»

*«ИНСТИТУТ ХИМИИ ТВЁРДОГО ТЕЛА И МЕХАНОХИМИИ СО РАН»

Минск, Беларусь; Новосибирск, Россия

Композиционные материалы с металлической матрицей по своим эксплуатационным характеристикам существенно превосходят обычные литые сплавы. Наиболее распространенным методом получения литых композиционных материалов является механическое замешивание дисперсных частиц в расплав. Основной проблемой этого метода является низкая смачиваемость упрочняющих фаз расплавленным металлом, особенно это касается оксидных фаз.

Механохимическое получение прекурсоров проводилось в планетарных шаровых мельницах АГО с водяным охлаждением (объём барабана 250 см³, диаметр шаров 5 мм, загрузка 200 г, навеска обрабатываемого образца 10 г, скорость вращения барабанов вокруг общей оси ~1000 об/мин). СВС осуществляли в атмосфере аргона, образец поджигали вольфрамовой спиралью, нагреваемой электрическим током. Температуру и скорость горения оценивали термопарным методом (хромель-алюмелевые термопары диаметром 0,2 мм) с использованием внешнего 2-канального 24-разрядного АЦП ADSC24-2T.

Рентгенодифракционные исследования проводились с помощью дифрактометров URD-63.

Для исследования структуры полученных образцов был использован сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) высокого разрешения MIRA/TESCAN с приставкой для микрорентгеновского спектрального анализа (МРСА). Диаметр электронного зонда составлял 5,2 нм, область возбуждения – 100 нм. Получены изображения в прямых и обратно рассеянных электронах, что позволило исследовать распределение химических элементов по поверхности.

ИК спектры поглощения регистрировались на спектрометре IFS-66. Образцы к съёмке готовили по стандартной методике.

Первоначально в качестве прекурсора использовался механокомпозит CuO/Zr, полученный после 20 с МА смеси стехиометрического состава, в котором, кроме исходных оксида меди и циркония, содержится незначительное количество закиси меди Cu₂O. Процесс в этой системе протекает в режиме теплового взрыва. Зафиксировать параметры горения в данном

М.Ф. ПАШКЕВИЧ

Государственное учреждение высшего профессионального образования

«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Для оценки характеристик точности зубчатых передач в сборе наиболее практически непригодны измерительные комплексы моделей БВ-5033, БВ-5053, КН-7У, БВ-5102, БВ-5083, и кинематометры PSKe-900 фирмы «KLINGELNBERG» (Германия).

При использовании этих средств о кинематической точности и плавности работы контролируемой передачи, состоящей из контролируемого и измерительного (эталонного) колес, судят на основе сравнения углов поворота ведомых валов контролируемой и эталонной передачи с точным передаточным отношением при помощи измерительного устройства, определяющего разность между углами поворота вала эталонного колеса, находящегося в зацеплении с контролируемым, и ведомого вала точной передачи. По этой разности углов поворота судят об общей кинематической погрешности и местных кинематических погрешностях контролируемого колеса. При этом можно определить лишь наибольшую кинематическую погрешность передачи, а также, используя графические построения и анализ, определить значения местных кинематических погрешностей, являющихся характеристиками плавности работы передачи. Определить все характеристики точности (кинематическую точность, плавность работы, полноту контакта и боковой зазор) зубчатой передачи в сборе невозможно.

Для контроля пятна контакта зубчатых колес (его размеров, формы и расположения) используют способ, реализованный в контрольно-обкатных станках, представителями которых являются модели СЗ-14 или 5А725 производства Саратовского завода тяжелых зуборезных станков. При этом способе о величине и расположении пятна контакта зубьев судят по суммарным следам контакта, оставляемым зубьями под нагрузкой. Отсутствие краски или наличие следов контактного взаимодействия на боковых поверхностях зубьев после обкатывания колес показывает участки контакта зубьев, по суммарной площади которых делается заключение о величине пятна контакта. На точность оценки пятна контакта влияет количество наносимой краски, а также субъективность оценки размеров пятна контакта оператором и значительное колебание размеров пятна на различных зубьях.

Для контроля бокового зазора используются наборы щупов, применение заложенной между зубьями свинцовой проволоки, а также способ люфтования, при котором оценка зазора в зацеплении ведется по величине углового люфта ведомого звена передачи.

Авторами разработан новый способ контроля точности зубчатых передач в сборе, дающий возможность комплексного определения кинематической точности, плавности работы, полноты контакта и бокового зазора в зацеплении при работе зубчатых передач на холостом ходу и под нагрузкой, которая может быть как постоянной и переменной, так и изменяющейся по случайному закону.

Сущность способа заключается в следующем. Ведется оценка функции кинематической погрешности контролируемой передачи как совокупности отклонений действительного закона движения ее выходного вала от номинального (равномерного) за полный цикл изменения относительного положения зубчатых колес. При измерениях ведущий вал передачи приводят в равномерное вращение, ведомый вал соединяют с преобразователем угловых перемещений, генерирующим электрический сигнал, фиксируют этот сигнал в памяти вычислительного средства в реальном масштабе времени. После этого вычисляют разности действительного и номинального углов поворота ведомого вала, соответствующие значению функции кинематической погрешности передачи, по которой определяют характеристики точности передачи. При этом на ведомый вал воздействуют также дополнительными кратковременными поворотами в направлении его вращения, вызывающими угловые колебания вала в пределах его свободного хода, и регистрируют сигнал преобразователя также и во время указанного воздействия на ведомый вал. Рассчитывают значения функции кинематической погрешности и по этим значениям определяют среднее значение бокового зазора как среднюю величину ординат скачков этой функции, соответствующих дополнительным поворотам вала. Затем из зафиксированной числовой последовательности удаляют массив данных, соответствующий участкам угловых колебаний вала в пределах его свободного хода, а для оставшейся части числовой последовательности и соответствующей части функции кинематической погрешности получают амплитудно-частотный спектр. Определяют размах функции кинематической погрешности как характеристику наибольшей кинематической погрешности передачи. Определяют амплитуды гармоник, соответствующих количеству зубьев ведомого колеса, как характеристику плавности работы. Величины амплитуд высокочастотных составляющих спектра с номерами, кратными и превышающими количество зубьев ведомого колеса передачи являются характеристиками полноты контакта. Полученные значения сравнивают с соответствующими допусками или результатами определения этих же величин для эталонной передачи.

С целью создания композиционных материалов оптимального состава проводили оценку совместимости пластификаторов и насыщенных растворов инсектицида в пластификаторе с ПЭВД. Анализ проводили по образованию на поверхности композиционных пленок капель или тонкого налета инсектицидной жидкости. Как известно, выделение пластификатора является одним из существенных недостатков пластифицированных пластмасс. Однако синерезис в данном случае имеет положительное значение, т. к. совместно с пластификатором к поверхности, защищаемой пленкой продукции, транспортируется активная добавка – инсектицид.

В результате исследований эксплуатационных свойств, наиболее подходящим носителем инсектицидов в пленке был выбран ДОФ, как обладающий высокой активностью, слабыми инсектицидными свойствами, активной малой дозой.

Значение разрушения напряжения при растяжении (верхний предел текучести) для ПЭВД (9,1 МПа) незначительно превышает показатели для полимерных композитов с инсектицидами (Актелликом – 8,94 МПа, перметрином – 8,73 МПа, циперметрином – 8,28 МПа), что свидетельствует о гомогенности структуры исследуемых композитов.

Для смеси ПЭВД – Актеллик наблюдаются увеличение относительно удлинения при разрыве на 10 – 15 %, что вероятно связано с пластифицирующим воздействием модифицирующей добавки на полимерную матрицу.

Результаты проведенных лабораторных исследований показали, что пленочные полимерные композиционные материалы могут быть получены стандартными методами переработки полимерных материалов. Введение в ПКМ инсектицидных добавок является эффективным способом придания композиционным материалам новых функциональных свойств.

Доказано, что ДОФ в смеси с инсектицидом может выступать одновременно как в качестве пластификатора, так и совместителя с ПЭВД. Установлено, что оптимальные инсектицидные полимерные пленки с удовлетворительными эксплуатационными свойствами могут быть получены на основе ПЭВД в концентрации 96,7 % и смеси ДОФ – инсектицид в концентрации 3,3 %.

Перспективность применения таких материалов состоит в получении образцов пленок, используемых в сельском хозяйстве в целях борьбы с насекомыми-вредителями растений и кератинсодержащей продукции (шерстяные ткани, меха, ковры, одежда и т. д.).

УДК 691.175.5/8

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИНСЕКТИЦИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.В. ЛАШКИНА, Ж.Н. ГРОМЫКО, О.А. ЕРМОЛОВИЧ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА»
Гомель, Беларусь

В настоящее время актуальны вопросы, связанные с разработкой активных полимерных композиционных материалов, в состав которых вводят специальные модифицирующие добавки с целью расширения области их применения.

Цель работы – создание новых композиционных материалов на основе ПЭВД и инсектицидов, исследование эксплуатационных свойств инсектицидных полиэтиленовых пленок.

Появление реагентов для полимерных композиционных материалов (ПКМ) коренным образом изменило и расширило возможности их применения.

Использование полиэтилена высокого давления (ПЭВД) с функциональными добавками – инсектицидами, придает материалу уникальные физико-механические свойства (прочность, жесткость, теплостойкость и т. д.), с одновременной инсектицидной активностью.

Одними из наиболее распространенных, доступных и экологически безвредных инсектицидных добавок являются инсектициды широкого спектра из класса пиретроидов, обладающие высокой эффективностью, термостойкостью в условиях совместной экструзионной переработки, низкой токсичностью, технологической совместимостью с компонентами смесей.

Объектами исследования явились композиции полимерных материалов на основе ПЭВД марки 16803-070, модифицирующие инсектицидные добавки из класса пиретроидов: перметрин, циперметрин, бетациперметрин (Кинмикс) и фосфорорганический инсектицид – Актеллик, пластификаторы – диоктилфталат (ДОФ, ТУ 6-09-08-1504-83), вазелиновое масло (ГОСТ 3164), глицерин (ГОСТ 6259), диэтиленгликоль (ГОСТ 10136).

Модифицированные инсектицидами композиционные материалы являются гетерофазными системами, свойства которых определяются характеристиками и содержанием полимера, наполнителя, а также характером сил взаимодействия на границе раздела фаз полимер – наполнитель.

УДК 621.787

АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПРОЦЕССУ РАСКАТЫВАНИЯ ПРИ СМЕНЕ ТИПА ПРОИЗВОДСТВА

Д.Е. ПЕТРОВСКИЙ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ф-л «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Рославль, Россия

На предприятиях выпускающих тормозную аппаратуру широко применяют для финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей отделочно-упрочняющую обработку методом поверхностно – пластического деформирования – раскатывание. При этом виде обработки используют раскатники с телами качения в виде роликов или шариков. Причем количество роликов, участвующих в процессе упрочнения зависит от диаметра обрабатываемой поверхности. Число роликов должно быть не четным, вследствие чего силы, возникающие при данном виде обработки, от противоположно расположенных тел качения в одной плоскости не действуют на обрабатываемую поверхность по одной линии, что предотвращает отклонение от правильности формы (отклонение от округлости). Обработка осуществляется сочетанием вращательного и поступательного перемещения заготовки либо инструмента. Применение нескольких деформирующих элементов в инструменте позволяет разгрузить узлы станка от односторонне приложенного усилия. В многороликовых инструментах ролики устанавливаются относительно оси вращения раскатки под определенным углом. При такой установке ролик перемещается по винтовой линии с заданным углом подъема, что обеспечивает самоподачу инструмента. Изменение размера поверхности при раскатывании связано со смятием микронеровностей и пластической объемной деформацией поверхностного слоя детали. Таким образом, точность обрабатываемой детали будет зависеть от ее конструкции и конструкции инструмента, режимов обработки, а также от точности размеров, формы и качества поверхности детали, полученных при обработке на предшествующем переходе. Параметры шероховатости поверхности, достигаемые при этом виде обработки, практически соответствуют $R_a = 0,2 \dots 0,8$ мкм при исходных значениях этих параметров $0,8 \dots 6,3$ мкм. Заданные параметры достигаются за один проход, так как повторные проходы в противоположных направлениях могут привести к излишнему деформированию поверхностного слоя. Поэтому рабочий профиль роликов предназначен для работы только в одну сторону. Ско-

рость не оказывает значительного влияния на параметры поверхностного слоя и выбирается с учетом требуемой производительности.

Обработка отверстий многоэлементным инструментом (раскаткой) приемлема в массовом производстве. При переходе машиностроительных предприятий на серийный выпуск продукции и увеличении номенклатуры выпускаемых изделий данный метод упрочнения имеет ряд недостатков: узкий предел обрабатываемых диаметров одной раскаткой за счет регулирования перемещением деформирующих элементов в осевом направлении по опорному конусу, таким образом, необходимо изготовление раскаток для определенного диапазона диаметральных размеров; многоэлементная раскатка является жестким инструментом, что позволяет получать поверхность с высокой точностью размеров и геометрической формы, но из-за погрешности предыдущей обработки пластическая деформация поверхностного слоя оказывается неравномерной.

Для решения поставленных задач можно заменить процесс раскатывания на другой вид обработки поверхностно-пластического деформирования – алмазное выглаживание. При выглаживании поверхности инструментом (алмаз в державке) прижимается с определенной силой к обрабатываемой поверхности. При выглаживании в месте контакта алмаза и обрабатываемой детали возникают значительные контактные напряжения и происходит пластическая деформация поверхностного слоя детали. В результате этого сминаются микронеровности и изменяются физико-механические свойства поверхностного слоя. Алмазное выглаживание осуществляется копирующим элементом, поэтому отклонения формы в продольном и поперечном сечениях изменяются незначительно. Точность обработки может несколько снизиться из-за изменения размера детали на 1–15 мкм вследствие смятия исходных микронеровностей. Предшествующими переходами могут быть как шлифование, так и растачивание. Для устранения данного недостатка целесообразно на предшествующем переходе обеспечить точность размеров на 20–30 % выше заданной для окончательно обработанной детали. При оптимально подобранных режимах выглаживания микронеровности на поверхности могут быть уменьшены в несколько раз $R_a = 0,1 \dots 0,05$ мкм, микротвердость увеличивается на 5–60 %. Достоинствами алмазного выглаживания перед раскатыванием являются: широкий диапазон обрабатываемых диаметров одним инструментом; нагружающие механизмы державок имеют упругие элементы (пружины), обеспечивающие непрерывный контакт алмаза с обрабатываемой поверхностью, и примерно, одинаковую силу выглаживания.

После этого на половину образцов со шлифованной и нешлифованной поверхностью с помощью магнетрона наносили тонкий слой покрытия (2,2 мкм) $TiAlN$ (для оценки толщины покрытия использовали контрольный образец из AL – толстой фольги).

На другую половину образцов в вакууме в течение 1 мин были нанесены тонкие покрытия $TiNCr$ толщиной около 2,4 мкм. Осаждение проводили в камере установки при давлении азота 10^{-1} Па, ток горения дуги хромового и титанового катодов составлял 100 А при опорном напряжении 120 В. Время осаждения составляло 10 мин.

Для исследования элементного состава использовали Резерфордское обратное рассеяние ионов с энергией ионов $^4He^+$ с энергией 2,35 МэВ и протонов 2,012 МэВ (Дубна, ОИЯИ), 1,5 МэВ, ионы гелия (Минск, лаборатория элионики). Анализ морфологии и элементного состава проводили с помощью растрового электронного микроскопа РЭММА-103М с микроанализатором (EDS – энергодисперсионным спектром и WDS – волновым дисперсионным спектром). Структуру и фазовый состав изучали на установке Advance 8 (XRD-анализ) включая скользящий пучок от $0,5^\circ$.

Проведены электрохимические коррозионные испытания в среде 1 % NaCl с использованием PCI 4/300 – потенциостата-гальваностата ZRA, электрохимического программного обеспечения ДС-105 и коррозионной ячейки.

В работе были получены нанокомпозитные комбинированные покрытия следующего состава: $Ti-N-Cr/Ni-Cr-Si-B$, $Ti-N-Al/Ni-Cr-Si-B$ толщиной от 70 до 80 мкм. В верхнем покрытии (первая серия образцов) обнаружены фазы $(Ti, Cr)N$ – твердый раствор, а также простые гексагональные фазы Cr_2Ti ; Fe_3Ni и различные соединения с Ni (Ti_2Ni ; Ni_3Ti ; Ni_4Ti_3 и др.). Установлено наличие наноразмерных зерен в верхнем покрытии с размером 4 – 5 нм, определенным по формуле Дебая-Шеррера в твердом растворе $(Ti, Cr)N$.

Во второй серии образцов с защитным комбинированным покрытием сформировались основные фазы: $Ti_3AlN+Ti_2Al_2N_2$, а также фазы, образованные в результате взаимодействия плазменной струи с толстым покрытием, предварительно нанесенным плазменно-детонационным методом. Анализ, проведенный с помощью методов RBS и EDS на косых шлифах образцов, полученных из нанокомпозитных покрытий, показал, что верхний слой имеет зерна размером 4–5 нм, а толстое покрытие – зерна микронных размеров (3–12 мкм) с включениями из наноразмерных фаз (15–100 нм). Полученная структура покрытия имеет хорошее качество, о чем также свидетельствуют результаты механических испытаний – твердости (микро- и нано-), уменьшение износа при трении цилиндра по поверхности покрытия, коррозионной стойкости в кислых средах, а также высокой адгезии покрытий между собой.

УДК: 621.4384.6

СТРУКТУРА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
КОМБИНИРОВАННЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ
ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Ф.Ф. КОМАРОВ, *А.Д. ПОГРЕБНЯК, В.В. ПИЛЬКО

Научно-исследовательское учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
им. А.Н. Севченко» БГУ

* «СУМСКИЙ ИНСТИТУТ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ»
Минск, Беларусь; Сумы, Украина

Создан новый тип нанокompозитных защитных покрытий на основе $\text{TiAlN/NiCr(Fe, B, Si)}$ и $\text{TiCrN/NiCr(Fe, B, Si)}$, полученных комбинированным способом осаждения и исследована их структура и физико-механические свойства. Для изучения свойств и структуры покрытий использовали следующие методы анализа: Резерфордское обратное рассеяние ионов (RBS); растровую электронную микроскопию с микроанализом (SEM with EDS); дифракцию рентгеновских лучей (XRD), включая скользящий пучок; исследование нано- и микротвердости износа при трении цилиндра по плоскости; измерения силы адгезии и стойкости к коррозии в кислой среде.

Образцы были изготовлены по следующей технологии. Прутки нержавеющей стали 12Х18Т прокатывали и получали образцы размерами 2х20х20 мм, которые затем отжигали для снятия наклепа и дефектности. Затем на образцы были нанесены покрытия из порошка ПГ-19Н-01 размером (29–68) мкм следующего состава: Ni – основа; Cr ~ 8–14 %; Si = 2,5–3,2 %; B ~ 2 %; Fe ~ 5 %. С помощью плазмотрона «Импульс-6» было нанесено покрытие толщиной от 90 до 120 мкм с параметрами: фракция порошка ~ (63–80) мкм; расход порошка ~ 22,5 г/мин; частота следования импульсов 4 Гц; емкость конденсаторных батарей 800 мкФ. Расстояние до образцов 60 мм. Скорость перемещения образцов 380 мм/мин. В качестве расходного электрода был использован W. Перед напылением поверхность образцов обрабатывалась струйно-абразивной методикой с последующим оплавлением плазменной струей с эродирующим электродом из W. Повторное оплавление поверхностного слоя покрытий проводилось плазменной струей без порошка. Частота следования 3 Гц, емкость 800 мкФ. Расстояние от среза сопла до образца 45 мм. Скорость перемещения 300 мм/мин. Часть образцов была оплавлена плазменной струей таким образом, чтобы оплавился слой толщиной 60–80 мкм, а другая часть образцов осталась неоплавленной. На половине образцов был шлифован верхний слой для уменьшения шероховатости.

УДК 621.833.389

НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

О.Е. ПЕЧКОВСКАЯ

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

Эксцентриковые зубчатые передачи с разностью чисел зубьев колес, равной единице, и модифицированным внутренним эвольвентным зацеплением характеризуются повышенной нагрузочной способностью. Модификация зацепления представляет собой комплексный выбор рациональных размеров диаметра вершин зубьев сателлита, толщины его зубьев и межосевого расстояния передачи и не приводит к изменению эвольвентной формы зубьев и, как следствие, не изменяет условия работы зацепления.

Результаты экспериментальных исследований передач с модифицированным зацеплением, а также ее геометрический и силовой анализ позволяют сделать заключение о ее высоком техническом уровне. В таких передачах решены задачи достижения предельного передаточного отношения, определяемого числом зубьев сателлита, снижения ее массогабаритных параметров, повышения кинематической точности и плавности работы.

Увеличение нагрузочной способности обеспечивается за счет повышенной многопарности зубчатого зацепления, позволяющей уменьшить нагрузку, приходящуюся на пару зубьев. На основе анализа созданных компьютерных моделей модифицированных зацеплений было установлено, что независимо от числа зубьев сателлита и направления его вращения, в зацеплении гарантированно состоят две или три пары зубьев, расположенных симметрично оси симметрии эксцентрика и на некотором удалении от нее, а число пар зацепляющихся зубьев с учетом их податливости составляет от 12 до 20 % от числа зубьев сателлита.

Расчетами установлено и численным анализом, реализованном на основе метода конечных элементов, подтверждено, что в результате повышенной многопарности зацепления наибольшие величины контактных напряжений в эксцентриковой передаче до 1,3 раз меньше, чем в стандартном зацеплении, а напряжения изгиба зубьев в такой передаче до 1,9 раз меньше, чем в зубьях, полученных без смещения и модификации. При этом нагрузочная способность модифицированной передачи в 1,5...1,9 раз выше, по сравнению со стандартной передачей.

Установлен характер распределения нагрузки, а также контактных и изгибных напряжений в модифицированном многопарном зацеплении при разности чисел зубьев колес, равной единице, положенный в основу расчета зубьев на прочность.

Л.Е.РОВИН, С.В.АВСЕЙКОВ

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. П.О. Сухого»

Гомель, Беларусь

Впервые в практике литейных цехов Республики Беларусь на РУП «ГЛЗ Центролит» для подготовки чугуновой и стальной стружки к плавке в индукционных печах применили ротационную качающуюся печь (РКП). РКП представляет собой установку, состоящую из цилиндрического корпуса, смонтированного на качающейся платформе; поворотной стойки, на которой закреплена крышка печи, электропривода; топливного оборудования; гидростанции; уловителя дымовых газов; системы КИП и А с пультом управления. РКП с периферийными устройствами была изготовлена силами завода по проекту, выполненному кафедрой «Машины и технология литейного производства» университета.

Эта печь является частью технологического цикла получения отливок. Качество последних зависит от качества металла, получаемого в индукционных тигельных печах с использованием стружки в количестве 20 % от массы завадки. Высушенная и подогретая до необходимой температуры стружка как правило, цикл нагрева до температуры 650–750 °С занимает 15–20 минут, оказывает положительное влияние на качество жидкого металла, производительность и экологические параметры индукционных печей.

Поэтому важно обеспечить надежную работоспособность всех механизмов и РКП в целом. Эксплуатация печи на РУП «ГЛЗ Центролит» показала, что определенные проблемы связаны с работой механизма поворота крышки РКП. Он состоит из гидроцилиндра, упорного ролика, рейки и зубчатого колеса. Преимуществами данного механизма поворота крышки является удобство регулирования угла поворота крышки, однако, в данной установке это не актуально. Угол устанавливается при монтаже, а далее достаточно всего лишь двух крайних положений (открыто и закрыто). К недостаткам можно отнести сложность механизма, что увеличивает вероятность выхода из строя. Также, недостатком является трудоемкость изготовления элементов механизма, их сборка с последующим обслуживанием и ремонтом.

В процессе эксплуатации была выявлена основная причина отказов. Вследствие недостаточного усилия от прижимного ролика к рейке, зубчатое колесо под воздействием моментов инерции при повороте крышки

шеней выше, чем приводимые в научно-технической литературе примерно в 1,3–1,8 раза, а величина коэффициента трещиностойкости K_{IC} выше в 2,0–2,5 раза. Более высокие значения микротвердости и коэффициента трещиностойкости, обусловлены использованием ультрадисперсных порошков и взрывного метода нагружения.

С использованием метода сканирующей электронной микроскопии исследовано изменение микроструктуры полученных экспериментальных образцов на основе ZnO в зависимости от режимов изготовления и содержания легирующей добавки. Установлено, что даже на стадии прессования взрывом формируется достаточно плотная мелкодисперсная структура материала. Наблюдается как измельчение, так и частичное припекание некоторых исходных частичек ZnO друг к другу, что косвенно свидетельствует о кратковременном разогреве областей межчастичных контактов до температур ~1000 °С.

Показано, что температуры спекания 1000 °С недостаточно для формирования плотной структуры экспериментальных образцов ZnO + 1 % Y₂O₃ (по массе), спрессованных статическим методом. В то же время для данного состава материала, полученного взрывным прессованием, такой температуры достаточно для завершения процесса спекания. Наличие легирующей добавки Y₂O₃ 1–5 % (по массе) затормаживает процесс спекания ZnO при 1000 °С, причем увеличение содержания легирующей добавки с 1 до 5 % Y₂O₃ незначительно увеличивает пористость спеченных при 1000 °С образцов.

Изучена эволюция микроструктуры мишеней с добавкой 4 % (по массе) легирующих фторидов (эрбия, гольмия и иттрия) в интервале 1100–1300 °С. Показано, что при температуре 1300 °С процесс спекания указанных составов с добавками фторидов завершается. Формируется практически беспористая структура с размером кристаллов 2–3 мкм. Легирующие добавки на основе фторидных соединений РЗЭ равномерно распределены по объему, преимущественно по границам кристаллитов, а их размер составляет 0,5–0,6 мкм.

По результатам проведенных исследований изготовлены мишени с различными легирующими добавками в виде дисков и пластин размером до 150 мм, предназначенных для вакуумного распыления при получении тонких пленок. В частности, получены тонкие пленки (толщина пленок 50–900 нм) оксида цинка с добавками оксидов и фторидов иттрия, диспрозия, эрбия на подложках из кремния ориентации (111) методом ионно-лучевого распыления мишени с ионным ассистированием. Результаты исследования микрорельефа и излома получаемых тонкопленочных образцов методом растровой электронной микроскопии показали, что формируемые пленки имеют столбчатую структуру, характерную для тонких пленок ZnO.

В.М. КОЛЕШКО, А.А. ШЕВЧЕНКО, В.А. ГУЛАЙ

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Беларусь

Эффективным методом формирования тонких диэлектрических пленок с приемлемыми электрофизическими свойствами является вакуумное распыление керамических мишеней из микро-нанопорошков оксида цинка. Использование субмикронных и наноразмерных порошков, а также применение методов импульсного прессования композиционных материалов позволяет получать распыляемые мишени достаточно высокой плотности. Мелкозернистая структура материала мишеней способствует стабилизации параметров процесса их распыления и получению высококачественных тонких пленок. Введение микродобавок в состав композиционных материалов позволяет повысить электрофизические свойства формируемых сенсорных микро-наноструктур.

Разработан и исследован процесс получения распыляемых мишеней на основе микро-нанопорошков оксида цинка с микродобавками (~1–5 % по массе) редкоземельных соединений. Изучена микроструктура и физико-механические свойства получаемых мишеней при статическом и импульсном прессовании. Статическое прессование распыляемых мишеней проводили в интервале давлений 100–500 МПа; импульсное прессование осуществляли на воздухе с помощью бризантного взрывчатого вещества при давлении ~3–5 ГПа без использования связующего. Последующее спекание композиционных материалов выполняли на воздухе в интервале температур 900–1400 °С в течение 2 ч.

Относительная плотность материала экспериментальных образцов мишеней, полученных взрывным прессованием, составляет порядка 83–87 %; последующее спекание позволяет повысить данный параметр до 98–99 %. Относительная плотность спрессованных статическим методом образцов из ультрадисперсного порошка ZnO с ростом температуры спекания от 1000 до 1300 °С возрастает с 4,82 г/см³ (85 %) до 5,46 г/см³ (96 %). Плотность образцов из композиционных порошков с добавкой Y_2O_3 составляет 5,42 г/см³ (ZnO + 1 % Y_2O_3 по массе) и 5,28 г/см³ (ZnO + 5 % Y_2O_3 по массе). При повышении плотности материала мишеней снижается выделение адсорбированных газов в процессе распыления и повышается воспроизводимость процесса осаждения тонких пленок.

Изучено изменение физико-механических свойств композиционных материалов в зависимости от режима формирования и отжига распыляемых мишеней. Полученные значения микротвердости H_v прессуемых ми-

проскальзывает, тем самым при открытии или закрытии может остановиться в промежуточном положении, дальнейшее движение крышки без вмешательства рабочих невозможно. Вследствие этого увеличивается время простоя печи между операциями: загрузка – включение горелки (начало процесса сушки), отключение горелки (окончание нагрева) – выгрузка из печи, что влечет за собой сбой в работе как самой РКП и индукционных печей, так и всего технологического цикла. Кроме того увеличивается потеря тепла из печи, снижается температура стружки, увеличивается цикл работы печи.

Для того чтобы исключить эти факторы, необходима модернизация привода механизма поворота крышки с целью повышения надежности его эксплуатации. Предлагаемая модернизация заключается в замене зубчатого колеса на оси поворота крышки рычагом для гидроцилиндра. В состав нового механизма входит всего лишь один гидроцилиндр, что увеличивает надежность всей конструкции.

Преимущества нового механизма: простота конструкции, удобство в эксплуатации, обслуживании и ремонте, дешевизна. К недостаткам можно отнести сложное поступательно-вращательное движение гидроцилиндра, однако, предложенное конструктивное исполнение рычага на оси крышки исключает заклинивание механизма.

Данная модернизация позволит сократить время простоя РКП с открытой крышкой до минимума, что увеличит КПД печи, повысит стабильность работы участка подогрева стружки и положительно отразится на процессе плавки шихты в индукционных печах.

А.Н. РЯЗАНЦЕВ

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

Многообразие объектов производства в машиностроении и необходимость модернизации машиностроительных предприятий требует особого подхода к организации процесса обучения специалистов в области технологического проектирования и автоматизации производства.

Для внедрения в учебный процесс кафедры «Технология машиностроения» университета современных информационно-коммуникационных образовательных технологий разработана концепция виртуальной учебной лаборатории (ВУЛ). В соответствии с концепцией ВУЛ в настоящее время ведется создание информационно-образовательных ресурсов ВУЛ.

На основе концепции предложена следующая структура информационно-образовательных ресурсов:

- автоматизированная обучающая система;
- электронная библиотека;
- методики проектирования объектов производственной среды;
- мультимедийные учебно-методические материалы;
- моделирование элементов производственной среды;
- программирование средств автоматизации проектирования;
- интернет-ресурсы.

Ядром виртуальной учебной лаборатории является автоматизированная обучающая система (АОС). АОС содержит ряд автоматизированных учебных курсов, содержание которых соответствует учебным дисциплинам кафедры.

Для выполнения самостоятельной работы, контрольных занятий в составе информационно-образовательных ресурсов имеется электронная библиотека, которая содержит нормативно-справочную литературу, необходимые стандарты, ссылки на периодические издания по специальности и электронные библиотечные каталоги.

Важным компонентом образовательных технологий является изучение современных методик проектирования различных производственных объектов. В связи с этим в составе информационно-образовательных ресурсов ВУЛ присутствует методическое обеспечение, описывающее современные методики проектирования технологических процессов, средств технологического оснащения, автоматизированных технологических комплексов.

где $T_{пл}$ – температура плавления материала, К; $T_{ср}$ – температура среды (зоны плавления формующего канала); T_0 – начальная температура материала.

Разработанная технология производства длинномерных изделий из высоконаполненных пресс-композиций была испытана в лабораторных и производственных условиях при изготовлении досок толщиной 15 мм и длиной 150 мм, а также труб наружным диаметром 127 мм с толщиной стенок 10 мм.

Изготовленные доски использовали для производства оросительных элементов градилен, а трубы – для изготовления корпусов роликов ленточных конвейеров.

Разработанные технология, материалы и устройства позволяют:

- перерабатывать наполненные до 85 масс. % композиционные материалы;
- изготавливать трубы длиной 3–15 м диаметром 50–300 мм с толщиной стенки 12–25 мм и доски толщиной 10–40 мм и шириной 100–300 мм;
- использовать в качестве связующих измельченные отходы (в т.ч. пленочные) поливинилхлорида и полиэтилена;
- использовать в качестве наполнителей измельченные отходы древесины, стеклянных, полиоксидазольных, базальтовых и др. волокон.

Изготавливаемые изделия предназначены к применению в агрессивных средах в присутствии кислот, щелочей, солей, химреактивов и т.д. в интервале температур от -50 до +120 °С (табл. 1).

Табл. 1. Характеристики разработанных пресс-материалов

Характеристика материала	На основе термопластов	На основе реактопластов
Плотность, кг/м ³	900...1200	1100...1350
Разрушающее напряжение, МПа:		
при сжатии	60...110	110...180
при статическом изгибе	35...50	65...120
Ударная вязкость, кДж/м ²	5...15	20...35
Твердость, МПа	90...120	150...250
Теплостойкость, К	250...300	350...400
Водопоглощение за 24 часа, %	1,5...2,2	1,0...1,4

Материалы, технология изготовления изделий, оборудование и оснастка для ее осуществления защищены 10 патентами Республики Беларусь на изобретения.

С.Н. КОЛДАЕВА, Л.Н. ПОЛИЩУК, *А.Н. ЕКИМЕНКО

Учреждение образования

«МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И.П. Шамякина»*НПУП «ИНСТИТУТ ИННОВАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»
Мозырь, Гомель, Беларусь

Плунжерная экструзия является перспективным методом переработки композиционных материалов на основе использования промышленных отходов. На основе плунжерной экструзии нами разработана технология изготовления профильных погонажных изделий (труб, досок, направляющих, поручней и др.) из высоконаполненных композиционных полимерных материалов на основе термо- и реактопластов.

Одна из особенностей плунжерной экструзии, открывающая новые возможности для переработки высоконаполненных (до 85 %) композиционных материалов, заключается в том, что материал вводится в формующий канал в сыпучем состоянии, когда его частицы находятся в твердой фазе. При этом переход материала в вязко-текучее состояние и последующее его отверждение осуществляется непосредственно в формующем канале (в отличие от шнековой экструзии, при которой материал подается в формующий канал в вязко-текучем состоянии).

При исследовании процесса получения погонажных изделий плунжерной экструзией установлена функциональная зависимость теплопередачи от стенок формующего канала к формуемому изделию, выраженная в виде уравнения:

$$\tau = -\frac{4\rho c S^2}{\pi^2 \lambda} \ln \frac{\theta \pi}{4 \cos \frac{\pi(S-h)}{2S}},$$

где τ – время, за которое температура на расстоянии h от поверхности формуемого изделия достигает температуры плавления связующего; ρ – плотность изделия; $2S$ – толщина изделия; h – толщина слоя расплава на поверхности изделия; c – теплоемкость, λ – коэффициент теплопроводности материала; θ – безразмерная температура. При достижении температуры плавления

$$\theta = \frac{T_{пл} - T_{сп}}{T_0 - T_{сп}},$$

В процессе изучения различных производственных процессов и средств их автоматизации важное место занимают современные мультимедийные учебно-методические материалы. В составе информационно-образовательных ресурсов ВУЛ мультимедийные материалы представляют собой фотоальбомы различных средств технологического оснащения, видеоролики и учебные фильмы.

Мощным инструментом в области проектирования объектов производства и элементов производственной среды являются системы геометрического моделирования. Для изучения современных методик двух- и трехмерного моделирования в составе ВУЛ предусмотрено наличие базовой системы двух- и трехмерного геометрического моделирования AutoCAD. В состав этого модуля ВУЛ включены и готовые библиотеки типовых двух- и трехмерных моделей реальных средств автоматизации и технологического оснащения современных производств, которые серийно изготавливаются ведущими отечественными и зарубежными производителями оборудования.

Создание эффективных технологических процессов сегодня невозможно без использования средств автоматизации проектирования технологических процессов. Для обеспечения студентов этим ресурсом в составе ВУЛ присутствуют три системы: система автоматизации технологических процессов; система автоматизации программирования и моделирования технологических операций, выполняемых на станках с ЧПУ; система моделирования и программирования роботизированных технологических комплексов.

Глобальным современным информационным ресурсом является сеть Интернет, которая является важным источником информации при принятии решений в ходе проектирования прогрессивных технологий и средств их оснащения. Для эффективного использования студентами информационных ресурсов Интернет создана библиотека ссылок на информационные ресурсы ведущих отечественных и зарубежных производителей технологического оборудования. В библиотеке ссылок представлены также ресурсы различных национальных ассоциаций и университетов. Имеются ссылки на специализированные поисковые системы инженерного назначения.

Программное обеспечение общей оболочки ВУЛ представляет собой web-интерфейс, который обеспечивает доступ пользователей к информационным ресурсам, расположенным как на сервере локальной сети ВУЛ, так и на сайтах в сети Интернет. Наличие на кафедре виртуальной учебной лаборатории создает предпосылки для организации дистанционного обучения, что особенно важно для студентов заочной формы обучения.

Создание подобной систематизированной структуры информационно-образовательных ресурсов, дополненных набором учебных задач и заданий, должно обеспечить возможность интенсификации и повышения качества процесса обучения.

УДК 621.9
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ
ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ИНСТРУМЕНТОМ МОДИФИЦИРОВАННЫМ
ПОТОКОМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ
В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

Н.В. СПИРИДОНОВ, А.Ф. КОРОТКЕВИЧ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Могилев, Беларусь

Одними из приоритетных направлений развития для машиностроения является повышение эффективности производства путем внедрения энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий, а также повышение конкурентоспособности выпускаемых изделий с целью их активного продвижения на рынки стран СНГ и дальнего зарубежья. Возможным направлением практического решения данных задач является применение модифицированного режущего инструмента. Повышение стойкости которого достигается путем модификации поверхностных слоев потоком заряженных частиц. Использование данного инструмента позволяет увеличить его срок службы в сравнении с немодифицированным, а, следовательно, уменьшить себестоимость продукции. Повысить производительность обработки за счёт назначения оптимальных режимов резания.

Определение режимов резания является одной из главных задач в процессе разработки технологических процессов при металлообработке, проектировании специальных и агрегатных станков, а также автоматических линий. Они служат основой для разработки кинематики и динамики станка. На их основе устанавливается периодичность и порядок смены, а также расход инструментов, определяется число работающих, фонды заработной платы, число станков, площади цехов и участков, необходимые капиталовложения и т.д. Для решения этой задачи с успехом могут быть применены математические методы теории линейного программирования на базе использования физических закономерностей современной науки о резании металлов.

В условиях единичного и серийного производства, когда в качестве основного критерия оптимальности выступает минимальная себестоимость обработки, целесообразно повышать её эффективность за счет повышения стойкости инструментов. В результате, получая экономию от уменьшения количества инструментов, необходимых для обработки партии деталей. В условиях крупносерийного и массового производства, когда в качестве ос-

нальности решетки, о чем свидетельствует смещение пика α -фазы на дифрактограммах в область более низких углов 2θ , а также созданию дополнительных напряжений сжатия в рабочем слое оснастки. Дальнейшее повышение температуры закалки не приводит к существенным изменениям в структуре стали Р6М5, но вызывает рост остаточных напряжений сжатия, что приводит к самопроизвольному отделению упрочненного слоя. Возникновение и рост остаточных напряжений сжатия обусловлено тем, что диффузионное насыщение поверхности стали Р6М5 углеродом при цементации приводит к понижению точки начала мартенситных превращений M_n в поверхностном слое. Поэтому при закалке мартенситные превращения происходят сначала в более глубоких слоях, а затем в поверхностном слое. Это приводит к повышению сопротивления усталостному разрушению.

Увеличение количества углерода в поверхностном слое способствует росту количества карбидов типа $M_{23}C_6$ в нем, а также усиливает возможность дисперсионного твердения при отпуске и способствует увеличению твердости поверхности до 65–66 HRC. Однако при этом снижается вязкость поверхностного слоя стали.

Результаты исследований на реальной оснастке из стали Р6М5 показали, что цементация формообразующих поверхностей штамповой оснастки холодновысодочных автоматов для изготовления крепежных болтов железнодорожных рельс в соответствии с предложенной технологией приводит к повышению стойкости штампов в 1,3–2 раза.

Диффузионное насыщение быстрорежущей стали Р6М5 углеродом позволяет получить на рабочих поверхностях инструмента высокоуглеродистый мартенсит при закалке с более низких температур, чем рекомендуемые 1220 °С. Дисперсионное твердение в процессе отпуска при 560 °С обеспечивает твердость поверхностного слоя 65–66 HRC независимо от температуры с которой производится закалка в диапазоне 950–1220 °С.

Балл зерна, карбидный состав, твердость и предел выносливости более глубоких слоев зависят от температуры закалки, т.к. с увеличением температуры повышается растворимость карбидов легирующих элементов, степень легирования и насыщенность углеродом аустенита, а соответственно и мартенсита. Изменяя температуру закалки с 1220 до 950 °С можно регулировать размер зерна от 9 до 12 балла, твердость с 62–63 HRC до 53–55 HRC в подповерхностном слое, вследствие изменения его карбидного состава.

Таким образом, в диффузионно-насыщенных углеродом быстрорежущих сталях можно обеспечить повышение стойкости инструмента путем регулирования температуры закалки, создавая оптимальный градиент структуры и твердости по глубине, в соответствии со спецификой работы инструмента и его напряженного состояния.

температуре 560 °С, подвергнутые насыщению углеродом, но без термообработки, а также закалке с температур 950 °С, 1050 °С, 1150 °С которую производили сразу после окончания цементации не охлаждая образцов. После закалки цементованные образцы подвергали трехкратному отпуску при 560 °С. Влияние температуры закалки науглероженных образцов исследовалось на структурные превращения в диапазоне температур 950–1150 °С. Нижний диапазон выбран с целью исследования возможности производить закалку непосредственно после науглероживания, которое производилось при температуре 950 °С. Максимальная температура закалки исследованных образцов определена по критерию предельных остаточных напряжений сжатия в упроченном слое, в соответствии с которым нагрев науглероженных образцов под закалку выше 1150 °С приводит к столь высоким остаточным напряжениям сжатия, которые вызывают самопроизвольное отделение упроченного слоя.

С увеличением количества углерода в поверхностном слое Р6М5, при цементации, увеличивается количество карбидов типа $M_{23}C_6$. Максимальное количество этого карбида – 8 % возникает уже при содержании углерода 1 %. Изменение содержания углерода по сечению цементованного слоя, изменяет карбидный состав и свойства по глубине его.

Результаты исследований показали, что твердость поверхности цементованных образцов из стали Р6М5 составила 65–66 HRC независимо от температуры закалки, т.к. количество углерода в мартенсите практически одинаково. Однако в сердцевине образцов твердость при закалке с 950 °С составляет 55÷57 HRC, вследствие того, что аустенит в сердцевине, менее насыщен углеродом. А при данной температуре растворяется лишь незначительное количество карбидов $M_{23}C_6$. При температуре 1050 °С растворимость карбидов $M_{23}C_6$ возрастает и сопровождается растворением значительной части этих карбидов, увеличивается степень насыщения аустенита углеродом и легирующими элементами Мо, W, V. Это приводит к увеличению твердости мартенсита при закалке, которая составляет 60–61 HRC. При температуре 1150 °С растворяются все карбиды $M_{23}C_6$ и частично карбиды MC, повышается степень насыщения углеродом и легирующими элементами аустенита, а соответственно и мартенсита после закалки, что приводит к увеличению твердости сердцевины до 62–63 HRC, аналогичной достигаемой при закалке стали Р6М5 по стандартной технологии с 1220 °С.

Образующаяся в сердцевине образцов α -фаза при закалке с температуры 950 °С, имеет меньшую твердость, но большую пластичность, замедляет рост микротрещин при циклических нагрузках, обеспечивая более высокий предел выносливости и износостойкость. Увеличение температуры закалки с 950 °С до 1150 °С приводит к увеличению степени насыщения аустенита и α -фазы углеродом и легирующими элементами, росту тетраго-

новного критерия оптимизации выступает максимальная производительность, целесообразно производить повышение эффективности обработки за счет повышения режимов резания.

Назначение режимов резания для инструментов в состоянии поставки не вызывает особых сложностей. Для модифицированного инструмента вопрос их назначения изучен не полностью и является перспективным направлением научных исследований. В силу актуальности внедрения ресурсосберегающих технологий в металлообработке является целесообразным проведение научных исследований по определению оптимальных режимов резания для модифицированного инструмента.

При проведении расчетов необходимо принимать во внимание ряд факторов относящихся к заготовке, станку и инструменту, являющихся основными элементами технологического процесса и накладывающих ограничения на режимы резания. Данные факторы называются техническими ограничениями.

Одним из них является режущие возможности инструмента. Это ограничение устанавливает взаимосвязь между скоростью резания, обусловленной принятой стойкостью инструмента, материалом режущей части инструмента, его геометрическими параметрами, глубиной резания, подачей, механическими свойствами обрабатываемого материала, с одной стороны, и скоростью резания, определяемой кинематикой станка, с другой.

Коэффициент K_v учитывает изменение условий обработки по сравнению с нормативными. Модификация твердосплавного инструмента приводит к изменениям его физико-механических свойств, что определяет свойства такого инструмента, как отличные от нормативных. Следовательно, при расчете скорости резания для обработки инструментом, модифицированным методом низкоэнергетического воздействия, возникает необходимость введения нового дополнительного коэффициента K_{mod} , входящего в состав общего поправочного коэффициента K_v . Дополнительный коэффициент K_{mod} показывает возможность повышения скорости резания за счёт модификации инструмента в состоянии поставки.

Для нахождения значений данного коэффициента авторами были проведены эксперименты. Для черновой обработки полученные значения коэффициента K_{mod} , составили 1,8–2,1, при полустойковой обработке 1,2–1,4. Для условий черновой обработки были проведены исследования влияния увеличения подачи на стойкость инструмента. Стойкость модифицированного инструмента оставалась неизменной при трехкратном увеличении величины подачи.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ
СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЕМ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ СВОЙСТВ
ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ

Е.В. ФИЛИПЕНКО

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»

Гомель, Беларусь

Способ получения отливок в обычные сырые песчано-глинистые формы, особенно в массовом производстве остается наиболее распространенным, а, в некоторых случаях и единственным. Это объясняется их относительно низкой стоимостью, технологической надежностью процесса, возможностью получать отливки любой массы и сложности. Процесс изготовления песчано-глинистых форм механизирован и автоматизирован, разработаны и крупномасштабно внедрены в производство автоматические линии.

В тоже время возникает потребность в новом подходе к оценке качества песчано-глинистых формовочных смесей, требуется создание принципиально новых автоматизированных систем управления процессом смесеприготовления на основе непрерывного контроля состава и свойств формовочных смесей.

Для автоматического контроля и управления свойствами формовочной смеси описан ряд различных методов оценки свойств смесей, каждый из которых является важным и необходимым. Однако для того, чтобы создать условия для автоматизации контроля, предлагаемые методы контроля должны обеспечить: высокую степень корреляции, близкую к функциональной; некоррелированность измеряемых параметров между собой; возможность создания простой, надежной и точной аппаратуры.

В последние годы для решения задачи управления свойствами формовочных смесей широко применяется расчетно-аналитический метод, использующий модели планируемого эксперимента. Такой подход открывает новые возможности для управления свойствами формовочных смесей за счет повышения оперативности регулирования процесса при изменении свойств исходных материалов и номенклатуры изготавливаемых отливок. Только на основе этого подхода возможно создание автоматизированных систем управления процессами приготовления формовочных смесей.

С учетом этого были разработаны математические модели, коэффициенты которой определены в результате обработки данных промышленных экспериментов. Для этого был реализован центральный композиционный

СТРУКТУРНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НАУГЛЕРОЖЕННОМ
СЛОЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5

В.М. КЕНЬКО, И.Н. СТЕПАНКИН

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»

Гомель, Беларусь

Стойкость инструмента, изготовленного из быстрорежущих сталей, зависит от химического состава сталей, режимов термической и химико-термической обработок, которые определяют структуру стали после термообработки (размер зерна, степень легированности мартенсита (α -фазы), количество остаточного аустенита, количество карбидов и их состав).

С увеличением температуры закалки быстрорежущих сталей до определенной величины увеличивается твердость, предел прочности при изгибе, теплостойкость, т.к. увеличивается степень легированности α -фазы вследствие растворения карбидов $M_{23}C_6$ и частично M_6C . Однако при более высоких температурах из-за роста размеров зерна, прочность и вязкость резко убывают.

В повышении твердости стали Р6М5 при термообработке существенную роль оказывает дисперсионное твердение, которое определяется степенью легирования аустенита и мартенсита, типом образующихся при отпуске карбидов и их количеством. С увеличением степени насыщения аустенита углеродом уменьшается растворимость в нем других легирующих элементов, а соответственно их количество в мартенсите, которые затем участвуют в дисперсионном твердении.

Закалку быстрорежущей стали Р6М5 производят с температуры 1220 °С. Нагрев до такой высокой температуры производится для растворения карбидов типа $M_{23}C_6$, M_6C и частично MC , с целью увеличения степени насыщения аустенита, а соответственно и мартенсита, углеродом, W, Mo, V. При этом наблюдается рост аустенитного зерна до 9–10 балла и при закалке формируется крупноиглочатый мартенсит 3–2 балла. Применив диффузионное науглероживание рабочих поверхностей инструментов, можно получить высокоуглеродистый мартенсит при закалке с более низких температур, сохранив при этом более мелкое зерно.

Исследования влияния режимов термической и химико-термической обработки на структуру быстрорежущей стали Р6М5 проводились на рентгеновском диффрактометре ДРОН-7 с использованием рентгеновской трубки 2, ОБСВ27-Со при напряжении 40 кВ, силе тока 30 мА.

В качестве объектов исследования использовались образцы из стали Р6М5 после закалки от температуры 1220 °С и 3-х кратного отпуска при

ветственно удельная теплоемкость и плотность материала инструмента.

В результате анализа было определено, что условие схватывания выполнимо посредством назначения определенных величин скорости процесса деформирования, степени деформации, температуры нагрева зоны соединения, геометрического параметра очага деформации. Предполагается определять необходимые режимы деформации по установленным зависимостям, а свойства материалов учитывать через энергию активации процесса, контролирующего релаксацию напряжений в покрытии и свободную энергию образования перегибов дислокаций для материала покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Селивончик, Н. В.** Разработка критерия получения соединения покрытия с основой при плакировании обратным выдавливанием / Н. В. Селивончик, Ю. Л. Бобарикин // Материалы, технологии, инструменты. – 2002. – Т.7 – №3. – С.33-37.
2. **Гарафало, Ф.** Законы ползучести и длительной прочности металлов и сплавов : пер. с англ. / Ф. Гарафало. – М. : Металлургия, 1968. – 304 с.
3. **Бобарикин, Ю. Л.** Определение интенсивности сдвиговой деформации и температуры в очаге деформации при плакировании обратным выдавливанием / Ю. Л. Бобарикин, В. Ф. Буренков, Н. В. Иноземцева // Материалы, технологии, инструменты. – 2006. – Т.11. – №2. – С.39–43.
4. **Хирт, Дж.** Теория дислокаций : пер. с англ. / Дж. Хирт, И. Лоте ; под ред. Э. М. Надгорного, Ю.А. Осипьяна. – М. : Атомиздат, 1972. – 600 с.

план эксперимента. Он предназначен для получения регрессионной модели в виде:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + \dots + B_k X_k + B_{12} X_1 X_2 + B_{13} X_1 X_3 + \dots + B_{k-1,k} X_{k-1} X_k + B_{11} X_1^2 + \dots + B_{kk} X_k^2$$

Параметрами оптимизации являлись: формовость (Y_1), уплотняемость (Y_2), прочность формовочной смеси в сыром состоянии (Y_3), объемная плотность (Y_4). В качестве независимых переменных были приняты: содержание бентонита (X_1), крахмалита (X_3) и влажность (X_2).

В качестве экспериментальных данных использовались результаты трех реплик построенного центрального композиционного плана. Для оценки результатов эксперимента применялись статистические методы, а также использовался программный продукт STATISTICA 6.0.

Была получена следующая система уравнений:

$$Y_1 = 124,720 - 30,515 X_2 + 0,915 X_1 X_2 ;$$

$$Y_2 = 28,900 - 16,480 \ln X_1 + 41,001 \ln X_2 ;$$

$$Y_3 = 0,086 - 1,155 \frac{1}{X_1} + 0,651 \frac{1}{X_2} - 1,094 \frac{1}{X_2^2} + 1,803 \frac{1}{X_1 X_2}$$

$$Y_4 = 1,044 + 0,206 \ln X_1 - 0,588 \ln X_2 + 0,012 \ln X_3 .$$

Полученные регрессионные модели являются статистически значимыми, что подтверждается значением $F_{набл} > F_{крит}$ при $\alpha = 0,05$, показателем значимости F -статистики, а также значениями $t_{набл} > t_{кр}$ при коэффициентах регрессии и показателями их значимости, тестами на гетероскедастичность (тест Уайта), автокорреляцию остатков (тест Дарбина-Уотсона), мультиколлинеарность, нестохастичность объясняющих переменных, нормальность распределения остатков (тест Бера-Жарка), правильность определения формы зависимости (RESET-тест).

Полученные зависимости могут быть непосредственно использованы для формирования корректирующего воздействия в процессе смесеприготовления, так как они отражают связь свойств формовочной смеси с ее компонентами.

Разработанная методика управления и стабилизации опирается на надежные математические модели повышенной точности, полученные на основе активного эксперимента в производственных условиях, и может быть использована для решения разнообразных задач, связанных с управлением качества отливок.

УДК 621.9.042
 ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ
 С ОПТИМИЗАЦИЕЙ ПАРАМЕТРОВ ИХ КАЧЕСТВА

Д.Г. ШАТУРОВ

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

Эксплуатационные характеристики поверхностей деталей машин зависят от качества их поверхностного слоя, формируемого при чистовых и финишных технологических операциях. Один из определяющих критериев этого качества является величина шероховатости обработанной поверхности. Как показывают исследования процесс резания резцом с принудительным микрообновлением круговой режущей кромки (МОРК) является чистовым технологическим процессом, обеспечивающим на оптимальных режимах средне-арифметическое отклонение профиля Ra в пределах 0,6...1,2 мкм. В силу этого он является альтернативой процессу шлифования не только по качеству обработанной поверхности, но и по энергоёмкости.

Основной особенностью этого процесса является то, что благодаря уменьшенной на 4...5 порядков скорости перемещения лезвия по сравнению со скоростью резания износ лезвия резца, по сравнению с неподвижной РК, за одно и тоже время работы, уменьшается от 3 до 18 раз. Это дает возможность произвести эксплуатацию инструмента при нескольких последующих оборотах режущей кромки до наступления оптимального ее износа. При этом, при каждом обороте РК обеспечивается постоянное и неизменное качество обрабатываемой поверхности как по геометрическим, так и по физико-техническим характеристикам.

В результате исследований установлено, что число проходов РК зоны резания значительно влияет на шероховатость обрабатываемой поверхности. Например, при увеличении проходов РК зоны обработки от одного до пяти, средне-арифметическое отклонение профиля увеличивается от 0,75 мкм до 1,55 мкм, то есть только в два раза. На основании проведенных исследований установлены оптимальные параметры режима обработки, обеспечивающие минимальное значение шероховатости Ra = 0,58 мкм.

Длительность релаксации определяется зависимостью [1]:

$$t_p = t_0 \exp\left(\frac{U}{kT}\right),$$

где t_0 – период собственных колебаний атомов около равновесного положения, $t_0 = 10^{-13}$ с; R – универсальная газовая постоянная; T – температура в зоне деформации, К; U – энергия активации процесса, контролирующего релаксацию внутренних напряжений в покрытии, которая определяется для процессов, протекающих при $T \leq 0,5T_{nl}$ как энергия термически активируемых процессов, а для процессов при $T > 0,5T_{nl}$ как энергия активации самодиффузии [2].

Плотность дислокаций в зоне контакта ρ_∂ , которая необходима при расчете параметров S , L определяется по расчетной зависимости [1,3]:

$$\rho_\partial = \frac{\nu_n \cdot \gamma_{max} \cdot (\gamma_{max} + 2)}{2 \cdot l_\partial \cdot (\gamma_{max} + 1) \cdot b \cdot \nu_{зв} \exp\left(-\frac{A}{k \cdot T}\right)}, \text{ м}^{-2},$$

где l_∂ – длина очага деформации, м; ν_n – скорость процесса деформирования, $\text{м}/\text{с}$; γ_{max} – максимальная угловая деформация на поверхности металлической основы в зоне соединения, равная $\gamma_{max} \approx \gamma_i$; γ_i – интенсивность поверхностной сдвиговой деформации основы [3]; $\nu_{зв}$ – скорость звука в материале, где движутся дислокации; k – постоянная Больцмана; A – свободная энергия образования перегибов дислокаций для материала основы, Дж [4].

Деформационное тепловыделение учитывается только в металлической основе, так как объем металлической основы в очаге совместной деформации составляет от 97,5 до 99,5 %. На основании этих предположений была получена расчетная формула для данной температуры в зоне деформации [1, 3]:

$$T = T_0 + \frac{t_\partial \cdot (A_T + A_{II}) \cdot \dot{\epsilon}}{\pi d \left(c_0 \rho_0 h_\partial \left(1 + t_\partial \nu_n - \frac{2h_\partial}{3d} \right) + c_2 \rho_2 t_\partial \frac{d}{4} \nu_n \right)},$$

где A_T – работа сил контактного трения, Дж; A_{II} – работа пластической деформации, Дж; c_0 – удельная теплоемкость материала основы Дж/(кг К); ρ_0 – плотность материала основы, $\text{кг}/\text{м}^3$; T_0 – начальная температура в зоне деформации, К; h_∂ – высота пластически деформируемой зоны при обратном выдавливании, находящаяся под торцом пуансона, м; c_2 , ρ_2 – соот-

Н.В. ИНОЗЕМЦЕВА., М.И. ЛИСКОВИЧ
Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»
Гомель, Беларусь

Процесс нанесения на металлическую основу покрытия путем совместной пластической деформации основы и плакирующего материала является достаточно перспективным, вследствие высокой производительности и малой энергоемкости. Проблемы надежности соединения между слоем покрытия и основой достаточно актуальны, так как именно качество этого соединения во многом обеспечивает эксплуатационные характеристики получаемого материала.

Целью исследований являлось получение условия схватывания между слоями, как основного критерия качества соединения.

В результате исследований получены аналитические зависимости для параметров, входящих в условие схватывания [1]:

$$t_{\partial} \geq t_a \geq t_p,$$

где t_{∂} – длительность совместной пластической деформации, с; t_a – длительность активации поверхности менее деформируемой основы в зоне соединения, с; t_p – длительность релаксации остаточных напряжений в покрытии, с.

Длительность совместной пластической деформации определяется по зависимости [1]:

$$t_{\partial} = l_{\partial} / v_n,$$

где l_{∂} – длина очага деформации, м; v_n – скорость процесса деформирования металла, м/с;

Если предположить, что активным центром при схватывании является дислокация с полем напряжения для определения длительности активации используется следующая зависимость [1]:

$$t_a = Lb / \dot{\epsilon} S,$$

где L – путь движения дислокации до барьера м; b – модуль вектора Бюргера для материала менее пластичной основы, м; $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации металла в зоне соединения, 1/с; S – изменение площади активного центра в месте выхода дислокаций к зоне соединения, м².

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

Оптимизация процесса обработки по энергоемкости, теплофизическим параметрам и точности невозможна без знания силовых характеристик процесса резания. Процессу резания резцом с многократным микрообновлением режущей кромки (МОРК) присущи некоторые специфические особенности. Это наличие, несвязанных с изменением производительности, двух дополнительных условий: перемещение режущей кромки (РК) вдоль самой себя и неоднократный проход каждой точки режущей кромки зоны резания. Кроме того, все параметры процесса, в том числе и дополнительные, влияют на силовую напряженность не только сами по себе, но и совместно с зависимым от них износом лезвия.

В результате однофакторных экспериментов для многопроходного реза установлено, что с увеличением подачи и глубины резания составляющие силы резания увеличиваются, от глубины резания в большей степени, чем от подачи. При этом увеличение радиальной составляющей происходит в большей степени, чем тангенциальной составляющей, которая превосходит радиальную составляющую примерно на 70 %. Увеличение скорости резания от 2 до 6 м/с, а скорости перемещения РК от $0,5 \times 10^{-5}$ до $4,5 \times 10^{-5}$ м/с приводит, соответственно, к уменьшению составляющих сил резания в 5 раз. Количество проходов РК зоны резания от одного до пяти увеличивает составляющие силы резания примерно на 80 %.

Для комплексной оценки влияния всех параметров режима обработки на динамику была построена математическая модель процесса. В результате получены математические регрессионные зависимости, определяющие влияние каждого параметра на составляющие силы резания и позволяющие провести оптимизацию процесса.

На основании выведенных зависимостей предложена методика прогнозирования силовых параметров процесса с обеспечением их постоянной величины для многопроходного реза.

УДК 621.9
ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРЕРЫВИСТЫХ
ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

М.Р. ШЕЙБАК, Р.И. ВЕЧЕР
Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им П.О. Сухого»
Гомель, Беларусь

Ряд авторов указывают на динамический характер работы абразивных зерен. Так, П.И. Ящерицын отмечает, что зерно начинает свою работу с удара режущей кромки по обрабатываемой поверхности, сила которого зависит от скорости резания и величины подачи.

Учитывая разнообразие геометрической формы режущих лезвий абразивных зерен и разнообразие взаимного расположения соседних зерен шлифовального круга, обуславливающее своеобразие и непостоянство процесса образования и удаления стружки при работе отдельных зерен, можно утверждать, что имеется какое-либо зерно, которое выступает над поверхностью круга и при его вращении лишь одно снимает припуск. Естественно, что такое зерно ударяется о шлифуемую поверхность, то есть имеет место динамический удар зерна. До настоящего времени нет исследований, посвященных изучению динамического удара абразивных зерен при шлифовании. В наших исследованиях сделана попытка определить истинную величину динамического удара и на этой основе объяснить механизм работы шлифовального круга.

Явление механического удара связано, обычно, с быстрым выделением предварительно накопленной энергии. Оно используется для получения высоких кратковременных уровней усилий. В результате ударного воздействия осуществляются линейные упругие или пластические деформации материала, возбуждение волн напряжения и другие эффекты. Вместе с тем, при ударе абразивных зерен шлифовального круга наблюдается их разрушение. Классическая теория соударения твердых тел рассматривает соударяющиеся тела, как совершенно жесткие, а процесс соударения – как мгновенный. Эта теория справедлива лишь для определения скорости соударяющихся тел – результата удара.

Внутренние закономерности процесса удара: его длительность, величина контактных сил и деформаций подлежит исследованиям.

На основе теории контактных деформаций упругих тел Герца можно расчетным путем установить зависимость величины контактной силы и длительности соударения от масс и скоростей соударяющихся тел. Учитывая большую сложность определения удара абразивного зерна непосред-

металлы также образуют с титаном твердые растворы внедрения. Псевдосплав меди и молибдена имеет ТКЛР близкий к ТКЛР керамики и ферриту. Этим обеспечивается отсутствие температурных механических напряжений и стабильность структуры металлической пленки.

Адгезия металлической пленки к подложкам определялась методом отрыва припаянного титанового стержня. Стержень припаялся к образцам в вакууме припоем ПСр72 без флюса. Детали спаиваемых образцов сжимались с небольшим усилием, обеспечивающим получение паяного шва толщиной 0,09–0,1 мм. При испытании на растяжение разрушение образцов происходило по керамике и ферриту. Усилия измерялись образцовыми динамометрами ДОР-1,0 и ДОР-3,0.

Эксперименты с применением лазерного излучения для очистки и нагревания металлизированной поверхности образцов показали, что такие же результаты адгезии были получены при температуре подложки меньшей на 100–120 К. Это можно объяснить хорошим поглощением ИК-излучения CO₂-лазера поверхностью оксидных материалов, и следствием этого, лучшей очисткой поверхности от адсорбированных веществ и повышенной её активацией. Поглощение ИК-излучения оксидными материалами происходит в поверхностном слое толщиной 0,5–0,8 мм и поэтому температура поверхности образцов будет выше измеренной на расстоянии 0,5 мм от поверхности.

Рентгеноспектральный микроанализ (РСМА) переходного слоя проводился на микроанализаторе MS-46 фирмы «Сатика». Для повышения информативности РСМА выполнялся на косых шлифах образцов с углом скоса 6°, что позволило в 10 раз увеличить размер анализируемого участка переходного слоя. Результаты микроанализа показали, что в процессе пайки происходит диффузия элементов припоя в подложку и элементов подложки в паяный шов. Диффузия элементов припая происходит на глубину около 3–4 мкм. Это можно объяснить повышенной диффузионной активностью верхнего нарушенного слоя.

Металлические пленки, сформированные вышеизложенным способом, позволяют получить прецизионные неразъемные соединения путем пайки керамики и ферритов с металлами, а также керамики с ферритами. Для пайки керамических материалов разработан состав припоя на основе псевдосплава CuMo с температурой плавления 975–1050 К и температурным коэффициентом линейного расширения незначительно отличающимся от ТКЛР керамических материалов.

В заключение следует отметить, что лазерно-вакуумная обработка поверхности образцов излучением CO₂-лазера позволяет сформировать металлическую пленку на оксидных материалах с высокой адгезией при меньшей температуре подложки в процессе осаждения металла.

Б.И. ИГНАТОВ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

Металлические пленки, сформированные на диэлектрических и ферритовых подложках, являются одним из основных конструктивных элементов в современных радио- и электротехнике, микроэлектронике, прецизионном приборостроении и других отраслях новой техники. Тонкие металлические пленки должны отвечать разнообразным требованиям: высокой адгезией к подложке, малым или большим электросопротивлением, стабильностью структуры и т.п. Физические свойства тонких металлических пленок существенно отличаются от свойств объемных образцов из того материала.

В данной работе металлические пленки формировались в вакууме 10^{-4} Па испарением металла с танталового испарителя на подложки из поликристаллической керамики $Ca_yBa_{0,5}Al_2Si_2O_8$ и иттриевого феррита-граната $Y_3Fe_5O_{12}$. Подготовка поверхностей перед осаждением тонких пленок является важным процессом для получения хорошей адгезии и других требуемых свойств на границе раздела. Металлизируемые поверхности шлифовались и полировались. Шероховатость полированной поверхности 0,04–0,05 мкм. Абразивное воздействие при полировке приводит к образованию поверхностного нарушенного слоя. Глубина нарушенного слоя определялась методами микротвердости и эллипсометрии и составила 140–160 мкм. Отполированные образцы керамики и феррита промывались в растворе поверхностно-активных веществ с применением ультразвуковых колебаний, в дистиллированной воде и спирте. Известно, что при самой тщательной подготовке поверхности на ней остается один-два слоя атомов кислорода. Поэтому сначала осаждался слой титана. Титан является активным металлом, с рядом легирующих металлов образует твердые растворы и способен растворять до 10 ат% кислорода без образования оксида. Для химического взаимодействия титана с оксидами керамики и феррита подложки нагревались до температуры 975–1025 К. В процессе осаждения титана образуется переходной слой в виде система твердых растворов внедрения и замещения титана с кислородом и восстановленными элементами подложек.

Для получения металлической пленки с температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) близким к ТКЛР подложек и малым электросопротивлением второй слой осаждался из меди и молибдена. Эти

венным расчетом, в наших исследованиях поставленную задачу будем решать методом моделирования.

В результате исследования установлено, что с изменением количества вырезов на шлифовальном круге изменяется характер осциллограмм сил резания. При одном пазе амплитуда колебания сил достигает 85–100 % от измеряемой величины, при двух пазах и четырех амплитуда колебания сил достигает 70–90 %, а процесс шлифования с двадцатью пазами протекает без фиксируемых на осциллограмме скачков амплитуды. Кроме того, из характера осциллограмм следует, что при одном пазе имеет место скачок амплитуды, а затем ее затухание, при двух и четырех пазах всплески амплитуды наблюдаются чаще, а период их затухания уменьшается.

При проверке продолжительности всплеска амплитуды и периода ее затухания установлено, что они по времени соответствуют повороту круга на расстояние, равное расстоянию между пазами. Так, при одном пазе продолжительность затухания амплитуды удара соответствует протяженности периметра шлифовального круга за вычетом протяженности паза.

Отмеченные на осциллограммах всплески и затухания ударных амплитуд свидетельствуют о динамическом характере удара (контакта) каждого выступа с обрабатываемой поверхностью.

Для моделирования динамического удара на шлифовальном круге оставлен один выступ. В процессе резания этим выступом с различной величиной припуска снимаются осциллограммы колебательного движения заднего центра круглошлифовального станка.

С целью изучения свойств колебательного движения и определения величины динамического удара отдельного выступа шлифовального круга о шлифуемую поверхность воспроизводился удар падающим грузом по упругой системе, и сравнивались амплитуды и колебательные движения в одном и другом случае. Процесс удара груза массой m , движущегося по вертикали со скоростью V_0 в точке вершины центра, протекает следующим образом. После касания грузом центра, он продолжает двигаться вместе с центром, изгибая его, причем сила упругости центра постепенно уменьшает скорость груза. В момент остановки груза, вся его кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию деформации центра, причем сила взаимодействия между грузом и центром достигает максимума. Затем начинается обратное движение груза. Сила воздействия между центром и грузом уменьшается и становится равной нулю, когда груз достигает положения, в котором он первоначально коснулся центра. Далее груз отделяется от центра и движется в обратном направлении. Процесс удара закончен.

Таким образом, в течение всего процесса удара груз находился в плотном контакте с центром. Это обстоятельство позволяет во время удара рассматривать груз и задний центр, как единую систему, совершающую свободные колебания, что необходимо для решения задачи.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ ОБРАБОТКОЙ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

В.М. ШЕМЕНКОВ, Е.С. АХРАЛОВИЧ, М.А. БЕЛАЯ

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

Качественные изменения в металлообработке, связанные с появлением новых труднообрабатываемых материалов, применением станков с числовым программным управлением, многоцелевых станков, гибких производственных систем, повышают требования к работоспособности и надежности инструментальной оснастки. Резервы повышения износостойкости оснастки за счет создания новых материалов в значительной степени уже исчерпаны или связаны со значительными материальными затратами. Поэтому особое значение в настоящее время приобретают вопросы, связанные с внедрением технологических процессов модификации рабочих поверхностей инструментов. Традиционные способы повышения стойкости, такие как поверхностная термообработка, различные диффузионные и другие химико-термические способы обработки, нанесение электролитических покрытий, наплавка и др., в ряде случаев, не обеспечивают необходимой износостойкости или неприемлемы. Поэтому все большее распространение получают такие способы как нанесение износостойких покрытий и поверхностное упрочнение изделий из металлов и сплавов методами ионно-плазменной обработки.

Одним из перспективных способов является, разработанный научной школой д-ра техн. наук, проф. Виктора Ивановича Ходырева, процесс модифицирующей обработки изделий в тлеющем разряде, возбуждаемом в среде остаточных атмосферных газов. Предлагаемая модифицирующая обработка обеспечивает формирование уникальных структурно-фазовых состояний в их приповерхностных слоях, а также широкий масштаб модификации структуры. Это приводит к изменению макросвойств материалов и определяет эксплуатационное поведение модифицируемых изделий в условиях трибомеханического нагружения, что характерно для инструментальной оснастки.

Проведенные испытания в производственных условиях позволили выявить, что структурно-фазовое модифицирование рабочих поверхностей инструментов, выполненных из различных инструментальных материалов, приводит к повышению их эксплуатационных характеристик в 1,3–4 раза в зависимости от назначения и области использования инструментальной оснастки.

некоторое снижение термического расширения при увеличении температуры обжига, так как при этом возрастает количество расплава, а после охлаждения стекловидной фазы, которая имеет меньший коэффициент линейного расширения. Также можно отметить, что ТКЛР исследуемых материалов в определенной степени зависит от количества оксида марганца, с увеличением которого снижаются значения ТКЛР образцов, поскольку при спекании уменьшается относительное количество высокорасширяющейся фазы форстерита.

Как показали экспериментальные данные, оксид марганца не образует кристаллических фаз при спекании и полностью переходит в стекловидную фазу, уплотняя ее структуру, и, вследствие этого, оказывает тормозящее действие на носители зарядов, что способствует уменьшению электропроводимости и повышению сопротивления.

Поскольку данная керамика содержит в своем составе как основные, так и кислотные оксиды, то можно предположить, что исследуемые материалы будут иметь одинаковую химическую устойчивость к щелочным и кислотным средам, что и подтверждается результатами проведенных испытаний. Некоторое снижение кислотостойкости с увеличением количества марганца можно объяснить уменьшением степени закристаллизованности материала и увеличением количества стекловидной фазы, которая в большей степени подвергается агрессивному воздействию вследствие менее прочных химических связей.

Таким образом, можно сделать вывод о наибольшей целесообразности использования оксида марганца, так как в результате применения его в качестве минерализирующей добавки достигаются наиболее оптимальные результаты в области исследуемых параметров (табл. 1).

Табл. 1. Свойства керамического материала оптимального состава

Наименование свойства	Показатель свойства
Температура обжига, °С	1300
Водопоглощение, %	8,6
Плотность кажущаяся, кг/м ³	2510
ТКЛР при 400 °С, $\alpha \cdot 10^6 \text{K}^{-1}$	9,62
Удельное объемное сопротивление при 100 °С, Ом·м	$3 \cdot 10^{12}$
Кислотостойкость, %	95,2
Механическая прочность, МПа	49,6

В результате проведенной работы установлена возможность получения в исследованной системе материалов, обладающих высокими значениями термического расширения и удельного объемного сопротивления, при оптимальных значениях механической прочности и пористости, что предопределяет использование их в радио- и электронной технике.

Е.М. ДЯТЛОВА, Е.С. КАКОШКО

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Беларусь

В настоящее время значительно возрос интерес к высокорасширяющимся керамическим материалам, необходимым для защитных покрытий по металлам и спаев с электровакуумными стеклами в электронике и приборостроении, важнейшей характеристикой которых является термическое расширение. Следует отметить, что количество кристаллических фаз с высоким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) весьма ограничено. В основном это периклазовая керамика или композиции на основе периклаза и других магнийсодержащих кристаллических фаз. Однако указанные материалы характеризуются высокой температурой спекания (выше 1500 °С), повышенной пористостью, что ограничивает их применение в технике.

Целью работы является разработка составов керамических материалов с высоким значением ТКЛР $(9,2-9,6) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ и пониженной температурой спекания для спаев с электровакуумными стеклами в стеклянных электродах.

В качестве объекта исследования выбрана керамика на основе ортосиликата магния (форстерит), для синтеза которой использованы следующие сырьевые компоненты: оксид магния, тальк онотский, а в качестве минерализаторов для снижения температуры спекания – бентонит огланлыкский, глина огнеупорная Веселовского месторождения марки «Веско-Гранитик», а также оксиды марганца и цинка. Обжиг образцов осуществлялся в электрической печи при температуре 1200, 1250 и 1300 °С.

Установлено, что введение добавок способствует активизации процесса спекания и снижению Введения в керамическую матрицу вышеуказанных минерализаторов обеспечивает высокие значения ТКЛР образцов от 10,13 до $12,36 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ (при 400 °С), что выше требуемых значений. Можно предположить, что указанные добавки незначительно изменяют соотношение структурных составляющих в материале, в котором доминирует высокорасширяющаяся, плохо спекающаяся матрица. Целесообразно использовать оксид марганца в сочетании с бентонитом.

ТКЛР исследуемой керамики достаточно высокий, его значения находятся в области требуемых значений $(9,2-9,8) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, однако можно отме-

О.В. БЛАГОДАРНАЯ

Государственное учреждение высшего профессионального образования

«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

В России (основной поставщик швейных игл в Республику Беларусь) обычно в качестве материала для швейных игл используется стальная углеродистая отожженная проволока марки ИЗ класса А по ГОСТ 5468-60. Иглы изготавливаются на игольных автоматах. После изготовления они подвергаются закалке до твердости по Роквеллу HRC 54-60.

На Западе для изготовления швейных игл используется также холоднотянутая стальная проволока с повышенным содержанием углерода и с разными легирующими присадками. После изготовления иглы подвергают поверхностной термической и химико-термической обработке, а также различным видам поверхностной доводки.

Швейная игла является весьма специфическим изделием, и технология ее изготовления – это узкоспециализированная область. Существует три способа изготовления иглы: немецкий, американский и комбинированный:

- немецкий заключается в изготовлении иглы резанием на станках, в результате чего на изготовление игл уходит больше материала, и, кроме того, поверхность иглы получается недостаточно гладкой, производительность невысокая;

- американский заключается в изготовлении иглы последовательной холодной ковкой до необходимого диаметра, желоба на игле фрезеровались; точность изготовления по этому способу невысокая;

- комбинированный объединил в себе все самое лучшее из обоих и применяется в настоящее время на большинстве предприятий-изготовителей швейных игл. Последовательность операций при изготовлении швейных игл в общем виде может быть следующей:

- нарубка и изготовление заготовок с припусками, обработка конца;
- раскатка на необходимый диаметр;
- первая правка по длине;
- вырезание задней части желоба, выборки и ушка;
- вторая правка по длине;
- фрезерование переднего длинного желоба;
- шлифование острия иглы;
- закалка изготовленных игл при температуре 780 °С с последующим отпуском в масле при температуре 250 °С;

- полирование рабочей части иглы и ушка;
- рихтовка иглы;
- отгрузка и упаковка игл.

Надо отметить, что если еще в 20 столетии большинство операций выполнялось вручную, то в настоящее время изготовление игл производится на автоматах или полуавтоматах. Число операций достаточно велико, например, на фирме “SCHMETZ” число операций при изготовлении иглы достигает 30–35. Не останавливаясь подробно на операциях изготовления швейной иглы, которые практически являются типовыми, рассмотрим несколько подробнее операции по окончательной доводке и поверхностной обработке иглы.

Одним из окончательных методов обработки поверхностей деталей, обеспечивающих высокое качество их поверхностей, являются притирка и доводка, осуществляемые с помощью абразивных паст и порошков. Притирка является заключительной операцией процесса обработки на металлорежущих станках, поэтому притирку называют также доводкой. Термин доводка характеризует лишь конечную цель обработки, при которой достигаются необходимые требования по точности и качеству обработанной поверхности. Поэтому под доводкой следует понимать не конкретный процесс обработки, а отделочную обработку, например, доводочное шлифование, доводочное хонингование, доводку абразивной лентой и т.д. Процесс съема материала при притирке осуществляется в результате действия абразивных зерен, химически активных элементов и рабочей поверхности притира на обрабатываемую.

Формирование обработанной поверхности при взаимодействии рабочих поверхностей притира (контрдетали) происходит при трении под действием нормальных и тангенциальных напряжений.

Способ доводки притиркой наиболее популярен на большинстве фирм-производителей швейных игл. Однако этот способ не гарантирует поверхность иглы от коррозии. Поэтому применяют еще такие методы поверхностной обработки как гальванические и химические методы обработки (никелирование, хромирование), а также нанесение покрытий (нитрид титана, тефлон, керамика). Например, тайваньская фирма “TRIUMPH” изготавливает иглы с титановым и керамическим покрытием. Титановые покрытия увеличивают долговечность иглы в 4 раза по сравнению с хромовыми покрытиями; у игл с керамическими покрытиями снижается нагрев на 30 %, на 20 % меньше плавление синтетических материалов и их прилипание к игле, на 30 % ниже сила сопротивления при проколе в ткань, чем у обычных игл, в 3–4 раза увеличивается долговечность. Поэтому иглы зарубежных фирм по сравнению с российскими стоят в несколько раз дороже.

– извлечение затвердевшей пристеночной корки, составляющей тело отливки, полностью из кристаллизатора и расплава, постоянно находящегося в полости кристаллизатора;

– подачу порции перегретого металла с периодом равным времени формирования отливки в кристаллизатор;

– охлаждение отливки от температуры около 1200 °С, с регулируемой скоростью охлаждения для получения заданной структуры и твердости.

При литье намораживанием скорость затвердевания изменяется по закону, описываемому функцией $d\xi/d\tau=f(\tau)=2,3017\tau^{-0,695}$. На протяжении всего времени формирования отливки средняя скорость остается достаточно высокой, что и определяет получение плотной мелкодисперсной структуры с ориентацией карбидных включений по направлению оси теплоотвода, т.е. перпендикулярно оси отливки, а соответственно и поверхности трения. Твердость материала отливки в литом состоянии составляет 45–48 HRC, что создает определенные трудности при дальнейшей обработке.

Для получения твердости материала заготовок приемлемой для мехобработки и выбора рационального режима отжига были проведены исследования по влиянию температурных и временных параметров на структуру. Разработанный режим отжига с использованием первичного тепла отливок в печи, предварительно разогретой до температуры 950–980 °С, сокращает продолжительность термообработки на 30 %. После отжига твердость материала не превышает 32 HRC, что позволяет проводить его мехобработку с удовлетворительной производительностью.

Для получения твердости в деталях 57–62 HRC были проведены исследования режимов закалки. В результате которых установлено, что закалка от 950 °С и время выдержки при этой температуре 15 мин обеспечивают получение, при индивидуальном охлаждении деталей на воздухе (в естественных условиях), твердости в пределах 62–64 HRC.

Микроструктура БВХЧ после закалки – первичные, эвтектические и вторичные карбиды тригонального типа в мартенситной матрице.

Промышленная эксплуатация дисков тормозных канатных машин свивки корда сталеволоочного производства Белорусского металлургического завода в 2008 году показала, что износостойкость деталей, изготовленных по новой литейно-термической технологии с использованием метода намораживания, в 2–4 раза выше по сравнению с серийными изделиями из легированных сталей марок ШХ15; 18ХГТ и т.п.

В.П. ГРУША, В.Ф. БЕВЗА
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

На сегодняшний день актуально повышение качества продукции, ресурса работы деталей при снижении её себестоимости. Основным направлением решения данной задачи является внедрение в производство новых прогрессивных технологий и материалов.

Белые высокохромистые чугуны (БВХЧ) нашли широкое применение при изготовлении деталей, работающих в условиях сухого трения. Значительное количество таких деталей имеют форму полых тел вращения. Типичным представителем такого рода деталей является диск тормозной канатных машин для свивки корда сталепроволочного производства, представляющий собой кольцо с наружной рабочей поверхностью. Ресурс работы деталей, изготовленных из различных марок стального легированного проката сплошного круглого сечения, не превышает 6 месяцев.

Для получения высоких показателей износостойкости материала детали следует обеспечить: оптимальное количество карбидов (в основном тригонального типа Me_7C_3) в металлической матрице, обладающей высокой твердостью и определяющей прочное закрепление карбидов; ориентирование первичной оси карбидов перпендикулярно оси трения.

Получение мартенситной металлической матрицы, а также образование и количество тригональных карбидов определяется химическим составом чугуна, условиями формирования отливки и термической обработкой.

Задача получения полых цилиндрической заготовки из высокохромистого чугуна ($\text{Cr} \approx 14\%$) была успешно решена за счет применения новой эффективной литейно-термической технологии, основанной на принципе направленного затвердевания металла, которая включает следующие операции:

- заливку расплава заданного химического состава в металлическую охлаждаемую форму (кристаллизатор) через сифонную литниковую систему, состоящую из металлопровода и соединительного стакана;
- формирование цилиндрической полых отливки (без внутреннего стержня) в условиях пристеночной кристаллизации за счет интенсивного одностороннего радиального теплоотвода от наружной поверхности затвердевающей корки металла, при избыточном питании фронта кристаллизации перегретым расплавом в течение всего времени затвердевания;

В.М. БЛАГОДАРНЫЙ, *С. ПАВЛЕНКО, *И. ГАЛКО
Учреждение образования
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*Прешовский ф-л «ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Барановичи, Беларусь; Прешов, Словакия

Постоянно повышающиеся требования к параметрам машин проявляются в росте динамических нагрузок, которые вызываются обычно увеличением абсолютных и относительных скоростей деталей в узлах кинематических звеньев. Потому необходимо учитывать в машинах влияние внутренних и внешних сил, а также динамику процессов, которые в них протекают.

Современные научные исследования в области проектирования и конструирования деталей машин одновременно идут в направлении развития методов анализа динамических явлений, происходящих в машинах и механизмах, и одновременно в направлении анализа самих явлений. Современная динамика машин представляет собой динамику систем, что позволяет рассматривать систему с двух сторон: с одной стороны производится детальное исследование отдельных частей системы, с другой стороны комплексное аналитическое исследование самой системы.

Модальный анализ является современной областью динамики, которая при описании колебательных свойств и колебательного поведения инженерных конструкций и их частей использует возможности разложения сложного колебательного процесса на отдельные, так называемые модальные вклады. Каждый вклад характеризуется модальной частотой и модальной формой колебаний.

Червячные редукторы широко используются в приводах многих современных машиностроительных конструкций технологического назначения, а именно, в машиностроении, строительстве, в дорожном транспорте, в сельском хозяйстве, металлургии, химической и перерабатывающей и потребительской промышленности и многих других отраслях. Их технический уровень и нагруженность в существенной мере определяет технические, экономические и эксплуатационные характеристики машин. Поэтому повышению их работоспособности уделяется большое внимание. Наиболее часто эта проблема решается традиционными методами, то есть повышением качества и тепловой обработки материалов червяка и червячного колеса с использованием современных смазочных средств. Но при тяжелых режимах работы, связанных с высокой частотой пусков и остановов, с ре-

версом, улучшением свойств материалов элементов червячной передачи эффективные результаты не достигаются.

В докладе представлена проблема долговечности цилиндрических червячных передач. На основе анализа параметров жесткости была разработана математическая модель червячной передачи, которая формально совпадает с динамической моделью цилиндрических передач.

Подробное рассмотрение параметров жесткости потребовало выполнить анализ зацепления с точки зрения продолжительности зацепления в отдельных секущих плоскостях, параллельных осевой плоскости червяка. С этой целью был использован числовой способ определения поверхности зацепления и коэффициента длины линии зацепления червячного колеса с эвольвентным червяком. Предложенная математическая модель, как и способ определения поверхности зацепления, являются универсальными с возможностью распределения и на другие типы червяков.

Рассмотрены конструктивные и технологические возможности повышения работоспособности червячных редукторов.

Опыт использования цилиндрических зубчатых передач со сниженной виброактивностью за счет введения в колеса упругих элементов можно использовать и для червячных передач. Червячные колеса выполняются составными – из тела колеса и зубчатого венца, между которыми помещаются упругие элементы. Снижение динамической нагруженности червячной передачи было бы более удобно осуществлять путем выполнения нежестких червяков, т.к. на червяке крутящий момент в передаточное число раз меньше, чем на колесе. Поэтому упругий элемент в этом случае имеет меньшую жесткость, и соответственно, меньшие размеры. Снизить динамическую нагрузку в червячной передаче можно также за счет установки между валами редуктора и электродвигателя упругой муфты.

Снижение динамической нагруженности червячного редуктора можно достичь применением смазки с кластерами, в качестве которых выступают частицы фторопласта, полученные измельчением отходов при обработке деталей из фторопласта. В зависимости от передаваемой нагрузки подбираются соответствующие размеры и количество кластеров, которые смешиваются со смазкой редуктора. Кластеры служат демпферами при ударе зуба колеса по витку червяка. Кроме того, они удерживают около себя смазку, в результате чего не происходит металлический контакт между зубьями червячного колеса и витками червяками. Фторопласт обладает также очень малым коэффициентом трения, что содействует повышению износостойкости контактирующих поверхностей зубьев колеса и витков червяка.

кой, в которой выполнены отверстия для образца и измерительных электродов. В качестве коррозионной среды использовали 3 %-ный раствор хлористого натрия в дистиллированной воде.

Реакцию среды оценивали с помощью цифрового pH-метра, используя комбинированный измерительный электрод ЭСК 10-603.

Возможное изменение температуры в процессе эксперимента компенсировали с помощью термокомпенсатора. В течение первых двух часов результаты снимали с интервалом одна минута. Следующие два часа через 10 минут. Далее измерения проводили два раза в сутки. Через трое суток образцы извлекали из ячейки и оценивали визуально их внешний вид и степень коррозионного поражения.

Результаты коррозионных испытаний образцов, упакованных в пленки содержащие нефть, свидетельствуют о более высокой защитной способности таких пленок по сравнению с пленками из чистого полиэтилена, и полиэтилена, наполненного карбамидом. За время испытаний на всех исследованных образцах этого типа не было отмечено коррозионных поражений. Раствор, в котором экспонировались образцы, не изменял своего цвета, на дне ячейки не обнаружено никакого осадка.

Таким образом, проведенные антикоррозионные испытания позволяют предположить, что материалы на основе ПЭНД, модифицированного нефтью, обладают ярко выраженными антикоррозионными свойствами и могут быть эффективно использованы для антикоррозионной защиты металлических изделий. Даже при наличии дефектов в покрытии, коррозия не происходит за счет того, что на поверхности стального изделия образуется защитная ингибирующая пленка. Наличие в нефтяных отходах загрязнений и посторонних примесей не оказывает существенного влияния на технологию переработки таких ингибированных составов традиционными методами: прессования, литья под давлением или экструзии.

Ж.Н. ГРОМЫКО, Е.В. ЛАШКИНА
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА»
Гомель, Беларусь

Наиболее остро проблема коррозии металлов и других материалов стоит в таких материалоемких отраслях как транспорт, машиностроение и строительство. Огромные убытки складываются из многих отдельных затрат, удельный вес каждой из которых ежегодно возрастает в связи с постоянно увеличивающимся вводом металлоизделий в эксплуатацию. Поэтому особое значение приобретает разработка и внедрение новых, более эффективных методов антикоррозионной защиты материалов.

Традиционно, когда покрытия (металлические, лакокрасочные, полимерные) не обеспечивают необходимой защиты, снижение скорости коррозии может быть достигнуто путем введения в них ингибиторов. Ингибированные полимерные составы применяют в машиностроении и других отраслях промышленности, главным образом, в виде покрытий и пленок для консервации и упаковывания металлических изделий.

Целью данной работы было изучение антикоррозионных свойств пленок на основе полиэтилена, ингибированных нефтью.

Объектом исследования служили пленочные образцы, на основе полиэтилена низкого давления (ПЭНД) марки 277-03 (ГОСТ 16338). В качестве антикоррозионных добавок в полимерную матрицу вводили нефть в концентрации 10, 20 и 30 процентов, и карбамид (КА) (ГОСТ 6691), с массовой долей его в образцах 2 и 5 процентов. Исследуемые составы для формирования пленок приготавливали смешением порошкообразного ПЭНД и жидкой нефти, а также порошкообразного ПЭНД и кристаллического КА. Образцы композитов изготавливали в виде пленок различного состава, прессованных при $T = 473 \text{ K}$ и $P = 5 \text{ МПа}$.

Исследование антикоррозионных свойств разрабатываемых материалов выполняли методом ускоренных коррозионных испытаний. Образцы из стали 08 КП (ГОСТ 380) упаковывали в чехлы из исследуемых пленок, тщательно заваривая края облицовки. В качестве контрольного образца использовали пленку из чистого ПЭНД. По середине образца в облицовке выполняли искусственный дефект – разрез в виде креста размером $10 \times 10 \text{ мм}^2$. Образец помещали в коррозионную ячейку, представляющую собой стеклянный стакан, емкостью 50 мл закрытый пластмассовой крыш-

Л.А. БОРИСЕНКО, В.Л. КОМАР, Д.Н. ЛАГОЙКО, Р.Ю. КАРАНКЕВИЧ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Накопленный к настоящему времени опыт создания зубчатых планетарных редукторов по схеме К-Н-V свидетельствует, что значительные затруднения возникают при проектировании и реализации механизма передачи движения между параллельными валами, так называемого механизма W. Наиболее совершенным является модифицированный механизм параллельных кривошипов, в котором функции реальных кривошипов выполняют пальцы с надетыми на них втулками, обкатывающиеся внутри цилиндрических отверстий.

Механизм требует высокой точности изготовления деталей, что не всегда возможно в условиях реальных возможностей производства. В ряде случаев для тех же целей используется крестовая муфта (муфта Ольдгейма). Основное преимущество крестовой муфты по сравнению с механизмом параллельных кривошипов состоит в том, что в ней не требуется особая высокая точность изготовления деталей. Для уменьшения трения используются пальцы с шарнирами или роликовые поступательные пары. Муфта имеет достаточно большие радиальные габариты, что не всегда приемлемо по конструктивным соображениям.

Авторами предложена и испытана на физических моделях и опытных образцах новая компактная конструкция механизма W, которая защищена патентами РБ. Механизм включает два пальцевых шарнирных узла и стержень. Пальцевые шарниры входят в пазы, выполненные на торцевых поверхностях соединяемых валов. Механизм относится к разряду асинхронных карданов и назван пальцевым карданом. Он специально разработан в рамках исследования планетарных зубчатых редукторов различных схем. Механизм может успешно работать при соединении валов с углами $10-15^\circ$. На основании проведенных исследований и испытаний создана оптимальная конструкция такого механизма. На основе теории пространственных поворотов составлена модель кардана и произведено численное моделирование его кинематики. Проведено экспериментальное моделирование работы пальцевого кардана в зубчатом планетарном механизме. Результаты исследования могут быть использованы в многочисленных приложениях, в том числе в циклоидальных редукторах, в планетарных передачах и т.д., что позволит значительно упростить технологию их изготовления и удешевить производство.

Л.А. БОРИСЕНКО, В.Л. КОМАР, Д.Н. ЛАГОЙКО, Р.Ю. КАРАНКЕВИЧ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В докладе приводятся результаты проведенного исследования по разработке новых передаточных планетарных механизмов с цепными гибкими связями, выполненными на кафедре «Основы проектирования машин» университета. Разработки защищены патентами РБ. Все рассматриваемые далее передачи реализованы в макетах и опытных образцах. Предложены и проверены на практике две схемы реализации цепных планетарных редукторов: с двумя звездочками и с четырьмя звездочками. В первой схеме, звездочка-сателлит установлена между двумя половинами звездочки неподвижно закрепленной в корпусе передачи. В простейшем случае может быть использована одна неподвижная звездочка, что предельно упрощает механизм. Разность чисел зубьев звездочек равна 1. Обе звездочки охвачены многорядной пластинчатой цепью, число звеньев которой на единицу больше числа зубьев наибольшей из двух звездочек. Входным звеном является водило, на котором в подшипниках установлена звездочка-сателлит. Гибкая связь в виде стандартной втулочной пластинчатой цепи осуществляет волновое движение. Часть цепи покоится на неподвижной звездочке, а часть движется огибая сателлит. Несмотря на некоторое сходство, это не волновая передача, так как в волновой передаче нет покоящихся элементов: в ней происходит непрерывное качение звена с изменяющейся геометрией аксоида по неподвижному аксоиду в форме окружности.

Во второй схеме с четырьмя звездочками сателлит выполнен с двумя зубчатыми венцами с числами зубьев различающимися на один зуб, кроме того имеется неподвижная звездочка, закрепленная в корпусе, и подвижная звездочка, установленная на выходном валу. Входным звеном является водило. Неподвижная звездочка и первая звездочка на сателлите различаются по числу зубьев на один зуб и охвачены многорядной пластинчатой цепью, вторая звездочка сателлита и звездочка на выходном валу также различаются по числу зубьев на один зуб и охвачены пластинчатой цепью. Числа звеньев обеих цепей различны и на единицу больше чисел зубьев наибольших звездочек в своих ветвях. Обе цепи имеют одинаковый шаг. Обязательное требование для существования механизма – межосевые расстояния в обеих ветвях должны быть одинаковы. Выведены зависимости для синтеза таких механизмов по передаточному отношению и формулы для определения КПД.

несения пленки – погружением в эпилирующий состав, тампонированием или аэрозольном распылении на поверхность, и даже кипячением в растворе эпилама. Была выбрана наиболее простая схема – тампонированием.

Опробовано покрытие эпиламом нескольких пресс-форм. Причем, они были принципиально разного типа как по конструкции, размерам, так и по назначению.

В производстве использовались пресс-формы с габаритами до 1000х1000 мм. Эти формы закреплены стационарно на оборудовании (прессе). На формообразующих поверхностях в процессе изготовления на них резинотехнических изделий образуется нагар, который отрицательно влияет на качество последних. Поэтому пресс-формы приходится периодически снимать с прессы и чистить. Процесс чистки является весьма трудоемким. Это влечет за собой простой оборудования и т.п. Поэтому первоочередной задачей при опробовании эпилирования было применить данный процесс для таких крупных форм. Пресс-форму предварительно тщательно очистили, обезжирили. Затем кисточкой нанесли на поверхность раствор эпилама. После сушки нанесли еще слой и т.д. Всего нанесли три слоя покрытия. Результат, полученный во время эксплуатации пресс-формы, подтвердил предположения о возможном положительном эффекте. Так, до нанесения покрытия, ходимость формы между чистками составляла приблизительно 1 рабочую неделю. После эпилирования эффект нагарообразования стал наблюдаться после 3 недель непрерывной работы на данной пресс-форме. Однако после 2 месяцев периодичность чисток увеличилась. Отсюда можно сделать вывод о целесообразности периодически наносить слой эпилама после очередной чистки. Достаточно одного слоя.

Еще одной проблемой, с которой сталкивались до получения эпилама, являлось прилипание резины на основе силиконового каучука к поверхности формы. Это влечет за собой порывы готового изделия при извлечении из пресс-формы. Данная проблема с успехом была решена с помощью эпилирования. Так на одной пресс-форме с очень сложной формообразующей поверхностью не извлекли ни одного изделия без его повреждения. После эпилирования выход годных изделий с этой пресс-формы стал 100 %.

Таким образом, по результатам опытного использования эпилама «Автокон-0,5», можно сделать вывод о целесообразности использования эпиламов для нанесения на поверхность пресс-форм. Экономический эффект очевиден. Считаем, что в перспективе необходимо прорабатывать возможность более широкого применения различных технологических схем нанесения данного покрытия, т.к. методы горячего эпилирования дают больший эффект, нежели холодный способ нанесения тампоном или кистью.

П.А. ГРИЦЕНОК, П.А. КОЗЛОВИЧ

Учреждение образования

«МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. И.П. Шамякина»

Мозырь, Беларусь

На машиностроительных предприятиях Полесского региона кафедрой машиностроения университета было предложено использовать для различных целей эпиламирующий состав «Автокон-0.5» для обработки поверхностей металлических деталей с целью улучшения ряда свойств. Наряду с традиционным направлением использования эпиламов для улучшения антифрикционных свойств, повышения износостойкости деталей пар трения, был опробован данный состав для нанесения покрытия на формообразующие поверхности пресс-форм для изготовления резинотехнических изделий /РТИ/. Целью проведенной работы было выявить влияние данного покрытия на адгезионные, антипригарные свойства поверхности пресс-форм.

Традиционно пресс-формы для РТИ подвергаются хромированию – методу электролитического осаждения на поверхность формы ионов хрома. Данное покрытие применяется как защитное антикоррозионное, износостойкое, антиадгезионное. Метод нанесения требует достаточно дорогостоящее оборудование. И сам процесс имеет ограничения по размерам и форме поверхности покрываемых деталей. Размеры покрываемых деталей ограничиваются размерами ванн для электролитического осаждения. Поэтому нанесение хромового покрытия на поверхности пресс-форм, имеющих большие габариты, представляется затруднительным и весьма дорогостоящим процессом. С этой точки зрения, эпиламирование могло бы быть альтернативой традиционному хромированию.

Благодаря достаточно простой технологии нанесения состава на поверхность пресс-формы, данный метод имеет явные преимущества по сравнению с традиционными защитными покрытиями. Придание требуемых свойств обрабатываемым поверхностям с помощью эпиламирования зависит в значительной степени от того, насколько правильно выбрана и соблюдена технология их нанесения. Процесс нанесения покрытия должен включать в себя следующие операции:

- подготовка обрабатываемых поверхностей;
- нанесение пленок эпиламов (эпиламирование);
- термофиксация или сушка поверхностей

От качества проведения каждой операции зависит качество получаемой поверхности. В предоставленной литературе описано несколько технологических схем процесса. Основное отличие заключается в способе на-

Д.С. ГАЛЮЖИН, П.С. ГОНЧАРОВ, *А.Г. ЧЕХОВСКИЙ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*188 гвардейская инженерная бригада

Могилев, Беларусь

Современные машины и механизмы все больше нуждаются в малогабаритных механических приводах, имеющих относительно высокий КПД и низкую себестоимость изготовления. Механические приводы, создаваемые на основе известных видов червячных и зубчатых передач, во многих случаях не отвечают вышеуказанным требованиям. Поэтому исследования, проводимые в направлении создания и разработки новых видов механических передач, являются актуальными. Одним из прогрессивных видов механических передач являются эксцентриковые передачи. Они выгодно отличаются малогабаритностью, компактностью, возможностью передачи крутящего момента с высокими коэффициентами редуцирования. Однако для достижения требуемых эксплуатационных показателей их звенья необходимо изготавливать с высокой точностью на специализированном оборудовании, что сдерживает их серийное производство. Одной из разновидностью данных передач является планетарная прецессионная передача (ППП), особенностью которой является наклонное расположение эксцентрика на входном валу.

Использование ППП типа К-Н-V позволяет обеспечить компактность приводам благодаря соосному расположению входного и выходного валов. Высокая нагрузочная способность и низкая удельная материалоемкость данных передач возможны благодаря многопарности зацепления. Все эти положительные свойства открывают широкую перспективу для применения ППП в общемашиностроительных приводах.

Одним из основных показателей, определяющим качество работы любой механической передачи, является кинематическая погрешность передачи. Ранее использовавшиеся методы нормирования кинематической точности для ППП сводились только лишь к определению коэффициента перекрытия зацепления.

В последнее время проектирование различного рода инженерных устройств в мире практически не обходится без применения современных методов компьютерного моделирования. Такое моделирование позволяет существенно сократить сроки проектирования, испытаний и доводки тех-

нических объектов, в том числе и новых видов механических передач. Ниже описана последовательность определения кинематической погрешности ППП типа К-Н-V, которая базируется на использовании методов компьютерного моделирования. Для создания и исследования компьютерных моделей ППП использовалась САПР SolidWorks с приложением CosmosMotion.

Для моделирования другого типоразмера ППП типа К-Н-V достаточно в дальнейшем создать требуемые твердотельные модели центрального неподвижного колеса и сателлита и определять их в существующей сборке. При необходимости прямо в сборке меняется угол наклона кривошипа (нута) входного вала. Последнее позволяет значительно сократить время сборки различных типоразмеров компьютерных моделей ППП.

Кинематическая погрешность любой механической передачи характеризуется разностью между действительным и номинальным (расчетным) углами поворота ее ведомого вала, соответствующими одинаковым углам поворота ведущего вала в измеряемый момент времени. Кинематическая погрешность механической передачи возникает по следующим причинам:

- из-за контактных, упругих и тепловых деформации звеньев;
- из-за погрешностей изготовления звеньев и сборки передачи;
- из-за погрешностей, вызванных кинематикой взаимодействия звеньев передачи (например, погрешность передачи вращения с помощью угловой муфты).

Кинематическая погрешность может выражаться как в угловых единицах, так и в единицах длины дуги делительной окружности ведомого колеса.

Средства приложения CosmosMotion при использовании созданные компьютерные модели ППП позволяют получить графическую зависимость значений угла поворота выходного вала от времени. Однако оценка кинематической погрешности ППП на основе полученной графической зависимости невозможна, так как изменение угла поворота выходного вала происходит в большом диапазоне, что не предоставляет возможность оценки величины колебаний угла поворота относительно номинальных значений. Поэтому необходимо произвести обработку полученных данных.

Заложив в компьютерную модель ППП все возможные погрешности изготовления и рассчитав в соответствии с описанной выше методикой, значения кинематической погрешности, возможно получить оценку степени кинематической точности проектируемой передачи.

Таким образом, созданная методика для определения кинематической погрешности ППП дает возможность оценки качества ее работы на стадии проектирования по одному из наиболее важных эксплуатационных показателей – плавности вращения выходного вала, т.е. кинематической точности передачи.

Исследование порошков проводили на растровом микроскопе с большим разрешением «Mira» (Чехия) с микрорентгеноспектральной приставкой.

Для получения механокомпозитов вольфрам – металл (Cu, Ni, Fe) механоактивацию проводили в два этапа. На первом этапе измельчали только вольфрам в течение 4 минут. Затем добавляли медь (Ni, Fe) в количестве ~ 10 мас.% и проводили второй этап – совместную активацию в течение 2 минут.

Рентгенограммы образцов вольфрама, активированных в течение 4 мин характеризуются несколько уширенными пиками. Анализ уширения показывает, что основной причиной является наличие микроискажений в структуре вольфрама (при сохранении больших размеров частиц).

Согласно рентгенографическим исследованиям, образцы с добавками Cu, Ni, Fe ведут себя по-разному. На дифрактограммах во всех трех случаях наряду с фазой W присутствует фаза второго металла в хорошо окристаллизованном виде (размер ОКР не менее 40 нм), однако относительные интенсивности пиков меди значительно выше интенсивностей пиков никеля, которые в свою очередь больше, чем пики железа. Это свидетельствует о различном содержании кристаллических фаз Cu, Ni, Fe в образцах, т.е., часть более пластичных металлов может присутствовать в композитах в виде очень тонких аморфных слоёв.

Металлографический и микрорентгеноспектральный анализы выявили сэндвическое строение частиц композиции, где медная фаза располагается в вольфрамовой основе.

Размер частиц порошка композиции W-Ni после механоактивации значительно меньше (1–5 мкм) по сравнению с таковым для композиции W-Cu.

Микрорентгеноспектральный анализ порошков композиции выявил равномерное распределение никеля по частице вольфрама.

Поведение композиции вольфрам – железо при механоактивации аналогично поведению композиции вольфрам – никель.

Проведённые исследования показали, что механохимически полученные композиты вольфрама с не взаимодействующим металлом (медью) не обладают гомогенным распределением второго компонента даже при условии его высокой пластичности. Прессуемость у таких композитов очень низкая.

Для металлов, взаимодействующих с вольфрамом (никель, железо), механохимически получается достаточно гомогенное распределение второго компонента. Такие композиты дают при прессовании плотные образцы.

Работа выполняется в рамках программы Президиума РАН 18.21 «Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов»

Т.Ф. ГРИГОРЬЕВА, *Л.Н. ДЬЯЧКОВА, Н.З. ЛЯХОВ
«ИНСТИТУТ ХИМИИ ТВЁРДОГО ТЕЛА И МЕХАНОХИМИИ СО РАН»
*ГНУ «ИНСТИТУТ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НАН Беларуси»
Новосибирск, Россия; Минск, Беларусь

Материалы на основе вольфрама находят применение для изделий электротехнического назначения (контактов), электродов точечной сварки, катодов для напыления и др. Порошок вольфрама обладает плохой формованием и спекаемостью, для улучшения этих характеристик в вольфрам вводят добавки железа, никеля, ниобия, меди.

В соответствии с равновесной диаграммой состояния вольфрам с медью не взаимодействует.

Композиция вольфрам – никель отличается высокой растворимостью вольфрама в никеле (до 30 мас.% даже при комнатной температуре) и наличием одного интерметаллического соединения Ni_4W с областью гомогенности 2 мас.%.

В композиции вольфрам – железо имеется несколько интерметаллических соединений: WFe_2 , W_2Fe_3 (или W_6Fe_7), WFe , а также твёрдые растворы на основе вольфрама.

Ранее проведённое исследование процессов спекания композиции W-Cu показало, что плотность продукта зависит от дисперсности исходных порошков и состава смеси. Так, при размере частиц вольфрама 10-15 мкм максимальное уплотнение наблюдается при содержании меди 50 мас.%. С уменьшением содержания меди в композиции ниже 35-40 % плотность композиции резко уменьшается. В то же время имеется потребность в композициях с содержанием меди не выше 10 %. В этом случае необходимо использовать специальные приемы.

Целью настоящей работы было исследование структуры и морфологии композитов, образующихся при механической активации смесей вольфрама с медью, никелем и железом.

Механическую активацию проводили в планетарных шаровых мельницах АГО с водяным охлаждением (объём барабана 250 см³, диаметр шаров 5 мм, загрузка 200 г, навеска обрабатываемого образца 10 г, скорость вращения барабанов вокруг общей оси ~1000 об/мин).

Рентгенографические исследования проведены с помощью дифрактометра D500 Siemens (Германия) с использованием программы Поликристалл.

В.М. ГОЛУБ, М.В. ГОЛУБ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Важными факторами, определяющими конструктивные особенности торцовых уплотнений валов нефтяных и водяных насосов, являются: физико-химические свойства уплотняемой среды и ее температура; давление уплотняемой среды; диаметр вала насоса в месте его уплотнения; частота вращения вала.

При высоких давлениях уплотняемой среды (более 2,5 МПа) пары трения торцовых уплотнений должны быть гидравлически разгружены. Коэффициент гидравлической разгрузки должен находиться в пределах $0,55 < K < 0,6$. На насосах магистральных нефтепроводов, с давлением перекачки нефти $p = 6,5$ МПа на выходе насосной станции, максимальное давление в камере торцового уплотнения третьего насосного агрегата составляет порядка $p_y = 4,5$ МПа, что требует установки в торцовом уплотнении резервной пары трения, чтобы исключить аварийный выброс нефти.

Под действием перепада давления, усилия пружин и реакции опор, кольца пары трения деформируются. Значительные деформации получают кольца, изготовленные из материалов с малыми модулями упругости (углеграфиты, пластмассы, бронзы, алюминий). Деформация кольца вызывает угловой сдвиг контактной поверхности с раскрытием стыка. Существенное влияние на величину деформации колец оказывает изменение температуры на контакте пары трения.

При проектировании торцового уплотнения необходимо свести к нулю угловую деформацию контактных колец. Этого можно добиться путем выбора материала, формы сечения контактного кольца и выбора мест установки резиновых уплотнительных колец. Контактные кольца следует выполнять из материалов с высоким коэффициентом жесткости. Таким требованиям отвечают кольца контактные, изготовленные из конструкционных сталей. Кольца контактные должны быть взаимозаменяемыми. Установка контактных колец в аксиально-подвижную втулку и гильзу вала на резиновых кольцах устраняет перекосы при вращении и обеспечивает их виброустойчивость.

Учитывая определенную агрессивность уплотняемой среды, детали уплотнения, в том числе и пружины, необходимо изготавливать из конструкционных нержавеющей сталей, а уплотнительные резиновые кольца –

из масло-термостойких резиновых смесей на основе фтористого каучука СКФ-32 и им подобных. К ним относятся насыщенные фтором скользкие резины ИРП-1225 и ИРП-1375. Диаметр сечения резинового кольца для герметизации аксиально-подвижного сопряжения, с целью обеспечения плотного контакта, должен иметь размер $3,6 \leq d_o \leq 5,0$ мм. Величина натяга по зазору сопряжения резинового кольца 0,25–0,30 мм. Внутренний диаметр резинового кольца при посадке в канавку (на вал) принимать на 4–6 мм меньше диаметра канавки (вала).

Высокие требования предъявляются к шероховатости поверхностей, по которым контактирует резиновое уплотнительное кольцо. Шероховатость обработанной поверхности не должна превышать $Ra \leq 1,25$ мкм. Зазор в сопряжении между аксиально-подвижной втулкой и корпусом уплотнения должен обеспечить свободное перемещение втулки даже при перекосах и находится в пределах $\delta = 0,2\text{--}0,3$ мм.

В конструкции уплотнения аксиально-подвижный узел следует принимать не вращающимся, с пружинами, вынесенными из уплотняемой среды. Линейная скорость скольжения ограничивается трибологическими характеристиками материалов колец пары трения. Важную роль играет высокая износостойкость материалов колец пары трения особенно при уплотнении абразивосодержащих сред с плохой смазочной способностью.

Сочетания материалов пары трения должны обеспечивать хорошие антифрикционные характеристики. Кратковременная работа при дефиците смазки не должна выводить уплотнения из строя.

В качестве одноименных материалов колец пар трения торцовых уплотнений водяных и нефтяных насосов следует применять, исходя из выполненных исследований, силицированные углеграфиты и износостойкие покрытия рабочих поверхностей на основе порошковой композиции карбида вольфрама и медьсодержащей связки. Однако, нужно учитывать, что силицированный углеграфит – это хрупкий материал, не выдерживающий динамических нагрузок. В случае применения твердых и сверхтвердых материалов механические абразивные частицы, попадая в контакт пары трения, не вызывают существенного нарушения геометрии контактирующих поверхностей. Герметичность торцового уплотнения может быть достигнута только при условии максимального прилегания и постоянного контакта плоскостей пары трения. Это обеспечивается их тщательной обработкой до шероховатости $Ra\ 0,16\text{--}0,32$ мкм и отклонением от плоскостности $0,06\text{--}0,09$ мкм.

Кольца пар трения изготавливают путем механической обработки на металлорежущих станках с доводкой рабочих поверхностей путем шлифования и притирки. Кольца с износостойкими покрытиями из твердых материалов шлифуют кругами типа "КЗ" или алмазными кругами. Доводка выполняется на притирочных станках алмазными пастами.

лителей. Показана необходимость использования рабочих сред в виде золь коллоидных или химических водных растворов.

В условиях совмещения синтеза упрочняющих слоев по методу термолитиза и золь-геля в начале имеют место диффузионное насыщение дефектов приповерхностных слоев. Толщина глубинного слоя имеет четкие очертания, заключительное структурообразование предполагает обычную для быстрорежущей стали термообработку.

Упрочнение рабочего слоя покрытия, определяющее работоспособность лезвийного инструмента, происходит по глубине за счет образования композиции в виде матричного материала, армированного высокотвердыми наноразмерными частицами, по поверхности за счет образования наноразмерного слоя высокой прочности.

Установлено – работоспособность лезвийного инструмента из быстрорежущей стали с наноразмерными покрытиями может быть существенно повышена за счет роста адгезионно-прочностных свойств покрытий, что достигнуто оптимизацией технологических параметров процесса формирования слоев.

Изготовлены экспериментальные образцы лезвийных инструментов с наноразмерными покрытиями; проведены их эксплуатационные испытания. Разработанный инструмент имеет повышенную в 1,7–2 раза вязкость разрушения покрытия рабочего слоя, улучшенные триботехнические характеристики ($K_{тр} \approx 0,1$), повышенную в 1,2 раза твердость рабочей поверхности и в 2,5–3 раза большую долговечность.

Г.Г. ГОРАНСКИЙ, С. И. КИРИЛЮК, Л.В. СУДНИК

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»

Государственное научное учреждение

«ИНСТИТУТ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НАН Беларуси»

Гомель, Минск, Беларусь

Определено влияние температурно-временных параметров синтеза композиционных керамических слоев на толщину и тонкую структуру формируемых покрытий. Показано, что оптимальная толщина покрытий определяется количеством слоев и достигает 70-100 нм при скорости процесса синтеза 12 нм/с, время отжига – 5 с.

Исследования тонкой структуры покрытий методами ПЭМ, РФА, АС-СЭМ показали дисперсность компонентов ~5–10 нм, их рост до 20–100 нм. Толщина покрытий (от 6 нм до 150–190 нм) зависит от количества слоев и может регулироваться, как и фазовый состав, технологическими параметрами.

Предложена качественная модель процесса формирования слоев. Показано, что длительность трех его стадий зависит от технологических параметров, от концентрации и состава растворов. По результатам подтвержденных экспериментально расчетов предпочтительным составом покрытия является $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$ в виде тетрагональной модификации, повышающий одновременно вязкость разрушения в условиях вибрационных динамических нагрузок и обеспечивающий сведение до минимума износ рабочей поверхности.

Проведены комплексные исследования по выбору составов рабочих сред синтеза наноразмерных композиционных слоев на поверхностях лезвийного инструмента. Доказано: рабочая среда должна иметь реакционно-способные радикалы или свободные атомы, способствующие формированию нанослоев или включений, которые в процессе работы лезвийного инструмента являются поставщиками активных частиц в зону резания. Необходимость наноструктурированности синтезируемых включений требует, чтобы рабочие среды имели окислительные свойства либо являлись восстановителями, способствующими образованию умеренно сильных окис-

В.М. ГОЛУБ, М.В. ГОЛУБ, Ю.А. ДОБРИЯНИК

Учреждение образования

«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Брест, Беларусь

Условия эксплуатации насосов весьма разнообразны и зависят от технологических режимов перекачки: подачи, давления, температуры и свойств перекачиваемой среды. Проблема повышения надежности насосного оборудования заключается в том, что эксплуатация насосов с неисправными уплотнениями, кроме потери перекачиваемого сырья, приводит к нарушению режима перекачки, ухудшает условия работы обслуживающего персонала. В связи с этим предъявляются жесткие требования к герметичности насосов.

Торцовое уплотнение разработано с учетом предъявляемых требований по проектированию, изготовлению и эксплуатации уплотнений.

Торцовое уплотнение (рис. 1) состоит из: контактных взаимозаменяемых колец 1 пары трения; гильзы вала 2; аксиально-подвижной втулки 3; корпуса уплотнения 4; регулировочной гайки 5; штифтов 6 и винтов 7, для фиксации аксиально-подвижного узла от проворота; пружин 8; уплотнительных резиновых колец 9, 10, 11 и 12. На рабочие поверхности контактных колец 1 нанесен износостойкий слой из композиционного материала на основе порошков карбида вольфрама и медьсодержащей связки.

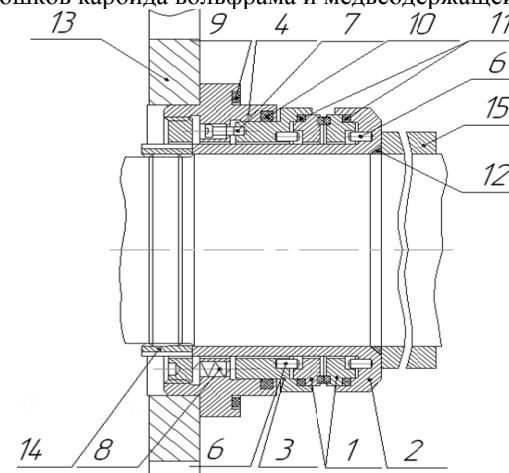


Рис. 1. Торцовое уплотнение валов насосов типа «Д» и «НМ»

Контактные кольца 1 установлены в гильзе вала 2 и аксиально-подвижной втулке 3 на резиновых уплотнительных кольцах 11 и удерживаются от проворота штифтами 6. Аксиально-подвижная втулка относительно корпуса 4 уплотнения фиксируется от проворота винтами 7 и в осевом направлении поджимается пружинами 8, расположенными в отверстиях корпуса по среднему диаметру аксиально-подвижной втулки. Уплотнения по корпусу насоса, аксиально-подвижной втулки и вала выполнены резиновыми кольцами круглого сечения 9, 10 и 12. Уплотнение крепится на корпусе насоса нажимным фланцем 13, а по валу – гайкой 14. Величина предельного нагружения контакта устанавливается регулировочной гайкой 5 и дистанционной втулкой 15.

Изготовлены образцы торцовых уплотнений, которые прошли испытания на обкаточных стендах и в промышленных условиях. Испытания торцовых уплотнений на стендах проводились в два этапа: статической опрессовки и при вращении вала в условиях близких к их работе на насосах.

В качестве рабочей среды при испытании торцовых уплотнений на стенде применялось масло индустриальное И-30 ГОСТ 20799-75.

Торцовое уплотнение устанавливалось в испытательную головку стенда. В рабочую камеру подавалось масло под давлением 0,5 МПа. Уплотнение проверялось на герметичность в течение 2–5 минут. В процессе опрессовки вал проворачивали вручную. При отсутствии утечки давление поднималось до 8,0 МПа и 5 минут велось наблюдение. В течение этого времени давление не изменялось и видимой утечки не отмечалось. Затем давление снижали до 0,5 МПа и включали стенд в работу. Поднимая давление до 2,5 МПа измеряли, в течение одного часа, объемную утечку масла через торцовое уплотнение. Утечка в начальный период составляла 50–30 см³/ч и к концу испытаний становилась практически нулевой.

Затем, без отключения стенда, давление масла поднимали до 5,0 МПа и проводили обкатку уплотнения в течение двух часов. Величина утечки не изменилась и составила не более 30 см³/ч.

После обкатки стенд выключали. Устанавливали давление 2,5 МПа и выполняли пуски и остановки стенда до десяти раз. Режим работы торцового уплотнения не изменился.

Промышленные испытания проведены на насосе Д-1250-65 станции второго подъема. Данный насос подает питьевую воду в городскую сеть водоснабжения. После установки уплотнения были опрессованы, и насос введен в эксплуатацию. Торцовые уплотнения находились в эксплуатации более трех лет. За этот период не отмечалось ни одного отказа насосного агрегата. Насос периодически останавливался и включался в работу. При давлении в корпусе насоса 0,8 МПа утечки через уплотнение не отмечено.

Трехлетний период эксплуатации показал высокую надежность и долговечность торцового уплотнения. Сократились затраты на эксплуатацию и ремонт насоса. Улучшились условия работы обслуживающего персонала.

материала, испаряемый с поверхности мишени в результате воздействия единичного лазерного импульса, растет с увеличением плотности мощности лазерного излучения, причем этот рост хорошо описывается полиномом второй степени. Зависимость расчетных значений средней энергии атомов углерода, испаряемых с поверхности графитовой мишени, от плотности мощности имеет максимум при $q = 1,7 \cdot 10^8$ Вт/см². В максимуме средняя энергия атомов углерода составляет ~ 35 эВ. Дальнейший рост плотности мощности приводит к резкому снижению средней энергии частиц в эрозионном факеле.

Наблюдаемая картина, по-видимому, связана с ростом вероятности поступления в эрозионный факел многоатомных кластеров при увеличении плотности мощности лазерного излучения. Это происходит из-за большей одновременно прогреваемой глубины графитовой мишени и, вследствие неоднородности материала, в глубине графита формируется неоднородный тепловой источник, приводящий к микровзрывам, поставляющим в эрозионный факел многоатомные кластеры. Кроме того, при больших плотностях мощности начинается испарение частиц мишени из периферийных областей, где температура существенно ниже, чем в центре пятна облучения.

Наблюдается хорошая корреляция механических характеристик углеродных пленок и средней энергии атомов углерода, испаряемых с поверхности графитовой мишени. Максимальная микротвердость пленок (≥ 30 ГПа) наблюдается при плотности мощности $q = 1,7 \cdot 10^8$ Вт/см². Столь высокое значение микротвердости говорит об алмазоподобном характере осаждаемых покрытий.

Описанные выше результаты позволяют сделать следующие выводы. При взаимодействии импульсного лазерного излучения с графитовой мишенью из центральной части лазерного пятна происходит испарение преимущественно углеродных частиц с высокой энергией. Энергия этих частиц растет с плотностью мощности лазерного излучения. Осаждаясь на подложку, частицы с высокой энергией образуют кластеры sp^3 -связанного углерода, что приводит к росту алмазоподобной углеродной пленки. Однако, при $P \geq 2 \cdot 10^8$ Вт/см² заметную роль начинает играть поступление в эрозионный факел многоатомных кластеров и структура осаждаемых УП изменяется на графитоподобную.

Таким образом, процессы, происходящие при формировании эрозионного кратера на поверхности графитовой мишени, оказывают существенное влияние на характеристики углеродных пленок, осаждаемых лазерно-плазменным методом.

УДК [539.216.546.26+666.233]:621.3.049.77

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННОГО ЛАЗЕРНОГО ФАКЕЛА ГРАФИТОВОЙ МИШЕНИ НА СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

В.К. ГОНЧАРОВ, Г.А. ГУСАКОВ, М.В. ПУЗЫРЕВ

Научно-исследовательское учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
им.А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Беларусь

В настоящее время значительный интерес проявляется к развитию технологий нанесения тонких углеродных пленок (УП) на различные материалы, так как они обладают рядом уникальных свойств: высокая твердость, износостойкость, коррозионная стойкость, электрическое сопротивление, оптическая прозрачность и т.д. Благодаря этому УП находят все более широкое применение в современных высоких технологиях. Одним из наиболее перспективных методов осаждения УП является лазерно-плазменный метод. Он позволяет получать химически чистые углеродные пленки без примеси водорода с высоким содержанием sp^3 -гибридизированного углерода. Однако влияние условий формирования лазерно-плазменного факела на структуру и свойства УП до сих пор изучено недостаточно. Целью настоящей работы являлось исследование влияния структуры эрозионного кратера графитовой мишени на характеристики УП, осаждаемых лазерно-плазменным методом.

При проведении экспериментов использовался YAG:Nd³⁺ лазер LS-2137 фирмы Lotis-TII с частотой следования лазерных импульсов 5 Гц, длиной волны $\lambda = 1064$ нм и длительностью импульса $\tau = 20$ нс. Плотность мощности лазерного излучения варьировалась в диапазоне от 1 до $4 \cdot 10^8$ Вт/см² при постоянном размере пятна воздействующего лазерного излучения. Во всех проведенных экспериментах по осаждению УП производилось воздействие на мишень 4000 лазерных импульсов. Мишени были изготовлены из графита МГ10СЧ и устанавливались под углом 45° к оси лазерного пучка. В процессе нанесения покрытий осуществлялось сканирование лазерного пучка по поверхности мишени путем вращения мишени вокруг своей оси. При этих условиях центр пятна воздействующего лазерного излучения описывал окружность диаметром 20 мм. Линейная скорость смещения центра пятна составляла $\sim 1,9$ мм/с.

В результате воздействия лазерного излучения на поверхности графитовой мишени формировался эрозионный кратер в форме тороидальной канавки. Параметры эрозионного кратера определялись при помощи профилометра Talystep (США). Эксперименты показали, что средний объем

УДК 621.83

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ПРЕЦЕССИОННЫХ ПЕРЕДАЧ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ В УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ОЧИСТКИ СМАЗОЧНО- ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

П.Н. ГРОМЫКО, Д.С. ГАЛЮЖИН, Е.В. БУТОЛИН

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

Увеличение срока службы смазочно-охлаждающих технологических средств – проблема, которая стоит практически для каждого машиностроительного предприятия.

Машиностроение занимает четвертое место среди загрязнителей гидросферы – после деревообработки, химической промышленности и электроэнергетики. Доля маслосодержащих вод (отработанные смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС), утечки из смазочных систем и т. п.) составляет около 50 % общезаводского стока.

В процессе работы станочного парка предприятия смазочно-охлаждающие технологические средства загрязняются всевозможными элементами: металлическая стружка, шлифовальный шлам, различными маслами, а также велика вероятность попадания других видов СОТС и моющих растворов, быстрый рост бактерий, загрязнение окружающей среды. Основная задача в процессе регенерации рабочей эмульсии сводится к извлечению инородных элементов и корректировке концентрации СОТС.

Очистка СОТС повышает качество обработки, стойкость инструмента, срок службы насосов, сокращает ее расход, позволяет утилизировать остродефицитные материалы – вольфрам, кобальт (из отходов твердосплавных заготовок), алмаз. Качество очистки можно оценить по наибольшему размеру частиц механических примесей в СОТС и их допустимым массовым содержанием.

Для очистки СОТС применяются системы различных типов: баки-отстойники, флотаторы, магнитные сепараторы, гидроциклоны, фильтры, центрифуги и др. Посторонние масла, попадающие в СОТС с оборудованием, а также легкие загрязнения всплывают на поверхность жидкости и удаляются маслосъемным барабаном, который вращается относительно небольшой частотой вращения (до 3 мин⁻¹). Для подобного рода устройств, исполнительные элементы которых вращаются с небольшой частотой, необходимо применение редуцирующих механизмов с передаточным отношением от 400 до 600 при частоте вращения приводного электродвигателя около 1500 мин⁻¹. Редуцирующие механизмы должны также быть малогабаритны и иметь низкую себестоимость изготовления.

Указанным выше требованиям в наибольшей степени удовлетворяют планетарные прецессионные передачи. Обеспечить высокие значения передаточного отношения может планетарная прецессионная передача (ППП) с зубьями в зацеплении типа 2К-Н или планетарная прецессионная передача фрикционного типа.

Преимуществами механических передач фрикционного типа перед другими видами механических передач является: возможностью трансформировать вращение в широком диапазоне передаточных отношений на одной ступени (10÷1000) при пониженных массогабаритных показателях, простота конструкции, небольшое количество деталей и комплектующих изделий обеспечивает разработанному редуктору пониженную себестоимость изготовления, работа с пониженными виброакустическими показателями. Ограничением в применении данного типа передачи в очистных механизмах является невысокое значение нагрузочной способности.

ППП типа 2К-Н имеет возможность трансформировать вращение с большими передаточными отношениями и обладает достаточно простой конструкцией. Все детали редуктора технологичны и их можно изготавливать на стандартном оборудовании, что позволяет им конкурировать по себестоимости с аналогами.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА СВОЙСТВА МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ

Т.В. ВЫСОЦКИЙ, В.Т. ВЫСОЦКИЙ

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

Практический интерес представляет исследование свойств механически легированных материалов на основе железного порошка, подвергнутых цементации с последующей термической обработкой при различных сечениях образцов. Это может дать представление о применимости материалов для изготовления тех или иных изделий. Исследование выполнено на материалах плотностью 85 и 95 % от теоретической для сталей 05МН2 и 06ХН2. Шихту для изготовления образцов получали смешиванием основы – порошка ПЖРВ и лигатур, полученных в высокоэнергетическом смесителе. Содержание лигатур составляло 30 % от объема шихты. Материалы плотностью 85 % получали методом однократного, а плотностью 95 % – двукратного прессования с промежуточным спеканием при 800 °С в течение 0,5 ч в среде водорода. Процесс спекания совмещали с цементацией в древесноугольном карбюризаторе при 960 °С в течение 6 ч. Исследования структуры, твердости и прочности при растяжении проведены на образцах трех сечений шейки: 5х10; 10х10; 10х15 с базовой длиной 40 мм. После цементации образцы подвергали термической обработке: закалке от температуры 800 °С в масле и отпуске при 180 °С в течение 2 ч.

Исследованиями установлено, что с увеличением сечения образцов прочность и твердость материалов снижаются. Снижение прочности связано, с одной стороны, с относительным уменьшением площади науглероженной зоны и, с другой стороны, со снижением прокаливаемости материалов. Снижение же твердости можно объяснить количественными и качественными изменениями в структуре поверхностной зоны в материалах, связанными с уменьшением скорости охлаждения образцов, имеющих большее сечение. Данные рассуждения справедливы как для стали 05МН2 (0,7 % молибдена и 2 % никеля), так и для стали 06ХН2 (1 % хрома и 2 % никеля), причем для стали 05МН2 эти влияния менее заметны.

Проведенное исследование позволило: установить основные закономерности формирования диффузионных слоев на материалах различной плотности и показать, что цементованные и закаленные механически легированные материалы обладают довольно высоким комплексом механических свойств и могут с успехом применяться для изготовления деталей небольших размеров и простой формы.

Установки низкого давления состоят из следующих основных узлов: насосов-дозаторов с электроприводами, смесительного узла, емкостей с мешалками для компонентов и растворителя, устройства насыщения компонентов воздухом, термостата, пульта управления, поворотной стойки, пневморегулирующей аппаратуры и контрольно-измерительных приборов. Работа таких установок основана на дозации и смешении компонентов при давлении до 2,5 МПа в смесительной камере ротором, скорость вращения которого может достигать 18000 об/мин. В отличие от установок высокого давления смесительно-дозирующие установки низкого давления позволяют получать изделия из пенополиуретана массой от 3 грамм.

Кроме того, авторами представлены комплексы автоматизированного оборудования, используемые при изготовлении электротехнической продукции.

Разработанный автоматизированный комплекс состоит из заливочно-смесительной установки и стола портального типа с устройством вертикального перемещения смесительного узла. Процесс производства качественного уплотнительного контура заключается в нанесении по заданной траектории трехкоординатным роботом-манипулятором жидкой реакционноспособной композиции при помощи заливочно-смесительной установки, обеспечивающей необходимую точность дозирования и высокое качество смешения.

В последнее время широким спросом стали пользоваться оборудование и технология для изготовления трехслойных панелей и других клееных конструкций. Сэндвич-панели используются для строительства недорогого качественного жилья, теплых домов, гостиниц и кемпингов, а также сервисных и торговых помещений.

Разработанный комплекс оборудования предназначен для производства сэндвич-панелей с наполнителем из пенополиуретана, минеральной ваты, пенополистирола с внешним покрытием из пластика, металла и изготовления клееных деревянных конструкций, бруса, балки и др.

Представленные в работе автоматизированные комплексы оборудования нашли широкое применение на 240 предприятиях Республики Беларусь, Украины, России и других стран для выпуска широкого ассортимента разнообразной продукции из газонаполненных полимерных композитов.

УДК 621.83

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ ВАРИАНТОВ ПРЕЦЕССИОННЫХ ПЕРЕДАЧ ФРИКЦИОННОГО ТИПА

П.Н. ГРОМЫКО, О.М. ПУСКОВ, Т.Г. ДОКОНОВ

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

Преимуществами широко распространенных механических передач фрикционного типа перед другими видами механических передач является их простота, обеспечивающая низкую себестоимость изготовления, а также работа с пониженными виброакустическими показателями. Основные недостатки последних, сдерживающие их более широкое применение – это невозможность передачи вращения с большими передаточными отношениями и повышенные габаритные показатели.

В связи с вышесказанным проблема создания структуры фрикционной передачи, которая обеспечивала бы с одной стороны трансформацию вращения с большими значениями передаточных отношений в ограниченных объемах пространства, с другой стороны была бы достигнута требуемая нагрузочная способность до значений, позволяющих ее использовать в качестве силовых передач, является актуальной.

Сущность технических решений, предложенных специалистами лаборатории по прецессионным передачам университета, позволяющих решить указанную проблему, заключается в замене зубчатых венцов на фрикционные диски особой формы. Основное преимущество предлагаемой прецессионной передачи фрикционного типа является возможность обеспечения при трансформации вращения значительных передаточных отношений, которых нельзя достичь при использовании фрикционных передач аналогов.

На основе кинематического анализа предложенных к рассмотрению структурных вариантов прецессионных передач фрикционного типа были получены зависимости для определения значений передаточных отношений.

Передаточное отношение передачи типа К-Н-V определяется по формуле

$$i = \frac{\cos \gamma}{\sin(\theta + \gamma) \cdot \sin \theta},$$

где θ – угол нутации (угол наклона оси входного вала к оси его вращения); γ – угол конусности левой фрикционной поверхности сателлита.

Передаточное отношение передачи типа 2К-Н определяется по формуле

$$i = \frac{\sin(\gamma - \theta) \cdot \sin \beta}{\sin \theta \cdot \sin(\beta - \gamma)},$$

где β – угол конусности правой фрикционной поверхности сателлита.

С целью определения кинематических возможностей прецессионных передач фрикционного типа, воспользовавшись приведенными выше зависимостями, получим значение передаточных отношений рассматриваемых их структурных вариантов. При этом требуется учесть, что угол нутации θ может изменять свои значения в интервале от 0,5 до 7 градусов, а углы конусности фрикционной поверхности сателлита γ и β могут колебаться в интервале от 0,5 до 30 градусов.

В табл. 1 и табл. 2 приведены результаты расчета передаточных отношений при различных значениях угла нутации θ и углов конусности фрикционных поверхностей сателлита γ и β .

Табл. 1. Передаточные отношения передачи типа К-Н-V

Угол нутации	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6
Угол конусности левой фрикционной поверхности	0,5	20	0,5	20	0,5	20	0,5	20	0,5	20	0,5	20
Передаточное отношение	2189	150	657	72	313	46	183	33	120	26	85	21

Табл. 2. Передаточные отношения передачи типа 2К-Н

Угол нутации	0,5	0,5	0,5	1	1	1	2	2	2	2
Угол конусности левой фрикционной поверхности	10	20	20	20	10	20	20	20	30	30
Угол конусности правой фрикционной поверхности	20	15,5	21,5	27,5	11	21,5	19,5	23,5	26	28
Передаточное отношение	37	130	536	66	98	261	339	58	85	181

Как видно из приведенных выше таблиц, кинематические возможности планетарных прецессионных передач фрикционного типа достаточно широки. Диапазон перекрываемых ими передаточных отношений находится в интервале от 10 до 2200.

Экспериментальные исследования прецессионных редукторов фрикционного типа с передаточным отношением порядка 136 показали их работоспособность и возможность нести нагрузки, позволяющие причислить их к классу силовых. Результаты проведенных теоретических исследований позволили создать основы проектирования принципиально новой механической передачи, а также разработать методику проектирования прецессионных редукторов фрикционного типа. При этом простота конструкции, небольшое количество деталей и комплектующих изделий обеспечивает разработанным редукторам пониженную себестоимость изготовления.

УДК 678.057.9

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СМЕСИТЕЛЬНО-ДОЗИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ

С.В. ВЫДУМЧИК, О.О. ГАВРИЛЕНКО, Т.Г. ПАВЛЮКЕВИЧ

Научно-исследовательское учреждение

«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

им. А.Н. Севченко»

Белорусского государственного университета

Минск, Беларусь

Создание материалов и конструкций с уникальными свойствами из композиционных полимерных материалов невозможно без специализированного технологического оборудования.

Разработан и изготовлен ряд автоматизированных технологических установок, которые по своим производственно-технологическим параметрам соответствуют лучшим мировым аналогам, благодаря использованию принципиально новых идей, современной электронной компонентной базы и оригинального системного программного обеспечения. Разработанные установки нашли широкое внедрение на промышленных предприятиях Республики Беларусь, России и Украины.

В их числе смесительно-дозировочные установки высокого давления циклического и непрерывного действия, используемые для производства теплосберегающих изделий из жестких пенополиуретанов, изотермических емкостей, сорбента Пенопурм и д.т.

В состав смесительно-дозировочных установок высокого давления входят следующие функциональные блоки: дозатор, смесительный узел, станция гидропривода, устройство термостабилизации, емкости для компонентов, пульт управления с контрольно-измерительными и регулируемыми приборами, оснащенные микропроцессорными элементами с разработанным программным обеспечением. В канале смесительного узла установлен с возможностью возвратно-поступательного перемещения плунжер, выполняющий функции запорного и очищающего механизма. Такая конструкция смесителя является основным преимуществом установок высокого давления, так как использование самоочищающихся смесительных устройств не требует растворителей и промывочных жидкостей. Разработанное авторами оборудование позволяет перерабатывать любые мономерно-олигомерные композиции высокой вязкости и получать изделия из вспененных полимеров в широком весовом интервале (0,05–50,0 и более кг).

Смесительно-дозировочные установки низкого давления используются для производства топливных, воздушных и масляных фильтров автотракторной и авиационной промышленности.

шенной хрупкостью. При наплавке могут образовываться трещины, как горячие (кристаллизационные), так и холодные (хрупкие).

Для предупреждения образования трещин использовали предварительный подогрев вала и оптимальные режимы наплавки.

Исследование микроструктуры покрытий позволяет выделить четыре основные зоны в сечении восстановленного образца: основной металл, зона термического влияния, переходная зона, покрытие.

Использование проволоки 1,6 Св-08Х13 позволяет предупреждать образование трещин из-за минимизации переходной зоны. Неравновесные метастабильные структуры, получаемые при наплавке, обеспечивают, с одной стороны, высокую твердость, прочность и износостойкость поверхностных слоев детали, но с другой стороны, увеличенные размеры зерна, внутренние остаточные растягивающие напряжения снижают сопротивление к ударным и циклическим нагрузкам.

Твердость покрытия, полученного наплавкой проволоки Св-08Х13 – HRC 30–33. Одним из показателей свойств наплавленного металла является твердость, с которой иногда отождествляют износостойкость, но при оценке износостойкости необходимо учитывать и структуру получаемых покрытий: твердость матрицы, наличие карбидов и их размеры, закрепление карбидов в матрице. Микроструктура покрытия, полученная наплавкой проволоки 08Х13, представляет собой «твердый раствор + карбиды хрома». Сплавы с подобной структурой, с низким содержанием углерода имеют способность к значительным увеличениям твердости, прочности, и износостойкости в результате наклепа (при пластическом деформировании со значительной степенью пластической деформации). В результате ППД в поверхностном слое наплавленного покрытия образуется текстура с повышенной концентрацией дефектов кристаллической решетки, которые тормозят плоскости скольжения, затрудняя их дальнейшее распространение. Так же после ППД в покрытии возникают внутренние остаточные напряжения сжатия, которые блокируют раскрытие усталостных трещин, превращая их в широком интервале напряжений в нераспространяющиеся.

Введение в технологию ремонта при восстановлении валов наплавкой проволокой 1,6 Св-08Х13 операции поверхностного пластического деформирования повышает предел выносливости восстановленных валов на 25–30 %.

УДК 621.839

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФРИКЦИОННЫХ ШАРИКОПОДШИПНИКОВЫХ ПЕРЕДАЧ

Д.В. ДАВЫДЕНКО

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

Одной из эффективной областью применения фрикционных шарикоподшипниковых передач могут являться ручные механизмы предельного момента. Такие устройства применяют, например, в ручных и механизированных инструментах (гайковертах, отвертках) для создания контролируемых моментов затяжки резьбовых соединений.

Были установлены зависимости между вращающими моментами на ведущем и ведомом валах передачи и осевым расклинивающим усилием в шариковом зацеплении. Проводились экспериментальные исследования планетарных фрикционных передач, построенных на основе радиальных шарикоподшипников 106, 107, 206, 207, 306, 307. Все подшипники имели класс точности равный 0, а передачи имели одинаковые конструкции. В них только менялись исследуемые шарикоподшипники. Было проведено две серии экспериментов. В первой серии применялись подшипники со смазкой. В качестве смазки использовался солидол жировой ГОСТ 1033-79. Во второй серии применялись подшипники без смазки. Для каждой серии было проведено 12 измерений, в которых осевое расклинивающее усилие изменялось от 53 Н до 1284 Н. При каждом усилии выполнялось по четыре нагружения и измерения.

В результате проведения эксперимента были получены зависимости вращающих моментов на ведущем M_1 и ведомом M_2 валах от осевого расклинивающего усилия P , зависимости вращающих моментов M_1 от моментов M_2 . Также результаты эксперимента позволяют определить КПД передачи, зная моменты M_1 , M_2 и передаточное отношение U по формуле (1)

$$\eta = \frac{M_2}{M_1 \cdot U} \quad (1)$$

Использование методов математической статистики для обработки экспериментальных данных позволило установить, что полученные зависимости имеют линейный вид. Из результатов эксперимента следует, что величины моментов M_1 и M_2 без смазки заметно превышает величины этих же моментов со смазкой. Кроме того, как с использованием смазочного материала в подшипнике, так и без него, с увеличением серии подшипника, возрастают значения моментов M_1 и M_2 .

Также было установлено, что зависимость крутящего момента M_1 на ведущем звене передачи от крутящего момента M_2 на ведомом звене для всех подшипников будет общей, независимо от серии и типоразмера подшипника, а колебание величины момента M_1 находится в пределах случайной погрешности измерения.

Анализ зависимости КПД передачи от осевого усилия P показал, что для стабилизации условий контакта шарика с дорожками качения обязательным требованием является использование смазки. В этом случае, при увеличении осевого усилия P КПД имеет тенденцию к возрастанию.

Данные, полученные в результате проведения экспериментальных исследований, являются необходимыми при проектировании нажимного устройства в шарикоподшипниковых передачах. Так как при длительной работе в нагруженном состоянии происходит нагрев этих передач, который мало изучен, то на данном этапе исследований можно считать, что такие передачи можно использовать в тех механизмах, от которых не требуется длительная работа в нагруженном состоянии.

Высокая кинематическая точность и высокая плавность работы фрикционных шарикоподшипниковых передач открывают возможность их применения в приборах точной механики, а также в точных приводах технологического оборудования. Одной из областей применения передачи, где требуется ее высокая плавность работы, являются верньерные устройства для грубой и тонкой настройки механизмов.

Таким образом, малогабаритные фрикционные шарикоподшипниковые передачи могут найти достаточно широкую область своего эффективного применения в машиностроении, включающую:

- мало и средненагруженные реверсивные передачи для высокоточных приводов машин, механизмов и технологических систем;
- кинематические высокоточные приводы для механизмов регулировки и настройки;
- ручные и механизированные инструменты для регулируемой затяжки резьбовых соединений.

УДК 621.787

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ВАЛОВ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ, ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Т.В. ВИГЕРИНА

Учреждение образования

«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Новополоцк, Беларусь

Для решения проблемы восстановления автомобильных деталей, работающих в условиях циклического нагружения, широко используются различные способы наплавки: электродуговая под слоем флюса; электродуговая в среде защитных газов; плазменная и др.

Наплавка износостойких наплавочных материалов позволяет восстановить геометрические параметры и получить покрытия, характеризующиеся высокой износостойкостью. Для того, чтобы достичь значений предела выносливости порядка 100–105 % от предела выносливости новых валов в технологический процесс восстановления вводят термические операции, которые способствуют снятию внутренних напряжений, создают в поверхностных слоях сжимающие напряжения и улучшают механические свойства наплавленного материала и зоны термического влияния. Основным недостатком этого способа является их высокая энергоемкость. Отрицательное влияние процесса наплавки на структуру получаемых износостойких покрытий так же можно значительно снизить, применяя в технологии ремонта методы упрочняющей поверхностной пластической обработки – поверхностное пластическое деформирование (ППД).

Цель работы – повышение усталостной прочности валов восстановленных наплавкой введением в технологию ремонта ППД.

В качестве материала для изготовления образцов использовали изношенные коленчатые валы, изготовленные из стали 45 с заданным химическим составом, предназначенном для получения требуемой технологической прочности, но склонные к образованию закалочных структур и, как следствие, трещин. Усталостные испытания проводились на машине УКИ-10М на образцах, изготовленных в соответствии с ГОСТ 25.502-79, которые позволяют задавать образцу необходимое переменное напряжение с одновременной фиксацией количества циклов в любой момент испытаний. Испытания проводились до полного разрушения образцов. В качестве наплавочного материала применяли проволоку 08Х13, ППД осуществлялось обкаточным диском.

Покрyтия, полученные в результате наплавки, отличаются высокой твердостью и износостойкостью, но при этом они характеризуются повы-

приобретает более зернистый характер, но распределение зерен в виде цепочек при этом не исчезает. Выявлен преимущественный рост кристаллов перпендикулярно направлению теплоотвода. Отсутствует пористость, обнаруженная в литых сплавах. В структуре быстрозакаленных лент, как и в литых латунях, выявлены нерастворенные частицы свинца по всему объему металла.

Установлено, что структура и свойства $\alpha+\beta'$ -латуней зависят от скорости охлаждения. При быстром охлаждении возрастает количество β' -фазы, что повышает твердость латуни. Медленное же охлаждение ведет к увеличению количества α -фазы, повышая ее пластичность. Причем на размер зерна и однородность структуры определяющее влияние оказывает именно скорость охлаждения расплава, и лишь во вторую очередь – изменение химического состава сплава.

Экспериментально определена зависимость между толщиной закаленной ленты и скоростью охлаждения расплава. Установлено, что чем меньше толщина образца, тем меньше зерно, и выше скорость закалки.

В результате проведенных исследований по закалке-прокатке многокомпонентных латуней обнаружены эллипсоидальные зерна резко выделяющиеся на фоне мелкодисперсной структуры ввиду больших размеров (спектр от 0,01 до 0,1 мм), ориентированные в различном направлении. Появление таких зерен может быть объяснено перегревом расплава, и снижением скорости кристаллизации (скорость кристаллизации оценивалась по толщине получаемой ленты). При недостаточной скорости охлаждения отличие химического состава по объему образца предполагает образование зерен с неоднородным распределением их по размерам вследствие неодинаковых значений энергий образований зерен и, соответственно, их роста. Результат – наличие крупных зерен в местах с минимумом энергии для их зарождения и роста. Исследования на сканирующем электронном микроскопе подтвердили неоднородность распределения химических компонентов в объеме материала с низкой скоростью охлаждения. При этом элементный состав “переросших” зерен определяется соединением меди с цинком без присутствия каких-либо других легирующих компонентов.

УДК 621.833.68
ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВЫЙ ПЛАВНОРЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.М. ДАНЬКОВ, В.А. КРАСОВСКИЙ, *М.М. ТУРАНДИН
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*ОАО «Могилевхимволокно»
Могилев, Беларусь

Сегодня нельзя найти отрасль, где не применялись бы частотно-регулируемые электроприводы с приводными асинхронными двигателями. Большинство производственных машин и механизмов общепромышленного применения (насосы, вентиляторы, конвейеры, компрессоры и т.д.) требуют относительно небольшого диапазона и невысокой точности регулирования скорости (до 1:20), относительно низкого быстродействия. В этом случае используют электроприводы с системой скалярного управления асинхронными двигателями, т.е. с взаимосвязанным регулированием частоты и значения питающего напряжения.

Широкодиапазонные, высокочастотные и быстродействующие электроприводы станков, роботов и транспортных средств требуют применения более сложных систем векторного управления.

Векторное управление позволяет:

- развивать высокий момент на низких оборотах;
- задавать двигателю очень большое ускорение;
- осуществить подхват двигателя при кратковременном пропадании питающего напряжения без опрокидывания инвертора;
- осуществлять пропуск нежелательных для механизма скоростей (например, связанных с механическими проблемами резонанса).

Векторное управление позволяет управлять работой высокودинамичных систем, требующих очень высоких показателей качества регулирования: механизмов с высокими требованиями к моменту, как при пуске, так и при торможении, высокоинерциальных механизмов и т.п. и рекомендуется к применению в конвейерах, лебёдках, мотор-редукторах, кранах, лифтах, подъемных механизмах, экскаваторах, высокоточных системах позиционирования, станках с ЧПУ, металлообрабатывающих станках, бумагоделательных машинах, робототехнике, экструдерах, мельницах, центрифугах, штамповочных прессах. Преимущества векторного управления подчеркиваются его применением в следующих случаях.

В отличие от большинства электроприводов производственных механизмов, крановый электропривод, как правило, не имеет наперед заданного цикла. Режим его работы зависит от многих факторов, а нагрузка и знак её изменяются в весьма широких пределах.

Векторное управление позволяет осуществлять плавный частотный разгон всех механизмов крана с управляемым ускорением, плавное регулирование скорости в большом диапазоне при различных значениях и направлениях нагрузки, дотяжку и точную остановку механизмов; работу главного механизма в режимах подъема, силового спуска с глубоким регулированием скорости, с ограничением динамического момента и тока электродвигателей.

Применение систем с векторным управлением позволяет отойти от использования обычных двухскоростных асинхронных электродвигателей и перейти к использованию в лифтовых лебедках высокоскоростных электродвигателей, осуществлять "мягкие" пуско-тормозные режимы; с высокой точностью останавливать лифтовую кабину. Все это влечет за собой повышение комфортности пассажиров и увеличение ресурса привода.

Векторное управление позволяет применять электроприводы как на механизмах главного движения металлообрабатывающего оборудования с циклическими режимами работы и с высокими темпами разгона, торможения, реверсирования, так и на механизмах подачи с достижением высокой точности позиционирования (шпинделя шлифовального станка, например).

Во всех описанных случаях с переменными режимами функционируют все элементы привода, включая и самый ответственный и дорогостоящий – электродвигатель. Избежать этого можно благодаря принципиально новому приводу.

На кафедре «Основы проектирования машин» университета изготовлены два макета планетарной плавнорегулируемой передачи и ведутся исследования их эксплуатационных характеристик.

Привод, в котором используется планетарная плавнорегулируемая передача, основан на использовании асинхронного двигателя с постоянной частотой вращения в одном направлении. При интенсивной работе технологического оборудования двигатель может оставаться включенным постоянно. Реверсирование движения рабочего органа и его неподвижность при работающем двигателе осуществляются вспомогательной планетарной передачей благодаря поочередному торможению ее звеньев, аналогичной передаче, используемой в автоматических коробках передач транспортных средств. Регулирование скорости рабочего органа в соответствии с требованиями техпроцесса осуществляется плавнорегулируемой планетарной двухколесной передачей, принцип действия которой основан на одновременном изменении радиуса водила (кривошипа), на котором установлен сателлит, и условного диаметра центрального зубчатого колеса, выполненного составным. Например, в грузовых лифтах (подъемниках) с помощью планетарной плавнорегулируемой передачи может регулироваться скорость подъема кабины (груза) в зависимости от их массы, обеспечивая оптимальную загрузку двигателя по мощности.

УДК 621.7.014
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ И
ЛИТЫХ ЛАТУННЫХ СПЛАВОВ

М.Н. ВЕРЕЩАГИН, И.В. АГУНОВИЧ
Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»
Гомель, Беларусь

Известно, что свойства сплавов во многом определяются их структурой – типом преобладающей фазы, размером и формой зерна, различными включениями и т.д. Целью данной работы являются металлографические исследования зеренной структуры быстрозакаленных лент и литого сплава системы Cu-Zn-Ni-Fe-P-Pb-Sn. Быстрозакаленные ленты данной системы получали методом двухвалковой заковки-прокатки расплава при частоте вращения валков $\omega=10-30 \text{ с}^{-1}$; литые сплавы получали литьем в кокиль с охлаждением на воздухе. Микроструктуру литых и быстрозакаленных образцов изучали на металлографическом микроскопе «Neophot-21», сканирующем электронном микроскопе TESCAN Vega II LSH и металлографическом микроскопе «METAM PB-22».

Металлографические исследования выявили дендритную $\alpha+\beta$ -структуру литого и быстрозакаленного сплава. Структура литого сплава неоднородна, с большим количеством включений. Зерна неравноосные, неправильной формы, с большим колебанием размеров (от 0,01 мм до 0,08 мм). Дендриты вытянуты в виде сплошных цепочек, образуя строчечную структуру, что нежелательно при обработке давлением. Все легирующие элементы (кроме свинца и железа) полностью растворились в $\alpha+\beta$ -фазах. По данным сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа структура содержит эвтектику $\beta+\text{Cu}_3\text{P}+\text{Pb}$, но вследствие $\alpha\leftrightarrow\beta$ -превращения легкоплавкие эвтектические фазы находятся не по границам, а внутри зерен твердого раствора. В литых латунях в большом количестве обнаружены различные дефекты: раковины, микротрещины, ликвация. Причиной возникновения раковин и микротрещин является повышенная газонасыщенность сплава, загрязненность шихты влагой и оксидами, а также несоблюдение рациональных режимов плавки.

Микроструктура сплавов, полученных быстрой закалкой-прокаткой расплава отличается от литой структуры значительно большей дисперсностью составляющих (средний размер зерна 1–10 мкм), и отсутствием видимой химической неоднородности. При быстром охлаждении структура

применено обжигающее дугу сопло с диаметром отверстия, равном 1,2 мм. Скорость перемещения плазмотрона варьировалась от 4 до 17 мм/с. В результате проведенных экспериментов определены оптимальные параметры упрочнения.

Исследованы микротвердость поверхностного слоя в зависимости от расхода аргона, тока дуги, скорости перемещения плазмотрона. Определены зависимости микротвердости стали от скорости движения плазменной дуги по глубине поверхностного слоя. Установлено, что значение микротвердости почти в 2 раза выше исходной. Достигнуто увеличение микротвердости до 500–600 НВ_{0,1}, причем толщина упрочненного слоя может изменяться в зависимости от скорости упрочнения от 0,4 до 0,7 мм. Кроме того, изучено влияние величины тока дуги на микротвердость и глубину закаленного слоя.

Как показали исследования, значительное влияние на формирование структуры материала поверхностного слоя и микроструктуру оказывает также среда, в которой горит дуга. В стали, обработанной плазменной струей в защитной среде аргона (однократная обработка) не наблюдается значительных качественных изменений в структуре материала при различных параметрах процесса. При термообработке стали плазменной струей в защитной среде азота четко наблюдаются все три характерных слоя, которые видоизменяются при различных расходах защитного газа. Во внутренней зоне, плавно переходящей в исходный металл наблюдается преимущественная ориентировка зерен (текстура), которая возникает вследствие пластической деформации и аналогичной структуре ядра материала. Граница этой зоны соответствует глубине теплового влияния плазменной струи. Вторая зона состоит из равноосных зерен рекристаллизованного материала. Этот слой был подвержен расплавлению и при такой температуре произошел процесс перекристаллизации.

Поверхностный слой обработанной стали содержит дендритную структуру, возникающую в процессе перекристаллизации материала. Дендритная структура материала хорошо наблюдается при увеличении $\times 675$, она возникла вследствие быстрого охлаждения нагретого материала. Обследование закаленных образцов показало, что увеличение тока дуги ведет к значительному расширению зоны теплового воздействия плазменной струи.

Установлено, что при воздействии плазменной струи в защитной среде азота в фазовом составе стали образуются карбиды и нитриды железа – гексагональная фаза типа ϵ , что объясняется диффузионным насыщением азотом и углеродом исходного материала и происходящими химическими процессами.

Экспериментально подтверждена возможность закалки при наложении соседних дорожек друг на друга с расстояниями между их осями, равном 0,4 мм; при этом микротвердость составила 532–600 НВ.

УДК 631.3.072
ОСОБЕННОСТИ НАГРУЖЕНИЯ ТЯГОВО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА
ПРИ ВЗАИМНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ТРАКТОРА И СЕЛЬХОЗОРУДИЯ

А.В. ЗАХАРОВ, И.О. ЗАХАРОВА

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Беларусь

Известно, что малые взаимные перемещения трактора и сельхозорудия существенно влияют на показатели динамики их взаимодействия в продольной плоскости. Как следствие, происходят сжатие верхней тяги навесного устройства, догрузка передних и частичное «зависание» разгрузка задних колес трактора, что приводит к существенному снижению его тягово-сцепных свойств. В навесном пахотном агрегате появляется дополнительная опора трактора на лемех переднего корпуса либо на полевую доску заднего корпуса орудия, из-за чего растет его тяговое сопротивление.

Схожие процессы происходят в прицепном машинно-тракторном агрегате, если свободные относительные перемещения корпуса трактора и сельхозорудия невозможны.

Для присоединения прицепных и полуприцепных машин и орудий предназначено тягово-сцепное устройство (ТСУ) с тяговой вилкой или тяговым брусом.

Если тяговая вилка расположена в нижней части кронштейна и направление силы R_{xy} проходит выше последнего, в пальце крепления приложим вертикальную силу $+F_y$, направленную вниз. И наоборот, если направление R_{xy} проходит ниже, названную вертикальную силу $-F_y$, направим вверх.

В первом случае передние колеса трактора разгружаются, во втором – они дополнительно догружаются на величину

$$\Delta Y = \frac{\pm R_{yx}(m_R + m_{ТСУ}) + F_y \cdot l_o}{L}, \quad (1)$$

где

$$m_{ТСУ} = (a_n \operatorname{tg} \theta - H_{ТСУ}) \cos \theta. \quad (2)$$

Чем больше величина отклоняющего создаваемого орудием относительно контакта заднего колеса с почвой тем больше деформации шин колес и вертикальные перемещения ТСУ.

При дифференте трактора назад $\varphi = 2^0$ и деформация шин задних колес $f_3 = 30 \dots 35$ мм вертикальное перемещению ТСУ

$$f_{ТСУ} = f_3 + l_0 \sin 2^0 \approx 55 \dots 60 \text{ мм}.$$

При верхнем положении ТСУ угол наклона прицепного устройства равен $\gamma_{\max} = 14,5^0$, при нижнем $\gamma_{\min} = 6,0^0$.

С увеличением величины деформации задних шин f_3 , дифферента φ и продольного расстояния l_0 перемещение $f_{ТСУ}$ увеличиваются.

При верхнем расположении тяговой вилки возможный дифферент трактора назад больше, чем при нижнем.

Реальный дифферент трактора назад ограничивается из-за «защемления» (сжатия) прицепного устройства с/х машины, вызванного вертикальным перемещением тяговой вилки. Воздействие дифферента приводит к появлению дополнительного усилия $\Delta T_{ТСУ}$ в прицепном устройстве и силы F_y .

У трактора, при дифференте назад, внешняя сила F_y направлена вниз, вызывая соответствующее перемещение оси крепления прицепного устройства на раме орудия и появление в контакте рабочих органов с почвой паразитной силы $R_{yx}^S = \Delta T_{ТСУ}$, параллельной прицепному устройству.

Результирующая сила определится векторным сложением

$$\overline{R''_{yx}} = \overline{R_{yx}} + \overline{R_{yx}^S}. \quad (3)$$

Уравнения равновесия на примере дисковой бороны:

$$\sum x=0. \quad (T_{ТСУ} + \Delta T_{ТСУ}) \cos \gamma - R_x + R_{yx}^S \cos \gamma = 0. \quad (4)$$

$$\sum y=0. \quad R_y - Y'_H - Y''_H \pm T_y + G = 0 \quad (5)$$

Величину усилия $\Delta T_{ТСУ} = R_{yx}^S$ можно рассчитать, располагая жесткостными характеристиками систем «шина – почва» и «рабочий орган – почва». Если каждая названная жесткость – велика, а сдвиги в тангенциальном направлении колес и рабочих органов невозможны или малы, возникает упор последних в почву и частичное «зависание» задних колес трактора.

Если дифферент трактора назад невозможен из-за того, что сцепное устройство ограничивает относительные перемещения сельхозорудия, задние колеса частично разгружаются, что приводит к снижению тягово-сцепных свойств. В месте с тем возрастает вертикальная нагрузка на тягово-сцепное устройство трактора на величину $\Delta T_{ТСУ}$ при этом переменного знака.

Поэтому в прочностных расчетах при проектировании тягово-сцепного устройства трактора необходимо учитывать эту величину, т.к. её пиковые значения в 2–3 раза превосходят расчетную.

При обследовании механизмов и машин основные детали часто подвергаются воздействиям агрессивной среды, механическим усилиям и температурным воздействиям. Для повышения продолжительности ресурса эксплуатации и сокращения времени простоя машины используются различные методы. Проведенные исследования позволяют выделить из этих способов поверхностное упрочнение деталей при помощи высокоинтенсивных источников нагрева, применение которых позволяет реализовать процесс упрочнения деталей лишь на незначительную глубину.

В работе проведены исследования упрочнения нержавеющей и инструментальных сталей.

Для повышения износостойкости и увеличению сопротивляемости пластическому и хрупкому разрушению предлагается применить поверхностную термообработку детали (ПУ), как наиболее полно обеспечивающую оптимальное сочетание величины вязкости сердцевины с высокой поверхностной твердостью. Такое упрочнение реализуется путем локальной закалки при помощи быстро перемещающегося высокоинтенсивного высококонцентрированного источника тепла, а именно плазменной дуги, генерируемой плазмотроном постоянного тока мощностью 1,0 – 1,4 кВт.

Такое упрочнение деталей характеризуется рядом преимуществ:

- достаточно малой глубиной закалки (всего лишь в местах износа);
- при ПУ твердость поверхностного слоя заметно выше, чем при объемной закалке;
- отсутствие термических деформаций изготавливаемой детали благодаря локальности и кратковременности взаимодействия плазмы с поверхностью металла.

Разработанная установка состоит из плазмотрона постоянного тока, силового источника питания дуги, высокочастотного устройства поджига дуги, системы газоснабжения плазмотрона аргоном и азотом и системы водоохлаждения плазмотрона. Для перемещения плазмотрона с заданной скоростью создано специальное механическое устройство, реализующее плоскопараллельное движение упрочняемой детали относительно плазмотрона.

Плазменная закалка производилась при токах дуги $I = 6\text{--}32$ А и использовании в качестве плазмообразующего газа аргона, а в плазмотроне

Кроме того, увеличение концентрации олова в β -фазе вызывает уменьшение отношения c/a и увеличение ее объема элементарной ячейки V .

Табл. 1. Параметры структуры быстрозатвердевших сплавов системы индий – олово

Концентрация олова, ат. %	Фазы	Параметры структуры			
		a , нм	c , нм	c/a	$V, 10^{-5}$, нм ³
12	$\alpha+\beta$	0,3423	0,4489	1,311	5260
14	β	0,3429	0,4487	1,303	5276
17	β	0,3443	0,4477	1,300	5307
22	β	0,3460	0,4472	1,292	5360
28	β	0,3464	0,4466	1,289	5366
32	$\beta+\gamma$	0,3464	0,4466	1,289	5359
36	$\beta+\gamma$	0,3464	0,4458	1,287	5349

Быстрозатвердевшие фольги исследуемых сплавов являются текстурированными. В табл. 2 приведены полюсные плотности дифракционных отражений β -фазы. Наибольшим значением полюсной плотности характеризуются дифракционное отражение 202. Таким образом, в фольгах β -фазы формируется текстура (101). На ее долю приходится не менее 75 % объема фольги.

Табл. 2. Полюсные плотности дифракционных отражений β -фазы

Дифракционные отражения	Концентрация олова, ат. %						
	12	14	17	22	28	32	36
002	0,4	0,1	0,4	0,2	0,0	0,1	0,7
102	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
200	0,9	0,3	0,7	0,3	0,4	0,1	2,3
201	0,8	0,3	0,2	0,7	0,1	0,7	1,5
202	3,7	5,3	4,6	4,7	5,5	5,1	1,4
220	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Образование текстуры (101) обусловлено тем, что расстояние между плоскостями (101) является наибольшим, что обеспечивает наибольшую скорость роста тех зерен, у которых указанные плоскости совпадают с межфазной границей кристалл-расплав и перпендикулярны направлению теплоотвода. Появление в фольгах частиц α -фазы и γ -фазы вызывает ослабление или исчезновение текстуры (101).

УДК 621.833.68

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАВНОРЕГУЛИРУЕМОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ В СОСТАВЕ МАШИННОГО АГРЕГАТА

А.З. ИОФФЕ, С.В. СТЕПАНЕНКО, А.С. АЛЕКСАНДРОВ

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

Любой машинный агрегат содержит двигатель, рабочий орган и кинематико-динамический преобразователь, назначение последнего состоит в согласовании работы двигателя и рабочего органа, то есть потребитель с помощью этого устройства должен получить от двигателя механическую энергию требуемого качества.

Известно, что в большинстве случаев оптимальной для рабочего органа является характеристика, имеющая гиперболический характер для момента при постоянной потребляемой мощности, что соответствует характеристике так называемого двигателя постоянной мощности. Реально достижимая оптимальная характеристика не совпадает с теоретической и ордината точки ее пересечения с осью ординат соответствует стоповому моменту $M_{ст}$ при нулевой скорости выходного вала, обеспечивающему работу в «стоп-режиме». Это важнейшее свойство, необходимое для эффективной работы рабочего органа в динамическом режиме.

Сказанное даёт основание для двух направлений совершенствования машинного агрегата – это создание и совершенствование двигателей или кинематико-динамических преобразователей.

Совершенствование двигателей нельзя назвать успешным. Из тепловых двигателей самым распространённым остаётся двигатель внутреннего сгорания, который не может непосредственно обеспечить «стоп-режим», так как не работоспособен при малых скоростях и требует сложных и дорогих кинематико-динамических преобразователей, таких как, например, фрикционная муфта с многоступенчатой коробкой передач, в которой имеет место прерывание передачи потока энергии; гидротрансмиссии, для которой характерны потери более 20 % или электротрансмиссии, которая металлоёмка и имеет высокую стоимость.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о необходимости создания в качестве кинематико-динамического преобразователя дешёвого, экономичного, надёжного и компактного механического вариатора, который способен обеспечивать «стоп-режим» и варьировать, т. е. плавно изменять скорость и момент без прерывания потока передаваемой мощности.

В технической литературе высокомоментным вариатором называют вариатор, конструкция которого позволяет эффективно передавать мощ-

ность более 50 кВт при приемлемом значении коэффициента неравномерности. При этом вариаторы делятся на фрикционные и нефрикционные. Во фрикционных вариаторах передача вращения осуществляется силами трения (касательными силами), для создания которых контактная нагрузка между фрикционными парами должна быть в 10–25 раз выше рабочей, что является препятствием к созданию фрикционных высокомоментных вариаторов.

Нефрикционными вариаторами, в соответствии с определением академика А. А. Благонравова, называют такие, в которых кинематические пары имеют голономные связи. В этом случае рабочие нагрузки передаются нормальными силами, что даёт основание для реализации высокомоментного вариатора.

Рассматривая теоретически вопрос о конструкции вариатора, детали которого имеют только голономные связи, последователи А. А. Благонравова пришли к выводу об обязательном наличии в такой конструкции действующего от входного вала колебательного механизма с колебательным валом и выпрямителя, преобразующего колебания в однонаправленное вращение выходного вала. Варьирование передаточного отношения достигается изменением размаха колебаний вала, а выпрямитель должен иметь нефрикционные обгонные муфты.

Эта конструкция вариатора представляется прежде всего конструктивно сложной и альтернативой ей может служить созданная на кафедре «Основы проектирования машин» университета планетарная плавнорегулируемая передача, основанная на принципиально другой основе.

Эта передача является разновидностью двухколесной планетарной зубчатой передачи типа К–Н–V, и ее конструкция сформирована в результате замены цельного центрального зубчатого колеса составным полисекторным, способным изменять собственный условный начальный диаметр. К настоящему времени в результате проведенных теоретических исследований сформулированы и решены задачи синтеза и анализа составного полисекторного центрального колеса, что позволяет оценивать основные параметры как самого колеса, так и передачи в целом по некоторым исходным данным, представляющим собой содержание проектной задачи. Изготовлены и опробованы два макета этой передачи. Компонентные возможности и конструкция плавнорегулируемой передачи позволяют получать требуемые значения диапазона регулирования, обеспечивая более широкую область этих значений, чем известные аналоги. Благодаря своим кинематическим характеристикам и конструктивным параметрам описанная передача может служить основой создания коробок передач для трансмиссий грузовых автомобилей, а также может быть использована в плавнорегулируемых приводах различного технологического назначения.

УДК 669.87: 548.785

СТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕЙ β -ФАЗЫ СИСТЕМЫ ИНДИЙ – ОЛОВО

ВАН ЦИНЦЗЕ, В.Г. ШЕПЕЛЕВИЧ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

В системе индий – олово наблюдается образование двух фаз (β и γ) переменного состава. Область существования β -фазы определена достаточно точно. Так, при комнатной температуре область существования сплава в виде β -фазы находится в интервале изменения концентрации индия от 14 до 30 ат. %. Но при получении сплавов методом высокоскоростного затвердевания возможно отклонение их параметров структуры от параметров структуры сплавов, полученных при кристаллизации в условиях близких, к равновесным. В связи с этим были проведены исследования фазового состава, параметров кристаллической решетки и микроструктуры сплавов индия, содержащих от 12 до 36 ат. % олова.

Сплавы получены сплавлением компонентов в кварцевых ампулах. Затем из них получены фольги путем кристаллизации капли расплава на внутренней полированной поверхности быстровращающегося медного цилиндра. Скорость охлаждения расплава составляла не менее 10^5 К/с. Для определения фазового состава, параметров кристаллической решетки и текстуры фольг применялся рентгеноструктурный анализ. Исследования фольг проводились на дифрактометре ДРОН – 3 с использованием медного излучения, которое падало на их поверхность, контактирующую с кристаллизатором. Параметры кристаллической решетки β -фазы определялись по положению дифракционных отражений 301 и 104. Текстура фольг изучалась методом обратных полюсных фигур. Полюсная плотность дифракционных линий 002, 102, 200, 201, 202 и 220 рассчитывалась по методу Харисса.

Фазовый состав быстрозатвердевших фольг сплавов системы индий – олово и параметры кристаллической решетки β -фазы приведены в табл. 1. Фольга сплава In – 12 ат. % Sn состоит из двух фаз: твердого раствора на основе индия (α -фазы) и β -фазы. Быстрозатвердевшие сплавы, содержащие от 14 до 28 ат. % Sn, состоят только из β -фазы. В быстрозатвердевших фольгах сплавов, содержащих не менее 32 ат. % Sn, кроме β -фазы, дополнительно образуются выделения γ -фазы. При увеличении концентрации олова в β -фазе наблюдается монотонное изменение параметров кристаллической решетки. Параметр a увеличивается, а параметр c уменьшается.

Н.М. БОБКОВА, Е.В. ПЕЧЕНЬ, Е.Е. ТРУСОВА

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Беларусь

Среди неорганических материалов оксидные структуры занимают особое место вследствие широкой распространенности в природе и уникальных во многих случаях функциональных свойств. В оптических технологиях наибольшее распространение получили силикатные стекла, которые служат для создания оптических элементов и находят разнообразное применение для деталей оптоэлектроники и нелинейной оптики, открывая возможности управления оптическими свойствами за счет регулирования химического состава как самого стекла, так и дополнительных компонентов. Инкорпорированные в стекло оксиды тяжелых металлов принципиально изменяют свойства стекла, позволяя придавать ему новые функциональные параметры. В рамках наших разработок представляют интерес стекла, содержащие оксиды церия и висмута, в результате присутствия которых стекла приобретают требуемые оптические характеристики в УФ и видимой части спектра и могут быть использованы для изготовления светофильтров, отсекающих УФ область спектра.

Такие стекла синтезированы на основе алюмосиликатной стеклообразующей системы, модифицированной щелочными и щелочноземельными элементами, при введении в их состав CeO_2 и Bi_2O_3 в широком интервале концентраций. Синтез стекол осуществлялся в газовой печи при 1450°C с выдержкой при максимальной температуре 2 часа. Получены стекла, которые по своим физико-техническим свойствам соответствуют оптическим стеклам, используемым для изготовления светофильтров.

Характерными особенностями спектров полученных стекол является резкий край оптического поглощения в УФ области спектра (стекла непрозрачны в диапазоне длин волн 160–300 нм) и высокая прозрачность (до 90 %) в видимой и ближней ИК области спектра до 1100 нм. Форма спектров поглощения при разном соотношении $\text{CeO}_2/\text{Bi}_2\text{O}_3$ изменяется незначительно, но наблюдается смещение края полосы поглощения при увеличении содержания CeO_2 до 5 мас. %. При этом незначительно уменьшается крутизна спектров и появляется характерное желтое окрашивание. Показано, что соотношение количеств CeO_2 и Bi_2O_3 , вводимых в стекла, является эффективным средством управления их спектральными характеристиками.

Разработанные стекла могут быть рекомендованы для изготовления светофильтров, отсекающих УФ область, применяемых в различных отраслях оптоэлектронной промышленности.

А.З. ИОФФЕ, А.М. ДАНЬКОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

По методу трансформирования и передачи крутящего момента трансмиссии современных транспортных средств разделяют на электромеханические, гидромеханические и механические.

Механическая трансмиссия (простая и планетарная) в коробке передач содержит лишь фрикционные и зубчатые передачи. Достоинства их состоят в достаточно высоком КПД, малой массе и компактности, надёжности в работе, сравнительной простоте в эксплуатации и производстве. Изъяном механических трансмиссий является ступенчатость изменения передаточного числа, что снижает эффективность работы двигателя, скорость и управляемость машины. Сравнительно большое время на перевод и переключение передач нередко усложняет управление автомобилем.

Гидромеханическая трансмиссия имеет гидромеханическую коробку передач, в состав которой входят гидродинамические преобразователи момента и механические передачи. Достоинствами этой трансмиссии являются автоматическое изменение крутящего момента в зависимости от сопротивления движению, автоматизация переключения передач, упрощение управления, фильтрация крутильных колебаний, снижение пиковых нагрузок, действующих на агрегаты трансмиссии и двигатель, увеличение надёжности, а также долговечности двигателей и самой трансмиссии.

Электромеханическая трансмиссия включает поршневой двигатель, электрический генератор и тяговой электродвигатель и обеспечивает автоматическое изменение крутящего момента в соответствии с изменением сопротивления движению.

В конструкциях транспортных средств большой мощности (свыше 400 кВт) применяют электромеханические трансмиссии с мотор-колесами. По этой схеме могут быть выполнены также гидромеханические трансмиссии. Мотор-колесо состоит из электродвигателя, корпус которого является несущим элементом (осью) для обода ведущего колеса с бескамерной шиной, и планетарного зубчатого редуктора, передающего вращение от вала ротора электродвигателя ободу колеса. Корпус электродвигателя подвешен к несущей раме транспортного средства на шарнирах, чем обеспечивается поворот мотор-колеса в плане относительно продольной оси машины вправо и влево. Таким образом, каждое колесо тягача является одновре-

менно ведущим и управляемым, что определяет высокую маневренность и проходимость машины.

Наиболее остроумный и интересный вариант электромеханической (гибридной) трансмиссии используется в автомобиле Lexus 400h, в котором бензиновый двигатель и электромотор расположены на одной оси и могут работать как совместно, так и порознь. Автомобиль ровно и без рывков ускоряется до 200 км / ч, причем трансмиссия не содержит не только вариатора, но и даже обычной коробки передач. Важнейшим элементом гибридной трансмиссии этого типа является планетарная передача Джемса. Тяговый электродвигатель жестко соединен с коронным зубчатым колесом и передними ведущими колесами. Бензиновый двигатель соединен с водилом, на котором закреплены сателлиты, а генератор соединен с солнечным зубчатым колесом.

Как видно, ни один из описанных видов трансмиссий не обходится без механических передач, а в гидромеханической и электромеханической трансмиссиях происходит двукратное преобразование вида энергии.

Достичь таких же показателей как в гидромеханической и электромеханической трансмиссиях, как показывают предварительные исследования, можно в трансмиссии на базе планетарной плавнорегулируемой зубчатой передаче. Основой предлагаемой конструкции передачи для такой трансмиссии является обладающая высокой преобразующей способностью двухколесная (эксцентриковая) планетарная передача, в которой центральное зубчатое колесо выполнено составным полисекторным, а величина эксцентриситета сателлита может изменяться. Хорошо известны составные полисекторные зубчатые колеса с внешними зубьями, начальный диаметр которых может изменяться в широком диапазоне значений. Следует оговориться: в случае составных полисекторных зубчатых колес с изменяемыми размерами речь может идти только об условном начальном диаметре, потому что при изменении положения образующих колеса секторов их (секторов) форма не изменяется. В данном случае создается возможность изменения начального диаметра колеса с внутренними зубьями. Это достигается в результате выполнения центрального колеса передачи из секторов, образующих два силовых потока, каждый из которых состоит, таким образом, из трех секторов. Сектора различных силовых потоков прижаты друг к другу торцами и смещены друг относительно друга на 60°. В зацеплении с центральным колесом 1 находится двухвенцовый сателлит. Он содержит идентичные зубчатые венцы, причем, один из них может упруго (благодаря, например, пластинчатым пружинам) смещаться относительно другого в окружном направлении на величину половины шага зубьев, что позволит избежать поломки зубьев при произвольных значениях условного начального диаметра центрального зубчатого колеса, когда окружной шаг между секторами может быть не кратен окружному шагу между их зубьями по дуге этой окружности.

тельно, способы воздействия на устойчивость силикатных стекол к фторсодержащим средам весьма ограничены. В данной работе была поставлена задача по определению оптимальных соотношений между ZrO_2 , P_2O_5 и F-ионами, обеспечивающих повышение устойчивости к реагентам фтористоводородной кислоты и изучение поведения опытных стекол во фторсодержащих средах. При этом электродные стекла должны хорошо спаиваться с корпусным стеклом ($TKLP\ 97 \cdot 10^{-7} K^{-1}$), иметь электрическое сопротивление при 25 °C и толщине мембраны 0,3 мм менее 1000 Мом и не допускать кристаллизации при обработке на газовой горелке.

В качестве основы для введения добавок выбрана $SiO_2-La_2O_3-Li_2O-K_2O (Cs_2O)$ стеклообразующая система, в которую вводились ZrO_2 , P_2O_5 и F в количестве до 5 мол. % при их переменном соотношении. Синтез стекол осуществлялся в корундовых тиглях при 1300 °C в газопламенной печи с выдержкой при максимальной температуре 1 час. Все стекла хорошо проварились и осветлились. Исследование кристаллизационной способности показало, что все стекла характеризуются узким интервалом кристаллизации при 850–930 °C, выше которого наблюдается полное растекание без признаков кристаллизации. Полученные данные обеспечивают возможность обработки стекол на газовой горелке при выдувании шарика из расплавленного стекла и спаивании его с корпусным стеклом.

$TKLP$ исследуемых стекол изменяется в интервале $(100-110)10^{-7} K^{-1}$, что обеспечивает согласованность $TKLP$ с корпусным стеклом (разница не превышает 15 %). Максимальное влияние на величину $TKLP$ оказывает P_2O_5 , что ограничивает возможность увеличения его содержания более 5 мол. %.

Наиболее высокие потери массы стекла при выдержке в 0,1 н растворе HF характерны для фторсодержащих составов, а наименьшие – для цирконийсодержащих и безфтористых фосфорсодержащих стекол. При выдержке свыше 7 суток (168 часов) процесс идет при интенсивном затухании растворения и потери массы практически далее не изменяются вплоть до 500 часов выдержки в растворе HF. То есть скорость стравливания не только постепенно снижается, но и весь процесс приостанавливается. Естественно предположить, что на поверхности образцов образуется защитный слой, препятствующий дальнейшему разрушению стекла. При этом следует отметить, что процент потери массы при воздействии HF на стекла остается достаточно низким и стекла могут длительное время работать в контакте с растворами HF при заданной концентрации 1000 мг/л. Наибольшую активность проявляет ZrO_2 , существенно повышающий устойчивость стекол. По сравнению с ZrO_2 , введение P_2O_5 достаточно ощутимо, но в меньшей степени, влияет на потери масс. Наименьшее воздействие на устойчивость стекол оказывает введение фтора как по сравнению к ZrO_2 , так и P_2O_5 . Наиболее устойчивые стекла лежат в области составов, содержащих ZrO_2 2–3 мол. %, P_2O_5 2– 4 мол. % при введении фтора до 1 мол. %.

УДК 666.01

ПОЛУЧЕНИЕ СТЕКОЛ, УСТОЙЧИВЫХ К ФТОРСОДЕРЖАЩИМ СРЕДАМ, ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ pH-МЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Н.М. БОБКОВА, О.А. БУЙДЕНКОВА, Е.Е. ТРУСОВА

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Беларусь

Создание стекол, устойчивых к фторсодержащим средам, для изготовления рабочей части стеклянного электрода pH-метрических приборов на основе силикатных систем является весьма проблематичной задачей. Используемые в настоящее время такие стекла быстро теряют свои электродные свойства в период эксплуатации, не обеспечивая необходимый срок службы электрода. Подобное явление обусловлено тем, что силикатные стекла характеризуются низкой устойчивостью к растворам HF. По характеру воздействия на них растворов HF и фторидов силикатные стекла относятся к реагентам второй группы, устойчивость которых в 100 раз ниже, чем для реагентов первой группы (воде и кислотам). Растворы HF и фториды разрушают непосредственно кремнекислородный каркас стекла, в результате чего полностью удаляются поверхностные слои. При этом скорость стравливания остается постоянной во времени. На таком механизме основан принцип травления стекол. Растворы HF активно взаимодействуют не только с кремнекислородной основой, но и со щелочными и другими модификаторами. В результате чего наступает быстрое разрушение стекла.

Среди соединений, которые могут повысить устойчивость силикатных стекол к фторсодержащим средам, особое место занимает ZrO_2 , повышающий химическую устойчивость практически ко всем реагентам. Однако, введение ZrO_2 более 2 мол. % в электродные стекла приводит к ухудшению их электродных характеристик. Устойчивость к фторсодержащим средам проявляют и фосфатные стекла с содержанием P_2O_5 до 77 %. Однако введение P_2O_5 в силикатные стекла также ограничена из-за глушения последних вследствие ликвационных явлений и их структурной неоднородности. Интерес представляют и фторсодержащие соединения – фториды щелочных и щелочноземельных металлов, введение которых в силикатные стекла приводит к повышению устойчивости последних к фторсодержащим средам. Замещение части кислорода в структурной сетке стекла эквивалентным количеством фтора приводит к получению анионной составляющей смешанного типа. Но в общем случае влияние фторидов неоднозначно. Фтор способствует увеличению химической устойчивости малостойких стекол и наоборот снижает ее при введении в химически стойкие стекла. Для большинства стекол электродных составов введение фтора способствует снижению их водо-, кислото- и щелочестойкости. Следова-

УДК 621.9

О ПРИМЕНЕНИИ ПЛАНЕТАРНЫХ ПРЕЦЕССИОННЫХ ПЕРЕДАЧ В ПРИВОДАХ РАЗЛИЧНЫХ МАШИН

Е.Г. КРИВОНОГОВА, И.В. ТРУСОВ, Т.Г. ДОКОНОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования

«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Современные машины и механизмы все больше нуждаются в малогабаритных механических приводах, имеющих относительно высокий КПД и низкую себестоимость изготовления. Механические приводы, создаваемые на основе известных видов червячных и зубчатых передач, во многих случаях не отвечают вышеуказанным требованиям. Поэтому исследования, проводимые в направлении создания и разработки новых видов механических передач, являются актуальными. Одним из прогрессивных видов механических передач являются планетарные прецессионные передачи. Они выгодно отличаются малогабаритностью, компактностью, возможностью передачи крутящего момента с высокими коэффициентами редуцирования. Обработка пространственно-модифицированных зубьев сателлита ранее являлась единственной технологической операцией, требующей применения специальной оснастки. Значительные погрешности изготовления зубьев сателлита при их обработке с помощью указанных приспособлений позволяли добиться лишь работоспособности прецессионных редукторов. Значение их виброакустических показателей находились на низком техническом уровне. С появлением новых технологий обработки зубьев сателлита изготовление всех деталей и сборка прецессионных редукторов возможна практически на любом машиностроительном предприятии, что, несомненно, способствует расширению областей их применения.

Ниже приведены несколько конкретных примеров внедрения прецессионных редукторов в приводы различных машин.

В рамках хозяйственного договора между ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» (г. Могилев) и ОАО «МИСОМ-ОП» (г. Минск) на основе технического задания была разработана конструкторско-технологическая документация и изготовлены экспериментальные образцы прецессионных мотор-редукторов для привода заглаживающей машины СО-170. В настоящее время на ОАО «МИСОМ ОП» ведутся работы по налаживанию серийного производства прецессионных мотор-редукторов для заглаживающей машины СО-170. Без применения новых технологий изготовления зубьев сателлита внедрение прецессионных мотор-редукторов в конструкции указанной выше машины было бы невозможно. Учитывая то, что годовая потребность указанных машин составля-

ет более 500 шт. годовой ожидаемый экономический эффект от внедрения прецессионных мотор-редукторов в привод заглаживающей машины СО-170 составит более 130 млн белорусских рублей. Разработан и находится на стадии согласования и подписания лицензионный договор на передачу Белорусско-Российским университетом предприятию ОАО «МИСОМ-ОП» «ноу-хау», касающееся предмета изготовления и сборки прецессионных редукторов.

В рамках договора о творческом сотрудничестве между ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» (г.Могилев) и ОАО «Казимировский опытно-экспериментальный завод» (г.Могилев) ведутся работы по внедрению прецессионных редукторов в привод нории. Нория предназначена для вертикального транспорта сыпучих материалов мелко и средне зернистых, а также россыпью в комочках с нижнего уровня на высший. Установка может транспортировать зерновые культуры и кукурузу, семена зернобобовых и масличных растений, фуражный корм и другие. Транспорт сырья происходит непрерывным способом с ручной либо механической загрузкой. Нория может быть приспособлена к работе в технологических линиях. Особенностью привода, используемого в нории, является то, что редуктор не должен иметь встроенный в его конструкции выходной вал. Крутящий момент передается на вал барабана, приводящего в движение ремень с ковшиками. 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. В рамках выше указанного договора была разработана конструкторско-технологическая документация и изготовлены два опытных образца прецессионных редукторов для привода нории. Результаты их предварительных испытаний позволили подтвердить верность вывода о перспективности внедрения прецессионных редукторов в конструкцию указанной выше установки.

Заинтересованность в практической реализации результатов исследовательской работы по направлению прецессионных передач выразило ОАО «НИИСтромавтолиния». Имеется договоренность с данным предприятием о сотрудничестве в разработке механизма открытия (закрытия) шиберных затворов в конвейерных линиях топливоподачи сырья, которыми комплектуются линии в котельных, работающих на местных видах топлива.

туры достигается значительно раньше. При этом форма кривой зависимости существенно не меняется.

При изучении термограммы, полученной в процессе распиливания сапфира при скорости $v=24,6$ м/с и нагрузке $P=0,65$ Н выявлено, что область максимальной температуры находится впереди контактной зоны. Такой эффект обусловлен аккумуляцией тепловой энергии в процессе резания в объеме материала, в то время как область контакта постоянно охлаждается потоками воздуха, которые захватываются распиловочным диском.

В отличие от сапфира скорость распиливания алмаза на порядок ниже. Обусловлено это высокой твердостью минерала.

В общем случае кривая зависимости максимальной температуры кристалла алмаза от времени имеет вид кривой с максимумом. В начале глубина внедрения диска мала и температура кристалла незначительно превышает температуру окружающей среды. По мере распиловки глубина внедрения диска в кристалл растет и увеличивается, соответственно, дуга контакта. В результате время взаимодействия поверхности, распиливаемого кристалла, и абразивных зерен возрастает, что и приводит к повышению температуры. Повышение температуры продолжается до тех пор, пока растет дуга контакта. После достижения максимума температура начинает снижаться за счет того, что дуга контакта после распиловки середины кристалла постоянно уменьшается.

Продолжительность распиливания и максимальная температура в контакте определяется напряженно-деформированным состоянием монокристалла алмаза. Экспериментально была зафиксирована средняя поверхностная температура ($T_{пов}$), превышающая 350°C . Выполненные ранее исследования по определению температуры вспышек ($T_{всп}$) в зоне трения, позволяют предположить, что при полученной $T_{пов}$, $T_{всп}$ на пятнах контакта может превышать температуру графитизации алмаза ($\sim 600^{\circ}\text{C}$).

Заключение. Установлено, что при распиловке сапфира и алмаза кинетические зависимости имеют вид кривой с максимумом. К тому же область максимальной температуры при распиловке сапфира находится не в зоне контакта диска с заготовкой, а на некотором расстоянии впереди неё. Связано это с накоплением тепла в объеме материала, в то время как зона резания постоянно охлаждается потоками воздуха, захватываемого распиловочным диском.

При распиливании алмаза наибольшее влияние на вид кривой зависимости максимальной температуры от времени оказывает длина дуги контакта распиловочного диска с кристаллом, поскольку от этого зависит время нахождения абразивных зерен в контакте с поверхностью. Температура на локальных участках контакта может превышать температуру графитизации алмаза ($\sim 600^{\circ}\text{C}$).

УДК 531.3/6:621.2
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ РАСПИЛОВКЕ АЛМАЗА И САПФИРА

Д.А. БЛИЗНЕЦ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА»
Гомель, Беларусь

Кристаллы кремния, германия, сапфира, алмаза, как компоненты оптических систем, находят свое широкое применение во многих отраслях промышленности, таких как электроника, приборостроение, оптическая и ювелирная.

Несмотря на то, что на сегодняшний день известно много способов разделения заготовок, наиболее распространенным остается метод механического распиливания тонким металлическим диском, шаржированным алмазным микропорошком. Данный процесс сопровождается интенсивным тепловыделением в зоне резания, которое значительно ухудшает качество получаемых деталей. Такая закономерность и обуславливает необходимость изучения тепловых полей в зоне контакта абразивного инструмента и заготовки.

Распиливание сапфира производилось на специально разработанной установке, состоящей из высокоскоростной машины трения и системы регистрации температурных полей. Распиловка алмазов осуществлялась по стандартной технологии на многосекционных станках ШП-2. Температурные поля в зоне резания регистрировались ИК-сканером IR Snap Shot модели 525.

Установлено, что зависимость максимальной температуры сапфирового образца от времени графически изображается кривой с максимумом. Объясняется такая зависимость влиянием конкурирующих факторов: аккумуляция тепловой энергии в объеме материала в начальный период времени и теплообмен сапфирового образца с окружающей средой и воздухом, захватываемым диском и проходящим в зазоре между образцом и абразивным инструментом.

В начальный момент времени первый фактор преобладает и происходит интенсивное накопление тепловой энергии в объеме образца и, соответственно, повышается температура. С течением времени увеличивается теплоотвод в окружающую среду и интенсифицируется теплообмен за счет конвекции воздушных потоков через зазор между сапфировым образцом и диском.

Нормальная нагрузка оказывает существенное влияние на интенсивность роста максимальной температуры в контакте. С увеличением нагрузки увеличивается теплообразование в зоне резания, и максимум темпера-

УДК 621.83.061.1
МОДЕРНИЗАЦИЯ ГЛАВНОГО ПРИВОДА ПРЕСС-АВТОМАТА
ФОРМОВКИ СИЛИКАТНЫХ КАМНЕЙ

М.П.КУЛЬГЕЙКО, В.П.ПЕТРОВСКИЙ, Е.Э. ДМИТРИЧЕНКО
Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»
Гомель, Беларусь

Применение зарубежной техники, прежде всего, стран дальнего зарубежья, вызывает определенные проблемы на предприятиях Республики Беларусь, решение которых усложняется по мере износа машин и механизмов. Это связано с такими вопросами, как сложность ремонта из-за неполной конструкторской документации на изношенные механизмы, узлы и детали; проблемы изготовления отдельных сборочных единиц в связи с несоответствием стандартов, принятых в стране-изготовителе и отечественных; относительно высокая стоимость комплектующих, поставляемых предприятием-изготовителем техники.

На предприятиях строительных материалов Республики Беларусь и других стран СНГ, специализирующихся на выпуске силикатных камней, эксплуатируется оборудование фирмы «Makrum» (Польша). Главный привод пресс-автомата формовки камней силикатных содержит червячный редуктор типа RSK-315/10, который в эксплуатации оказался недостаточно надежным из-за отказов в червячной паре.

Целью исследований является повышение надежности работы редуктора главного привода и снижение затрат на эксплуатацию пресса формовки силикатных камней.

Для достижения поставленной цели рассмотрена возможность восстановления и повышения работоспособности пресса путем модернизации редуктора главного привода с применением технических решений в рамках действующих стандартов Республики Беларусь. Эффективность применения таких решений объясняется тем фактором, что в редукторах фирмы «Makrum» червячная пара выполнена с параметрами, отличающимися от стандартизированных в отечественной промышленности. Следовательно, восстановление работоспособности такого оборудования требует принятия нестандартных конструкторских и технологических решений, что, в свою очередь, требует дополнительных затрат времени и средств.

Редуктор типа RSK –315/10 используется в качестве второй ступени главного привода пресса модели 5420 формовки силикатных камней. Первой ступенью привода является клиноременная передача. На ведущем валу червячной передачи установлены сцепная муфта и тормоз. На ведомом валу редуктора установлена упругая втулочно-пальцевая муфта. Редуктор

работает в закрытом помещении с номинальной нагрузкой непрерывно в течении 10 час в сутки. Номинальный вращающий момент на выходном валу редуктора 5270 Н·м. Допускается кратковременная ударная перегрузка редуктора до 300 %. Червячная передача располагается в корпусе редуктора с межосевым расстоянием 315 мм.

С целью сокращения затрат на реконструкцию привода конструкторско-технологические работы производились с условием сохранения существующего межосевого расстояния и передаточного числа червячной передачи. При этом, решение технологических и конструкторских задач осуществлялось с учетом ряда альтернативных вариантов: с одной стороны – минимум затрат, связанных с выбором материала и метода получения заготовок, технологии механической и термической обработки, способов нарезания витков червяка и зубьев червячного колеса, выбором инструментальных материалов, проектированием и изготовлением режущих инструментов и т.п.; с другой стороны – обеспечением необходимой степени точности передачи, повышением прочности и износостойкости деталей, обеспечением условий смазки и исключением заедания при существующей скорости скольжения, необходимой точности зуборезного инструмента и т.п.

Теоретическое обоснование и расчет параметров червячной передачи выполнялся по нескольким вариантам для различных значений модуля и коэффициента диаметра червяка. Окончательный вариант из ряда возможных был принят по условиям жесткости, прочности, реализации зацепления (подрезания и заострения зубьев, одновременного зацепления числа зубьев, скорости скольжения и т.п.) червячной пары редуктора.

В результате выполнения комплекса теоретических и экспериментальных исследований решены следующие задачи:

- на основе анализа условий работы редуктора главного привода теоретически обоснованы и определены оптимальные кинематические и геометрические параметры червячной пары редуктора по условиям прочности, жесткости и реализации зацепления при сохранении исходного межосевого расстояния передачи;
- разработана конструкторская документация для изготовления деталей опытного образца модернизированного редуктора;
- спроектирована и изготовлена специальная червячная фреза для нарезания зубьев червячного колеса;
- изготовлены рабочие образцы деталей червячной пары, выполнен монтаж редуктора и проведены эксплуатационные испытания;
- разработаны технические рекомендации по эксплуатации редуктора.

В результате испытаний установлено повышение надежности работы пресса, снижение затрат на эксплуатацию и возможность импортозамещения технической продукции. Выполненные исследования позволили решить важную техническую проблему предприятий строительных материалов.

чением концентрации свинца в α -фазе параметры a и c , а также объем элементарной ячейки V_a возрастают, а отношение c/a уменьшается. Наблюдаемые зависимости a , c , V_a от состава вызваны тем, что металлический радиус атома свинца превышает металлический радиус атома индия.

Табл. 2. Зависимости a , c , V_a и c/a от концентрации свинца в α -фазе

Состав α -фазы	a , нм	c , нм	V_a , нм ³	c/a
In–15 ат. % Pb	0,3139	0,4482	0,04416	1,428
In–20 ат. % Pb	0,3153	0,4490	0,04464	1,424
In–25 ат. % Pb	0,3168	0,4504	0,04520	1,422

Полносные плотности быстрозатвердевших фольг α -фазы приведены в табл. 3. Наибольшее значение полусной плотности принадлежит дифракционной линии 202. Т.е. в фольгах исследуемой фазы формируется текстура (202). При этом текстура более сильно выражена со стороны фольга А, прилегающей к поверхности кристаллизатора, чем к свободной поверхности В. На долю данной текстуры приходится не менее 60 % объема фольги.

Таблица 3. Полносные плотности дифракционных линий быстрозатвердевших фольг α -фазы

Дифракционная линия	Состав α -фазы, сторона фольги					
	In–15 ат. % Pb		In–20 ат. % Pb		In–25 ат. % Pb	
	А	В	А	В	А	В
002	0,3	0,2	0,1	0,2	0,0	0,4
110	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3
112	0,3	0,6	0,1	0,3	0,1	0,7
200	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,6
103	0,2	0,3	0,1	0,3	0,0	0,5
202	4,7	4,5	5,6	4,7	5,7	3,5

Таким образом, α -фаза имеет тетрагональную решетку, ее параметры с увеличением концентрации свинца растут, а в быстрозатвердевших фольгах формируется текстура (202).

О.Н. БЕЛАЯ, В.Г. ШЕПЕЛЕВИЧ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. М. Танка»
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Индий активно взаимодействует со многими элементами, образуя химические соединения, некоторые из них, например, антимод индия, находит широкое применение в электротехнике и приборостроении. Получение новых соединений на основе индия, исследование его структуры и свойств имеет научное и практическое значение. В данном сообщении представлены результаты исследования структуры и микротвердости быстрозатвердевших фолыг α -фазы на основе индия и свинца, содержащих от 15 до 25 ат. % Pb.

Быстрозатвердевшие фолыги исследуемых сплавов получены кристаллизацией капли расплава на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра. Линейная скорость кристаллизатора 15 м/с. Скорость охлаждения расплава порядка $10^3...10^6$ К/с. Рентгеноструктурные исследования выполнены на установке ДРОН-3 в медном излучении. Текстура фолыг исследовалась методом обратных полюсных фигур. Полюсная плотность дифракционных линий определялась по методу Харриса. Микротвердость измерялась на приборе ПМТ-3 с использованием нагрузки 2 г.

На рентгенограмме α -фазы, содержащей 25 ат. % Pb, наблюдался ряд дифракционных линий. В табл. 1 представлены угловые положения дифракционных линий, рассчитанные по формуле Вульфа-Брегга, соответствующие межплоскостные расстояния. В этой же табл. 1 приведены индексы дифракционных линий.

Табл. 1. Угловые положения дифракционных линий θ , межплоскостные расстояния d и индексы дифракционных линий

$\theta, ^\circ$	16,30	18,40	19,90	26,50	27,60	31,75	33,00	34,00	45,40
$d, \text{нм}$	2,747	2,442	2,265	1,728	1,664	1,465	1,384	1,379	1,083
Индексы	101	002	110	112	200	103	211	202	123

Исходя из положения дифракционных линий установлено, что α -фаза является тетрагональной. Ее параметры a и c приведены в табл. 2. С увели-

А.В. ЛОКТИОНОВ, В.Г. БУТКЕВИЧ, О.И. ФЁДОРОВА
Учреждение образования
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Витебск, Беларусь

Широкое распространение в текстильной промышленности получили различные виды многокомпонентных нитей. Одними из этих нитей являются фасонные нити (узелковые, петлистые и др.). Среди материалов, из которых производятся многокомпонентные фасонные нити – шерсть, хлопок, акрил, вискоза, шелк, лен, лайкра и др. В составе нити эти компоненты могут сочетаться в различных пропорциях. Изделия, полученные из многокомпонентных фасонных нитей, обладают повышенной гигроскопичностью, теплоемкостью и мягкостью.

Одним из перечисленных типов многокомпонентных фасонных нитей является нить букле. Она изготовлена с использованием сердечника и одной или нескольких текстильных нитей, вокруг которых другая нить обвивается спиралью. Как правило, эти верхние нити полностью закрывают сердечник, но в некоторых случаях витки спирали находятся на расстоянии. Из букле получают объемные, теплые изделия, причем состав входящих полуфабрикатов может быть различным.

В технологическом процессе получения многокомпонентных фасонных нитей объединение различных по характеру волокон придает нити особые, специфические свойства, что позволяет значительно расширить область её применения. Предложенная технология и оборудование для её реализации позволяет на базе машины ПК-100 получить многокомпонентные фасонные нити с самыми разнообразными сочетанием входящих компонентов.

Рекомендуемая модернизация машины ПК-100 заключается в том, что на неё устанавливается второе полое веретено и обеспечивает вращение его в обратную сторону, причем частота вращения снижена на 30 %. Это дает возможность получить равновесную нить. В результате последующая операция запаривания из операции исключается. Предложенная технология позволяет значительно снизить энергоемкость производства нити. В отличие от базовых технологий, использующих различные аэродинамические устройства, в ней используется воздух и, следовательно, не требуется дополнительные компрессора.

В устройстве для получения многокомпонентных фасонных нитей в качестве механизма формирования петель используется второе веретено.

Его применение позволяет осуществить быструю перенастройку машины на выпуск нитей другого вида, достичь требуемой формы петли и оптимального равномерного распределения петель по длине многокомпонентных фасонных нитей. Согласно предлагаемому способу получения нитей различной структуры (петлистые, узелковые, спиральные и др.) можно получать многокомпонентные нити линейной плоскости до 1300 текс. В качестве стержневого компонента можно использовать как химические нити, так и пряжу из натуральных и химических волокон.

Аналитическое описание технологических процессов получения нити позволило оценить влияние тех или иных факторов на качество нити и прогнозировать результаты переработки продукта. Установлено, что одной из основных задач при получении нити является формирование волокнистого полуфабриката требуемой формы и структуры. Нить при этом движется по формирующей поверхности по спирали с переменным шагом. Для разработки нового технологического процесса необходимо аналитически описать основные этапы формирования многокомпонентной фасонной нити. Описание ее движения позволило определить силы натяжения нити, что обеспечит снижение ее обрывности. Задача определения формы и натяжения вращающей нити имеет не только теоретический интерес, но и прикладное значение. Правильная заполняемость ворсового компонента позволяет получить нити требуемого качества. Рассмотрев, с учетом сопротивления среды, вращение гибкой нити вокруг формирующей поверхности круглой формы и, считая воздушную среду однородной, получены расчетные зависимости, позволяющие оценить оптимальность заполнения нитью ворсовой поверхности, получить нити требуемого качества, обеспечить формирование нитей линейной плотности 60-1300 текс со скоростью формирования до 10 м/мин.

С целью снижения обрывности технологического процесса в целом определено натяжение радиального участка обкручивающего компонента. Последний движется по спирали с переменным шагом. Установлено что для оптимальных режимов работы сила натяжения не превышает 0,75–0,8 разрывной нагрузки нити.

Автоматизации процесса формирования фасонных нитей с использование двух полых веретен проведено с использованием базовых элементов автоматики. На выпуске установлены механические датчики, которые в случае схода ворсового компонента или обрыва нити позволяют остановить машину. Электрические датчики контролируют подачу компонентов в зону формирования. Система автоматической подачи компонентов позволяет значительно сократить заправки и технологические остановки. Использование двигателей постоянного тока позволяет варьировать основные скоростные параметры и получить нити требуемых физико-механических показателей.

тод литья полых заготовок намораживанием без применения стержня, разработанный в ИТМ НАН Беларуси.

При литье по новому методу наружная поверхность отливки ограничивается металлической водоохлаждаемой формой – кристаллизатором, а внутренняя определяется только фронтом затвердевания и получается непосредственно из расплава. Эти особенности метода обеспечивают интенсивный односторонний теплоотвод от наружной поверхности отливки и обильное избыточное питание фронта затвердевания перегретым расплавом в течение всего времени формирования отливки в кристаллизаторе. Это исключает появление литейных дефектов в теле отливки и определяет получение плотной мелкодисперсной структуры. Отсутствие стержня обуславливает свободную усадку затвердевающей и охлаждающейся отливки, что исключает брак по горячим трещинам.

Узкий интервал кристаллизации (20 К) латуни определяет склонность к образованию столбчатой структуры транскристаллизации и разнотолщинности (полигональности) стенки отливки в поперечном сечении. Образованию и развитию этого явления может способствовать ряд причин: характер теплоотвода по периметру затвердевающей отливки, высокая температура заливки, ликвационные процессы на фронте затвердевания, характер гидродинамических потоков расплава в кристаллизаторе и др.

Для минимизации указанного недостатка были разработаны специальные мероприятия, обеспечивающие равномерность теплоотвода по периметру и его заданную интенсивность по высоте затвердевающей отливки. Определена оптимальная температура расплава и режим заливки, время формирования (выдержки) и другие параметры.

Установлено, что при температуре выпуска расплава из печи около 1100 °С, градиент температуры жидкого металла по длине канала металлопровода от заливочной чаши до входа в кристаллизатор составляет около 60 К/м. В конце процесса разлива (продолжительностью около 300 с) температура расплава перед входом в кристаллизатор составляла 926 °С, что на 18 К выше температуры ликвидуса сплава. Это обеспечило стабильное получение отливок с толщиной стенки около 25 мм при времени выдержки 48–50 с.

Структура отливок по толщине стенки была равномерная. Соотношение α и β фаз в структуре составляло 3:1. Размер зерна был в пределах 10–15 мкм. При этом предел прочности на растяжение составил 45,1–49,2 кг/мм², твердость 140–143 НВ, что полностью соответствует заданным требованиям.

Таким образом установлена возможность получения полых отливок из сложнелегированной латуни методом намораживания без применения стержня с толщиной стенки 25–27 мм и высоким комплексом механических свойств.

В.Ф. БЕВЗА, В.П. ГРУША

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

Целью настоящей работы было определение возможности получения полых заготовок наружным диаметром 110-120 мм с толщиной стенки более 25 мм из многокомпонентной латуни следующего химического состава, %: Cu – 56–60; Zn – 36–38; Mn – 2,1–2,5; Fe – 0,7–0,9; Al – 0,7-1,3; Ni – 0,7–0,9; Pb – 0,2–0,3. При этом отливки должны иметь предел прочности на растяжение не менее 45 кг/мм², твердость не менее 140 НВ.

Комплексное легирование латуней позволяет существенно улучшить их механические и технологические свойства. Железо задерживает рекристаллизацию и измельчает зерно. Особенно благоприятное действие оно оказывает на латуни в сочетании с марганцем, никелем и алюминием. Такие латуни отличаются высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Марганец также повышает механические и, при наличии свинца, антифрикционные свойства и коррозионную стойкость. Свинец улучшает антифрикционные, но ухудшает механические свойства.

Из научно-технической литературы известно, что на механические свойства отливок из латуни значительное влияние оказывает также способ литья, причем лучшими свойствами обладают отливки, полученные литьем в кокиль.

Однако, как показал анализ, прочностные характеристики латуни ЛЦ 37 Мц2 НЖА, имеющей, в основном, такой же химический состав, как и приведенный выше, даже при литье в кокиль имеют более низкие значения, чем требуется. Предел прочности на разрыв – 40 кг/мм², твердость – 85 НВ. Указанные значения регламентированы ГОСТом 17711–72. Таким образом, несмотря на высокую легированность латуни, решение задачи получения отливок с заданными свойствами традиционными способами литья было весьма проблематично.

Известно, что для получения повышенных прочностных характеристик литого материала необходимо создать такие условия затвердевания металла, которые обеспечивали бы получение мелкодисперсной плотной структуры отливок без литейных дефектов: раковин, пористости, неметаллических включений и т.п. Наиболее полно этим требованиям отвечают технологии литья, основанные на принципе направленности затвердевания металла. В связи с этим для решения поставленной задачи был выбран ме-

М.Е. ЛУСТЕНКОВ

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

КПД шариковых и роликовых подшипников качения, как правило, имеют высокие значения и при инженерных расчетах потерями мощности в опорах качения пренебрегают. Однако анализ причин и характера разрушения подшипников различных агрегатов свидетельствует о необходимости изучения этого процесса, так как выходу из строя подшипника предшествует резкое повышение момента трения. Своевременная замена подшипников позволила бы избежать момента его полного разрушения, которое зачастую приводит к заклиниванию механизмов и повреждению других взаимосвязанных узлов. Целью данной работы являлась разработка метода предупреждения полного разрушения опор качения, а основной задачей – установление взаимосвязи между потерями мощности в радиальных открытых подшипниках качения и кинематическими характеристиками его звеньев.

На основе проведенных теоретических исследований была получена зависимость для определения суммарных потерь мощности $\Pi_{\text{сумм}}$ в подшипнике, складываемых из потерь мощности на трение скольжения Π_c и трение качения Π_k :

$$\Pi_{\text{сумм}} = \Pi_k + \Pi_c = \left[\frac{P\pi}{30 \left(1 + \sum_{i=1}^m 2\sqrt{\cos^5(\gamma \cdot i)} \right)} \left(1 + 2 \sum_{i=1}^m \sqrt{\cos^3(\gamma \cdot i)} \right) + \frac{m_w z \pi^2 n_3^3 R_0}{27000} \right] \times$$

$$\times \left[\delta \left(\left| \frac{0,5}{r_w} (-n_1(R_0 - r_w) + n_2(R_0 + r_w)) - n_1 \right| + \left| \frac{0,5}{r_w} (-n_1(R_0 - r_w) + n_2(R_0 + r_w)) - n_2 \right| \right) + \right.$$

$$\left. + 2f(n_3 R_0 - 0,5(n_1(R_0 - r_w) + n_2(R_0 + r_w))) \right]$$

где P – радиальная нагрузка на подшипник; n_1 , n_2 и n_3 – частоты вращения внутреннего кольца, наружного кольца и сепаратора соответственно; r_w – радиус тела качения; R_0 – радиус окружности расположения центров тел качения; m_w – масса тела качения; γ – угловой шаг расположения тел качения ($\gamma = 2\pi/z$, z – число шариков или роликов); m – половина нагруженных тел качения ($m = z/4$, с округлением в меньшую сторону).

КПД пары подшипников, установленных на валу, определяется по формуле: $\eta = 1 - 2\Pi_{\text{сумм}}/\Pi_1$, где Π_1 – мощность, подведенная к валу.

М.Е. ЛУСТЕНКОВ, Л.Л. СМОРГОВИЧ, И.Ю. ХАДКЕВИЧ

Государственное учреждение высшего профессионального образования

«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Каждый тип механических передач планетарного типа обладает определенными преимуществами и недостатками, которые и определяют их области использования. Авторами предлагается комбинирование традиционных зубчатых передач и передач с промежуточными телами качения. Задачей разработки является увеличение КПД гибридной передачи и ее кинематических возможностей.

Конструкция передачи предполагает, что в двухвенцовый сателлит планетарной зубчатой передачи встроена планетарная шариковая передача (ПШП), причем одно из трех основных звеньев ПШП (внутренний кулачок, наружный кулачок или вал с пазами) соединено с водилом, другое основное звено соединено с зубчатым венцом двухвенцового сателлита, который зацепляется с неподвижным центральным зубчатым колесом, а оставшееся основное звено соединено с зубчатым венцом двухвенцового сателлита, который зацепляется с центральным зубчатым колесом, соединенным с выходным валом. При этом зубчатые венцы двухвенцового сателлита имеют возможность относительного вращения.

Предлагаемая передача позволит сохранить высокий КПД при сравнительно больших передаточных числах. При этом у предлагаемой планетарной зубчато-шариковой передачи также сохраняется одно из основных преимуществ ПШП – малые габариты в радиальном направлении.

Например, для схемы с внутренним кулачком жестко закрепленным на водиле, наружным кулачком и валом с пазами с изготовленными зубчатыми венцами, при $Z_1=35$, $Z_3=48$, $Z_2=19$, $Z_4=32$ (индексы 1 и 2 – для венцов сателлита; 3,4 – для колес с внутренним зацеплением) и при отсутствии встроеной в двухвенцовый сателлит ПШП, передаточное отношение i составило бы 5,385. В предлагаемой планетарной зубчато-шариковой передаче с вышеуказанными параметрами и с числом периодов внутреннего и наружного кулачков 1 и 4, оно равно –56. При этом КПД в зубчатых зацеплениях больше 0,98, так как ее собственное передаточное отношение невелико. КПД ПШП при данной схеме составляет 0,9. Общее КПД предлагаемой передачи будет равно произведению КПД двух передач, зубчатой и шариковой, и составит 0,88. Если реализовать такое же передаточное число, равное 56 в зубчатой передаче без ПШП, его КПД составил бы 0,78, что значительно ниже КПД предлагаемой передачи

Для высокотемпературного спекания используется электропечь для спекания на воздухе Supertherm HT 32/16 немецкой фирмы Nabertherm, имеющая следующие характеристики:

максимальная температура, °С – 1600

время набора максимальной температуры, мин – 25

объем рабочей камеры, л – 16

размеры рабочего пространства, мм – 200 x 300 x 600

Свойства керамики после каталитического удаления связующего и спекания на воздухе приведены в табл. 1.

Табл. 1 Свойства керамики на основе оксидов алюминия и циркония, полученной по СИМ технологии

Свойства	Единица измерения	Керамика на основе оксида алюминия	Керамика на основе диоксида циркония
Плотность	г/см ³	3,8–3,9	5,90–5,95
Модуль Юнга	ГПа	350–400	200–220
Предел прочности при изгибе	МПа	300–450	400–600
Коэффициент вязкости разрушения	МПа·м ^{1/2}	3,5–4,0	5–6
Твердость	HV	1500–2000	1350–1420
ТКЛР (20–1000 °С)	10 ⁻⁶ /К	7–8	9,3–11,0
Теплопроводность	Вт/м·К	25–30	2,7–3,5

Технология инжекционного формования керамики из ультрадисперсных и наноразмерных порошков имеет существенные технологические преимущества, в первую очередь, за счет оптимизации конструкции, структуры и свойств детали, возможности достижения высокой чистоты поверхности, точности допусков и размеров. Имеется возможность получать детали с минимальной толщиной сечения от 0,5 до 30 мм с допусками в пределах 0,1 мм на каждые 25 мм линейных размеров.

СИМ технология имеет большую перспективу и огромное преимущество при производстве деталей сложной формы с точными геометрическими размерами и большими объемами производства по сравнению с традиционными методами. Анализ номенклатуры нитепроводной гарнитуры, применяемой при производстве искусственных нитей (нитеводители, палочки, глазки, нитепроводники и др.), позволяет сделать вывод о перспективе их изготовления методом инжекционного формования из литевых составов Catamold AO-F и Catamold AO-H.

С.Г. БАРАЙ, Д.Р. ВИОЛЕНТИЙ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Технология инъекционного формования керамики (CIM-ceramic injection moulding технология) основана на использовании литья под высоким давлением термопластичных масс из высокодисперсных керамических порошков и полимерного связующего вещества, каталитическом удалении связующего в специальной печи для дебайдинга и окончательном высокотемпературном спекании.

Для получения керамики из оксидов применяются литьевые составы Catamold (АО-F, АО-H, ZTA-FB, TZP, TZP-F315) немецкой фирмы BASF, использующие в качестве основы ультрадисперсные порошки оксида алюминия или частично стабилизированного диоксида циркония, а в качестве связующего вещества полиацеталь – термопластичный полимер с высокими технологическими характеристиками.

В ГНУ «ИПМ НА Беларуси» для инъекционного формования используется установка Allrounder 170U 150-70 немецкой фирмы Arburg, имеющая следующие характеристики, определяющие размеры и свойства изделий:

максимальный объем впрыска, см ³	– 32
расстояние между плитами смыкания, мм	– 350
расстояние между колоннами, мм	– 170
давление впрыска, МПа	– 200
рабочая температура, °C	– до 200

Для каталитического удаления связующего используется специализированная печь типа TFE-60-2-е немецкой фирмы Stemet, имеющая следующие характеристики:

максимальная температура, °C	– 200
рабочая температура, °C	– 120–140
объем рабочей камеры, л	– 60
температура дожигания отработанных газов, °C	– 850
стандартное время цикла, ч	– 6
расход газа азота, м ³ /цикл	– 15
расход газа пропана, м ³ /цикл	– 18
расход катализатора (HNO ₃), мл/цикл	– 200–600

О.С. ЛЫСОВА, А.В.ЛОКТИОНОВ
Учреждение образования
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»,
Витебск, Беларусь

Робот-манипулятор IRB 1400 установлен на обувном предприятии «Марко» и предназначен для нанесения разделительной смазки на прессформу, в которой приливается полиуретановая подошва и заготовка верха обуви, одетая на колодку. В процессе исследований проанализирована работа робота при выполнении различных технологических операций, составлены расчетные схемы для определения скорости и ускорения центра схвата рассматриваемого промышленного робота. Получены формулы для определения скоростей и ускорений центра схвата робота-манипулятора IRB 1400 матричным методом в неподвижной системе координат. Вектор скорости $\vec{V}$ центра схвата в системе хуз определяется дифференцированием текущих координат по формуле:

$$\begin{aligned} \vec{v} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} = & (\dot{A}_\varphi \varphi A_{\theta_1} + A_\varphi \dot{A}_{\theta_1} \dot{\theta}_1) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ l_1 \end{pmatrix} + A_\varphi A_{\theta_1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{l}_1 \end{pmatrix} + \\ & + [(\dot{A}_\varphi \varphi A_{\theta_1} + A_\varphi \dot{A}_{\theta_1} \dot{\theta}_1) A_{\theta_2} + A_\varphi A_{\theta_1} \dot{A}_{\theta_2} \dot{\theta}_2] \begin{pmatrix} 0 \\ l_2 \\ 0 \end{pmatrix} + A_\varphi A_{\theta_1} A_{\theta_2} \begin{pmatrix} 0 \\ \dot{l}_2 \\ 0 \end{pmatrix} + \\ & + [(\dot{A}_\varphi \varphi A_{\theta_1} + A_\varphi \dot{A}_{\theta_1} \dot{\theta}_1) A_{\theta_2} A_{\theta_3} + (\dot{A}_{\theta_2} \dot{\theta}_2 A_{\theta_3} + A_{\theta_2} \dot{A}_{\theta_3} \dot{\theta}_3) A_\varphi A_{\theta_1}] \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ l_3 \end{pmatrix} + \\ & + A_\varphi A_{\theta_1} A_{\theta_2} A_{\theta_3} \begin{pmatrix} 0 \\ \dot{l}_3 \\ 0 \end{pmatrix} + [(\dot{A}_\varphi \varphi A_{\theta_1} + A_\varphi \dot{A}_{\theta_1} \dot{\theta}_1) A_{\theta_2} + A_\varphi A_{\theta_1} \dot{A}_{\theta_2} \dot{\theta}_2] A_{\theta_3} A_{\varphi_2} + \\ & + A_\varphi A_{\theta_1} A_{\theta_2} (\dot{A}_{\theta_3} \dot{\theta}_3 A_{\varphi_2} + A_{\theta_3} \dot{A}_{\varphi_2} \dot{\varphi}_2) \begin{pmatrix} x_8 \\ y_8 \\ z_8 \end{pmatrix}. \\ \vec{v} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} = & \begin{pmatrix} l_1 \cdot \cos \varphi \sin \theta_1 \\ l_1 \cdot \sin \varphi \sin \theta_1 \\ 0 \end{pmatrix} \dot{\varphi} + \begin{pmatrix} l_1 \cdot \sin \varphi \cos \theta_1 \\ -l_1 \cdot \cos \varphi \cos \theta_1 \\ -l_1 \cdot \sin \theta_1 \end{pmatrix} \dot{\theta}_1 + \\ & + \begin{pmatrix} \dot{l}_1 \cdot \sin \varphi \sin \theta_1 \\ -\dot{l}_1 \cdot \cos \varphi \sin \theta_1 \\ l_1 \cdot \cos \theta_1 \end{pmatrix} \dot{\varphi} + \begin{pmatrix} -l_2 \cdot \cos \varphi \cos \theta_1 \\ l_2 \cdot \cos \varphi \cos \theta_1 \\ 0 \end{pmatrix} \dot{\varphi} + \begin{pmatrix} l_2 \cdot \sin \varphi \sin \theta_1 \\ -l_2 \cdot \cos \varphi \sin \theta_1 \\ l_2 \cdot \cos \theta_1 \end{pmatrix} \dot{\theta}_1 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \begin{pmatrix} -\dot{l}_2 \cdot \sin \varphi \cos \theta_1 \\ \dot{l}_2 \cdot \cos \varphi \cos \theta_1 \\ \dot{l}_2 \cdot \sin \theta_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\dot{l}_3 \cdot \cos \varphi \sin \theta_1 \sin \theta_2 \\ -\dot{l}_3 \cdot \sin \varphi \sin \theta_1 \sin \theta_2 \\ 0 \end{pmatrix} \dot{\varphi} + \\
& + \begin{pmatrix} -\dot{l}_3 \cdot \sin \varphi \cos \theta_1 \sin \theta_2 \\ \dot{l}_3 \cdot \cos \varphi \cos \theta_1 \sin \theta_2 \\ -\dot{l}_3 \cdot \sin \theta_1 \sin \theta_2 \end{pmatrix} \dot{\theta}_1 + \\
& + \begin{pmatrix} \dot{l}_3 (\cos \theta_2 \sin \theta_3 \cos \varphi - \sin \theta_2 \sin \varphi) \\ \dot{l}_3 (-\sin \theta_2 \sin \theta_3 \cos \varphi + \cos \theta_2 \sin \varphi) \\ 0 \end{pmatrix} \dot{\theta}_2 + \\
& + \begin{pmatrix} -\dot{l}_3 \sin \theta_3 \cos \varphi \\ -\dot{l}_3 \sin \theta_2 \cos \theta_3 \cos \varphi \\ \dot{l}_3 \cos \theta_2 \cos \theta_3 \cos \varphi \end{pmatrix} \dot{\theta}_3 + \begin{pmatrix} \dot{l}_3 (\cos \varphi \cos \theta_2 - \sin \varphi \sin \theta_1 \sin \theta_2) \\ \dot{l}_3 (\sin \varphi \cos \theta_2 + \cos \varphi \sin \theta_1 \sin \theta_2) \\ \dot{l}_3 \cos \theta_1 \sin \theta_2 \end{pmatrix}.
\end{aligned}$$

Проекция вектора скорости центра схвата x, y, z на неподвижные оси координат XYZ имеют вид:

$$\begin{aligned}
\dot{x} = v_x &= \dot{\varphi} l_1 \cos \varphi \sin \theta_1 + \dot{\theta}_1 l_1 \sin \varphi \cos \theta_1 + \dot{l}_1 \sin \varphi \sin \theta_1 - \\
& - \dot{\varphi} l_2 \cos \varphi \cos \theta_1 + \dot{\theta}_1 l_2 \sin \varphi \sin \theta_1 - \dot{l}_2 \sin \varphi \cos \theta_1 - \\
& - \dot{\varphi} l_3 \cos \varphi \sin \theta_1 \sin \theta_2 - \dot{\theta}_1 l_3 \sin \varphi \cos \theta_1 \sin \theta_2 - \dot{\theta}_3 l_3 \sin \theta_3 \cos \varphi + \\
& + \dot{l}_3 (\cos \varphi \cos \theta_2 - \sin \varphi \sin \theta_1 \sin \theta_2) \\
\dot{y} = v_y &= \dot{\varphi} l_1 \sin \varphi \sin \theta_1 - \dot{\theta}_1 l_1 \cos \varphi \cos \theta_1 - \dot{l}_1 \cos \varphi \sin \theta_1 + \\
& + \dot{\varphi} l_2 \cos \varphi \cos \theta_1 - \dot{\theta}_1 l_2 \cos \varphi \sin \theta_1 + \dot{l}_2 \cos \varphi \cos \theta_1 - \\
& - \dot{\varphi} l_3 \sin \varphi \sin \theta_1 \sin \theta_2 + \dot{\theta}_1 l_3 \cos \varphi \cos \theta_1 \sin \theta_2 + \\
& + \dot{\theta}_2 l_3 (\cos \theta_2 \sin \theta_3 \cos \varphi - \sin \theta_2 \sin \varphi) - \dot{\theta}_3 l_3 \sin \theta_2 \cos \theta_3 \cos \varphi + \\
& + \dot{l}_3 (\sin \varphi \cos \theta_2 + \cos \varphi \sin \theta_1 \sin \theta_2) \\
\dot{z} = v_z &= -\dot{\theta}_1 \cdot l_1 \cdot \sin \theta_1 + \dot{l}_1 \cdot \cos \theta_1 + \dot{\theta}_1 \cdot l_2 \cdot \cos \theta_1 + \dot{l}_2 \sin \theta_1 - \\
& - \dot{\theta}_1 l_3 \sin \theta_1 \sin \theta_2 + \dot{\theta}_2 l_3 (-\sin \theta_2 \sin \theta_3 \cos \varphi + \cos \theta_2 \sin \varphi) + \\
& + \dot{\theta}_3 l_3 \cos \theta_2 \cos \theta_3 \cos \varphi + \dot{l}_3 \cos \theta_1 \sin \theta_2.
\end{aligned}$$

Модуль скорости центра схвата находится по формуле

$$v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}.$$

Модуль ускорения центра схвата находится по формуле

$$a = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2},$$

где $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$ – проекции вектора ускорения центра схвата на неподвижные оси координат XYZ.

Кинематические характеристики механизма необходимы для решения задач, связанных с прочностным расчетом, и оценки динамических свойств механизма. Для проведения силового расчета определяются силы инерции и силы сопротивления движению звеньев механизма, для чего должны быть известны полученные аналитические зависимости по расчету скорости и ускорения центра схвата работа.

УДК 621.7
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Л.Н. АФАНАСЬЕВ, *М.Н. ВЕРЕЩАГИН, Г.Г. ГОРАНСКИЙ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Учреждение образования
*«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О. Сухого»
Минск, Гомель, Беларусь

Исследовано влияние основных технологических параметров диспергирования (отношение масс размольных тел и размалываемой шихты, размер размольных тел, скорость вращения импеллера) на кинетику измельчения твердосплавной (ВК15) стружки, являющейся частью отходов РУП БМЗ.

Показано, что кусочки стружки (начальные размеры 3–6 мм) начинают интенсивно дробиться через 15–30 мин. помола (в зависимости от режимов), процесс измельчения выходит на стадию насыщения приблизительно через 3–3,5 часа. Получены порошки с удельной поверхностью 4,2 м²/г (выход указанной фракции – до 68 %).

Оптимальное соотношение масс размольных тел и размалываемой шихты составило 12,5–14. Наилучший размер размольных тел (твердосплавные циплексы) – 6–8 мм. Оптимальная скорость импеллера (для использованного атритора марки ДТГ-2) составила 140 об/мин.

Введение в рабочую камеру 15 % водного раствора поливинилового спирта (объем – 20 % объема размольных тел) целесообразно осуществлять на завершающей стадии помола (через 1,5 часа с момента начала диспергирования). В этом случае процесс ускоряется и получаемый полуфабрикат более однороден по гранулометрическому составу.

На разных режимах помола изготовлены экспериментальные пробы порошков общим объемом 68 кг.

Проведено нанесение на поверхность частиц плакирующего слоя бронзы путем химико-термической обработки в печи. Степень плакирования составила 48–62 %. Толщина слоя – 2–4 мкм.

Плакированные порошки спекались электроконтактным методом. Получены экспериментальные образцы таблеток с плотностью 14,6 г/см³, твердостью HRA 84,5, работой разрушения 28 МДж/м³, что открывает перспективы изготовления из порошковой шихты фильер для правки строительной арматуры.

Ведется разработка технологии газопламенного нанесения созданных порошков в виде покрытий на рабочие поверхности высоконагруженных узлов трения.

ходимо отметить что в работе [2] допущена опечатка в оцифровке шкалы: значения микротвердости изменяются от 80 до 150 кг/мм².

Табл. 1. Параметры электроосажденного под облучением никеля

Длина волны излучения	Толщина, мкм/ч	ВТ _к , %	H _{V2} , кг/мм ²	МКД, 10 ⁻²
контрольные	25±5	83	100	0,2
$\lambda = 0,194$ нм	25±5	90	115	0,552
$\lambda = 0,154$ нм	25±5	94	120	0,564
$\lambda = 0,070$ нм	25±5	98	130	0,578

Таким образом, действие рентгеновского излучения на электрокристаллизацию Ni на индифферентных катодах при плотности катодного тока $j = 1 \text{ A} / \text{дм}^2$ приводит к формированию равномерного, однородного осадка с повышенной микротвердостью и большим числом микродеформаций в сравнении с контрольными необлученными образцами, что обусловлено интенсификацией процесса электроосаждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин / В. М. Анищик [и др.] // Сб. науч. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. в 3 т. – Новополоцк: ПГУ, 2009. – Т. 1. – С. 81.
2. Влияние рентгеновского излучения на микротвердость никелевых гальванических покрытий / В.М. Анищик [и др.] // Актуальные проблемы физики твердого тела : сб. докл. Междунар. науч. конф, Минск, 20–23 окт. 2009 г.: в 3 т. / Инст. физ. тв. тела; редкол.: Н.М. Олехнович [и др.]. – Минск, 2009. – Т.2. – С.209

УДК 833.06

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДНЯТИЯ (ОПУСКАНИЯ) ЛЮДЕЙ И ГРУЗОВ

С.Д. МАКАРЕВИЧ

Учреждение

«МОГИЛЕВСКОЕ ОБЛАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЧС
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ» НПЦ
Могилев, Беларусь

Проведение аварийно-спасательных работ в условиях чрезвычайных ситуаций требует применения грузоподъемной техники. Мобильные краны выполняют в этом ключевую роль, однако их использование в стесненных условиях может быть затруднено и при необходимости работы под завалами требуются компактные средства для грузоподъемных работ. Одним из таких средств может выступать мобильное устройство, предназначенное для поднятия грузов из глубины, опускания и подъема людей при работе в шахтах или колодцах. Устройство состоит из механизма подъема, несущей части, представляющей собой треногу, блока, крюка, подъемного канала.

Целью работы являлось исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) несущей части устройства для поднятия грузов. В конструктивном исполнении несущая часть представляет собой пространственную раму, состоящую из трех телескопических ног, соединенных с оголовком в виде пластины. Верхняя часть ног выполнена из алюминиевого сплава, нижняя из стали 10. Опираение треноги осуществляется при помощи самоустанавливающихся в одной плоскости лап, расположенных в нижней части ног. Передача веса поднимаемого груза происходит через подпятник блока непосредственно на пластину и далее на опорные ноги.

Расчет несущей способности проводился для наиболее неблагоприятного варианта нагружения. Этот вариант реализуется в том случае, когда набегаящая и сбегаящая ветви подъемного каната расположены вертикально и при этом суммарная нагрузка на несущую часть будет равна удвоенному весу поднимаемого груза.

На начальном этапе было проанализировано НДС двух несущих конструкций, отличающихся местом установки направляющего блока. В первом варианте блок устанавливался не по центру сверху пластины и в ней выполнялось отверстие для пропускания каната. Второй вариант предполагал центральную установку блока снизу пластины. Анализ показал, что предпочтительным, с позиции нагруженности, является второй вариант, при котором происходит равномерное распределение нагрузок по опорным

ногам. Этот вариант был выбран в качестве базового для дальнейшего исследования.

Расчет проводился с использованием метода конечных элементов для следующих условий:

- нагружение статическое;
- удвоенная сила тяжести груза (20 кН) действует вертикально;
- толщина верхней стальной пластины 10 мм;
- сечение ног прямоугольное коробчатое (верхняя алюминиевая часть – 30x50 мм, нижняя стальная часть – 25x45 мм, толщина стенок ног – 2,5 мм).

Уровень максимальных напряжений в пластине составил около 300 МПа, в ногах – не более 12 МПа. Значения деформаций составили: для пластины – 0,74 мм; для алюминиевой части ног – 0,43 мм; для стальной – 0,12 мм.

Для ответственных конструкций расчет на прочность необходимо вести по допускаемым напряжениям. Приняв коэффициент запаса, равный трем, получаем значения допускаемых напряжений для элементов конструкции:

- для стали – 80 МПа;
- для алюминиевого сплава – 60 МПа.

Результаты вычислений показали, что часть конструкции (пластина) работает за пределом допускаемых напряжений, а ноги имеют пятикратный запас прочности. Это сделало целесообразным проведение оптимизационного расчета для подбора конструктивных размеров элементов. В качестве факторов варьирования были приняты:

- толщина пластины;
- ширина поперечного сечения алюминиевой части ног;
- высота поперечного сечения алюминиевой части ног.

Целевой функцией являлся объем, т.к. конструкция состоит из материалов различной плотности, функцией штрафа-величина допускаемых напряжений.

В результате выполнения оптимизационного расчета по критерию прочности получены следующие значения факторов варьирования:

- толщина пластины – не менее 19,7 мм;
- ширина поперечного сечения алюминиевой части ног – 15 мм;
- высота поперечного сечения алюминиевой части ног – 20 мм.

При этом происходит снижения объема конструкции с 0,0025 м³ до 0,00112 м³, т. е. почти в 2,5 раза, а уровень напряжений в элементах не превышает допускаемых значений. Расчет по критерию устойчивости формы конструкции также показал достаточный запас.

Таким образом, мобильное устройство для поднятия грузов может безопасно эксплуатироваться в реальных условиях при рассмотренных параметрах нагружения.

особенностями строения образцов. Микроморфология покрытий представлена рис. 1.

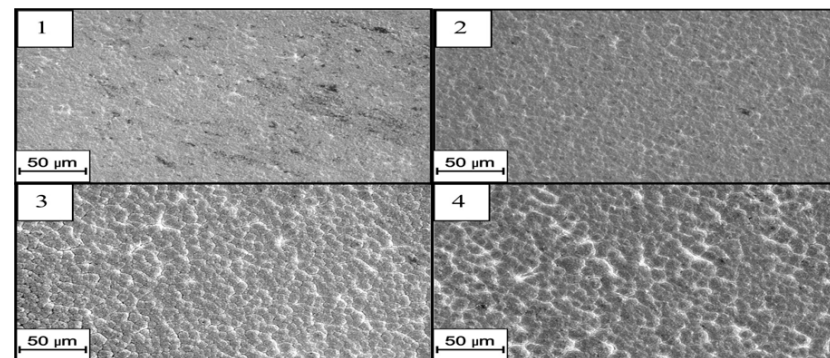


Рис. 1. Морфология поверхности никелевых пленок, полученных в поле излучения ($j = 1A/\partial m^2$): 1 – образцы, полученные в поле рентгеновского излучения $\lambda = 0,070$ нм; 2 – $\lambda = 0,154$ нм; 3 – $\lambda = 0,194$ нм; 4 – необлученные

Видно, что поверхность необлученных никелевых покрытий сильно развита и неоднородна.

В силу специфики процесса электроосаждения, при увеличении скорости осаждения металла должны формироваться покрытия, характеризующиеся высокой степенью напряженности. В табл. 1 представлены результаты исследования величины микродеформаций (МКД) для покрытий, сформированных под облучением различных длин волн и контрольные. Видно, что действие рентгеновского излучения на процесс осаждения никеля приводит к заметному возрастанию МКД в покрытиях, которое обусловлено уменьшением толщины диффузионного слоя вследствие интенсификации диффузии в электролите. Возрастание величины МКД с ростом энергии излучения должно сказываться на микротвердости никелевых покрытий. Результаты механических испытаний показали, что микротвердость никелевых облученных покрытий превышает микротвердость контрольного образца на соответствующих глубинах (табл. 1). Тем не менее, ощутимое влияние (30 %) на микротвердость пленок Ni, сформированных при плотности катодного тока $j = 1A/\partial m^2$, оказывает рентгеновское излучения с длиной волны $\lambda = 0,070$ нм. Однако для покрытий, полученных при $j = 1,5A/\partial m^2$, микротвердость возрастает более чем на 50 % [2]. Необ-

В.М. АНИЩИК, *Н.Г. ВАЛЬКО, Н.И. ПОЛЯК
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*Учреждение образования
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Я. Купалы»
Минск, Гродно, Беларусь

Один из возможных путей расширения функциональных свойств металлов связан с разработкой и использованием никелевых гальванических покрытий. Упрочнение поверхностного слоя деталей посредством гальванического никелирования позволяет экономить дорогостоящие и дефицитные материалы.

Основным недостатком никелевых покрытий является их незначительная толщина. Получение таких покрытий большой толщины сопряжено со снижением адгезии, микротвердости и повышением микронапряжений, приводящих к растрескиванию получаемых осадков. Поэтому разработка новых методов нанесения никелевых покрытий больших толщин с оптимальными механическими и физическими характеристиками является важной практической задачей.

Целью настоящей работы было исследование электроосаждения Ni из сульфатного электролита на индифферентных катодах при воздействии излучения. Источником излучения служила рентгеновская установка с напряжением на трубке 45 кВ и токе 15 мА, с анодами – Mo ($\lambda = 0,070$ нм), Cu ($\lambda = 0,154$ нм), Fe ($\lambda = 0,194$ нм).

Ранее проведенные исследования [1] показали, что рентгеновское излучение влияет на процесс электроосаждения никеля на индифферентных алюминиевых подложках: увеличивает скорость наращивания покрытий и величину выхода металла по току ($ВТ_k$). Однако, несмотря на монотонное увеличение скорости наращивания покрытий с возрастанием энергии рентгеновского излучения при плотности катодного 1 A/dm^2 тока были получены практически одинаковые по толщине покрытия с различным $ВТ_k$ (табл.). Увеличение $ВТ_k$ с уменьшением длины волны рентгеновского излучения свидетельствует о возрастании массы вещества, оседающей на катоде, вследствие интенсификации в облучаемых электролитах диффузионных процессов, ограниченных массопереносом. Одинаковая толщина покрытий разной массы обусловлена, прежде всего, микроструктурными

*С.Д.МАКАРЕВИЧ, Д.М.МАКАРЕВИЧ, М.Э.ПОДЫМАКО
*Учреждение
«МОГИЛЕВСКОЕ ОБЛАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЧС РБ» НПЦ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Для проведения аварийно-спасательных работ по извлечению людей из колодцев, подземных коммуникаций, ям весьма эффективно применение мобильных быстромонтируемых грузоподъемных устройств. Возможность быстрого разворачивания, легкость перемещения и удобство в работе – отличительные особенности предлагаемого устройства спасательного (УС). Технические характеристики предлагаемого устройства обеспечивают подъем груза массой до 1000 кг с глубины до 8 метров и на высоту до 2,5 метра.

Исполнение УС является оригинальным, расчетно-обоснованным, качественно проработанным с конструктивной и технологической позиций. Основными элементами УС являются лебедка и несущая система.

Лебедка защищена патентом и наряду с высокими функциональными возможностями обладает хорошей эргономикой. Обеспечивает плавный подъем и спуск груза, удержание его в требуемом положении, отличается компактностью и надежностью. Трансформация крутящего момента осуществляется посредством эксцентриковой передачи и цевочного зацепления. Отличительной положительной особенностью лебедки является ее высокая нагрузочная способность, которая обеспечивается многопарностью цевочного зацепления. Это позволяет при небольших габаритах лебедки добиться передачи значительных по величине крутящих моментов.

Несущая система – пространственная конструкция, воспринимающая все эксплуатационные нагрузки. Представляет собой треногу, включающую оголовки, телескопические ноги и опорные башмаки. Оголовки являются местом размещения канатно-блочной системы, выполняет функции фиксатора ног и ограничителя углов их установки. Телескопические ноги дают возможность регулировать высоту подъема груза и служат опорой для лебедки. Опорные башмаки обеспечивают опирание УС и являются самоустанавливающимися в одной плоскости.

Ключевыми требованиями, определяющими конструктивное исполнение УС, являются удобство использования и однозначность сборки, а также легкость и достаточная несущая способность.

Удобство использования в значительной мере определяется характеристиками приводного устройства, т.е. лебедки.

Конструкция УС состоит из повторяющихся элементов, позволяющих производить сборку в любом порядке. Соединение частей УС обеспечивается посредством пальцев с быстрой фиксацией. Общее время развертывания составляет не более одной минуты.

Несущая способность устройства определяется размерами сечений и применяемыми материалами, выбор которых необходимо обосновывать расчетным путем. Масса несущей системы также является функцией размеров и материалов и определяется, в основном, массой телескопических ног.

Для обеспечения достаточной несущей способности устройства и минимизации массы была решена оптимизационная задача. Варьируемыми параметрами были выбраны геометрические размеры сечений ног, в качестве функции отклика – масса, функциями штрафа выступали коэффициенты запаса прочности и устойчивости. Выбор функций штрафа был обусловлен схемой нагружения ног, которая соответствует продольно-поперечному изгибу. В качестве расчетных были использованы методы теории упругости, позволившие учесть конструктивные особенности и специфику взаимодействия элементов системы, исключить расчленение системы и ошибки приведения нагрузок.

Величина эксплуатационных нагрузок определялась из условия обеспечения требуемого коэффициента запаса несущей способности конструкции. При проведении спасательных работ по извлечению людей масса человека принимается равной 140 кг, при этом конструкция должна иметь 10-ти кратный запас. Поэтому расчетная величина усилия была принята равной 15 кН. Расчеты показали возможность использования в качестве материала ног алюминиевого сплава Д1 с пределом текучести ≈ 200 МПа.

Как отмечалось выше проверка несущей способности выполнялась по критериям прочности и устойчивости формы. Прочность оценивалась по допускаемым напряжениям, величина которых определялась пределом текучести материала. Устойчивость оценивалась по характеру зависимости "масса груза – абсолютная деформация". Линейная зависимость свидетельствовала о достаточном запасе устойчивости.

В результате проведенного вычислительного эксперимента были получены рациональные размеры сечений ног УС из алюминиевого сплава Д1, масса устройства при этом составила около 22 кг. Наряду с этим получены картины качественного и количественного распределения напряжений и деформаций в элементах УС, что дает полное представление о характере нагруженности и особенностях их работы в эксплуатационных режимах.

Осаждение сплава проводилось из хлораммонийного электролита. Источником излучения служила рентгеновская установка УРС-1.0 с молибденовым анодом, которая генерировала рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda=0,707 \text{ \AA}$.

На рис. 1 представлены зависимости выхода сплава по току ($ВТ_k$) и скорости осаждения покрытий (h) от плотности катодного тока. Из данных зависимостей видно, что с увеличением плотности тока происходит снижение $ВТ_k$, что связано с увеличением количества побочных реакций, протекающих на катоде.

На рис. 1 также показано, что действие рентгеновского излучения способствует существенному возрастанию выхода сплава по току. Увеличение $ВТ_k$ связано с уменьшением выделения молекулярного водорода на катоде. Поскольку осаждаемая площадь катода во всех экспериментах была фиксированная, то увеличение $ВТ_k$, который рассчитывался как отношение практической массы к массе, рассчитанной по закону Фарадея, должен свидетельствовать о возрастании толщины осадка. Тем не менее, на рис. 1 показано, что толщина покрытий в единицу времени у облученных образцов значительно меньше, чем у контрольных. Это обусловлено формированием в поле рентгеновского излучения более компактных покрытий.

Необходимо отметить, что с увеличением плотности катодного тока у облученных образцов, в отличие от контрольных, наблюдается не очень значительное снижение $ВТ_k$. Это говорит о расширении рабочего диапазона плотностей катодного тока для осаждения Zn-Ni покрытий под действием рентгеновского излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электролитическое осаждение сплавов / В. А. Аверкин [и др.]; под ред. В. А. Аверкина. – М. : Машгиз, 1961. – 216 с.
2. Анищик, В. М. Структура и свойства медных электролитических покрытий, сформированных в поле рентгеновского излучения / В. М. Анищик, Н. Г. Валько, В. В. Война // Поверхность. – 2010. – №2. – С. 66–70

И.И. АЛЕСЧИК, Н.Г. ВАЛЬКО, Д.В. ЛАВЫШ
 Учреждение образования
 «ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 им. Я. Купалы»
 Гродно, Беларусь

Покрyтия сплавом Zn-Ni обеспечивают электрохимическую защиту стальных изделий от коррозии в обычных атмосферных условиях и представляют интерес как возможная альтернатива токсичным кадмиевым покрытиям, в отличие от которых покрытия Zn-Ni являются более стойкими к нефтепродуктам и маслам на деталях крепежа автомобильного двигателя [1].

Для достижения определенных свойств, а также возможности контроля состава сплава в последнее время особое внимание уделяется методам электрохимического нанесения защитных покрытий, в том числе с использованием внешних воздействий, в частности рентгеновского излучения [2].

В работе представлены результаты исследования влияния рентгеновского излучения на скорость осаждения и выход сплава Zn-Ni по току.

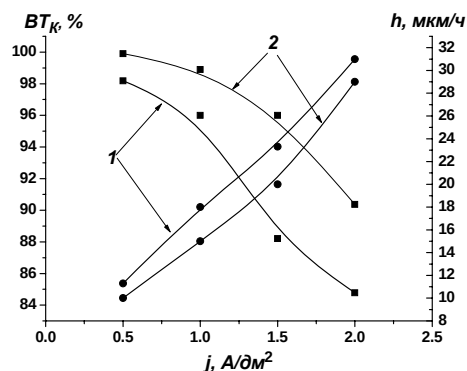


Рис. 1. Зависимости выхода сплава Zn-Ni по току (■) и скорости осаждения покрытий (●) от плотности катодного тока: 1 — для контрольных образцов; 2 — для образцов, полученных под облучением ($\lambda=0,7 \text{ Å}$)

Л.В. МАРКОВА, *В.Л. БАСИНЮК, *Е.И. МАРДОСЕВИЧ,
 **Ю.В. МАШИН
 «ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ
 им. В.А. Белого НАН Беларуси»
 *Государственное научное учреждение
 «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАН Беларуси»
 **Государственное учреждение высшего профессионального образования
 «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 Гомель, Минск, Могилев, Беларусь

Техническое обслуживание, основанное на оценке реального состояния механизма, является наиболее эффективным и экономически обоснованным подходом эксплуатации промышленного оборудования, повышения его надежности и безопасности. При этом важной задачей является повышение точности оценки технического состояния оборудования путем использования диагностических систем.

В настоящее время широкое применение нашли методы вибромониторинга для непрерывной диагностики состояния машин и механизмов. Путем измерения и анализа уровня вибраций механизма можно определить как природу, так и значимость дефектов, и спрогнозировать выход механизма из строя. Суммарный вибрационный сигнал машины формируется многими компонентами и структурами. Механические дефекты дают характерные вибрации на разных частотах, которые могут быть связаны с определенными нарушениями в работе машины. Однако установлено, что вибрации в ряде случаев имеют ограниченную информативность, в силу чего в диагностику изнашивания узлов трения широко внедрились методы анализа смазочного материала по параметрам частиц износа, содержащихся в смазке и по параметрам, характеризующим его работоспособность. По сравнению с вибрационным анализом анализ масла имеет определенные преимущества, так как дает прямую и раннюю информацию о режиме изнашивания и состоянию машины.

В ходе эксплуатации трибосистемы происходит ухудшение рабочих свойств масла, изменение режима нагружения, что приводит к снижению несущей способности граничного слоя смазки и нарушению режима установившегося изнашивания. Нарушение нормального режима изнашивания сопровождается увеличением размеров и концентрации частиц износа в масле, увеличением зазоров между поверхностями трения, отклонением от соосности и т.д.

Анализ смазочного материала позволяет на ранней стадии установить причины ухудшения рабочих свойств масла: изменение химической структуры масла (окисление, термическая деструкция, разложение присадок), увеличение содержания воды в масле и увеличение содержания механических примесей.

Изменение химической структуры (окисление и температурная деградация) масла приводит к образованию высокомолекулярных соединений, нагара, лакоподобных отложений и шлама, к увеличению вязкости, образованию кислот, вызывающих коррозию металлических деталей. Показателями степени окисления масла и химической деструкции являются общее кислотное число и цвет масла, определяемые в лабораториях стандартными методами.

Для обеспечения, как мониторинга агрегатов трансмиссий, так и для прогнозирования сроков смены масел необходимо знание порогового (допустимого) уровня изменения показателей качества масла или тенденции их изменений. Пороговые значения показателей зависят от типа оборудования, условий нагружения и эксплуатации и обычно устанавливаются предприятиями-изготовителями масла или определяются в ходе сбора и обработки результатов предварительных испытаний.

Комплексный анализ триботехнических и вибрационных параметров, регистрируемых и анализируемых с учетом реального масштаба времени, позволяет практически полностью исключить характерные для вибромониторинга ложные срабатывания системы диагностирования за счет расширения номенклатуры совместно анализируемых факторов и существенно повысить чувствительность мониторинга к зарождающимся дефектам и достоверность их идентификации с источником, в качестве которого могут выступать отдельные зубья зубчатых передач, подшипники и т.п.

Специалисты двух областей – диагностики на основе анализа масла и вибродиагностики часто изолированы друг от друга. Эффективная интеграция двух методов мониторинга и методов компьютерного анализа данных, включая методы искусственного интеллекта, позволит создать эффективное средство диагностики.

При контроле дефектов подшипников специалистами установлено, что анализ масла позволяет идентифицировать 40 % дефектов, виброанализ – 33 % и только сочетание обоих методов позволяет обнаружить оставшиеся 27 % нарушений в нормальной работе подшипников.

Целью работы является установление эффективных информационных параметров контроля вибраций конструктивных элементов редукторов и анализа смазочного материала, наиболее достоверно отражающих изменения режима их работы.

тут внутренние напряжения, что приводит к появлению микротрещин и разрушению материала.

Установлена корреляционная зависимость долговечности пленок ПЭ от величины разности фотодеформаций δ и от величины внутренних напряжений.

Была исследована возможность применения метода фотодеформаций к исследованию эффективности действия фотостабилизаторов.

В качестве объекта исследования были взяты два фотостабилизатора: промышленно освоенный Бензон ОА и новый фотостабилизатор – производное калексарена.

Были проведены сравнительные испытания атмосферостойкости ПЭ пленок, стабилизированных этими веществами, в зависимости от % содержания их в полимере. Испытания проводили в лабораторных условиях в камере искусственной погоды. Фотодеформации исследовали также на пленочных образцах при облучении их УФ светом с $\lambda = 290 \dots 400$ нм, интенсивностью 2 Вт/см^2 и ИК светом с $\lambda = 800 \dots 1000$ нм. Величины фотодеформаций определяли с помощью индукционного датчика и автоматического электронного потенциометра.

В результате проведенных исследований установлено, что разность фотодеформаций δ стабилизированных полимерных пленок ПЭ коррелирует с их долговечностью в атмосферных условиях. Показано, что чем меньше величина δ , тем полимерный материал более стоек к действию солнечного света.

Данный метод может быть использован в качестве экспресс-метода оценки эффективности действия стабилизатора. Чем меньше δ стабилизированной пленки полимера, по сравнению с δ нестабилизированного полимера, тем эффективнее фотостабилизатор.

Т.И. АЛЕКСАНДРОВА, В.П.РУСОВ, *Л.С. КОРЕЦКАЯ

Учреждение образования

«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»

*Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ТОРГОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ КООПЕРАЦИИ»

Гомель, Беларусь

Наиболее разрушающим для полимеров (особенно полиолефинов) является УФ в диапазоне 290...400 нм. В составе солнечного излучения, достигающего до Земли, этот диапазон составляет ~ 6 %, но этого достаточно для разрушения полимеров.

Для повышения стойкости полимерных материалов к действию погодных факторов в них вводят термо- и фотостабилизаторы. Атмосферостойкость полимеров зависит от содержания в нем стабилизатора. Каждый стабилизатор имеет оптимальную концентрацию при которой полимер наиболее стоек к действию атмосферных факторов. Для большинства стабилизаторов оптимальное содержание составляет от 0,3 до 1 %.

Определение эффективности действия стабилизаторов – сложный и длительный процесс. Эффективность термостабилизаторов обычно определяют по индукционному периоду окисления при поглощении кислорода. А вот эффективность действия фотостабилизаторов оценивается по результатам натурных или лабораторных испытаний в камерах искусственной погоды, но это длительный процесс.

Исследование изменения прочностных свойств (прочности при растяжении, изгибе, а также относительного удлинения при растяжении) позволило установить, что наиболее чувствительной макрохарактеристикой при старении является относительная деформация материала.

Ранее было установлено, что удлинение пленки полимера от УФ излучения $\Delta l_{уф}$ не совпадает по величине с удлинением от ИК излучения $\Delta l_{иуф}$ при нагреве до одной и той же температуры (это было названо фотодеформационным эффектом). Для пленок всех исследованных полимеров (полиэтилен, полипропилен, полиамид, поликарбонат, фторопласты) наблюдается разница между этими деформациями. Это явление было названо фотодеформацией (δ).

В полимерах под действием УФ излучения на первом этапе возникают напряжения сжатия, затем изменяется конформация макромолекул и рас-

А.М. ПАШКЕВИЧ

Государственное учреждение высшего профессионального образования

«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Разработанная ранее методика расчета шариковых радиально-плунжерных редукторов не всегда обеспечивала их высокий технический уровень, высокую нагрузочную способность и достаточную долговечность. Однако компьютерное моделирование работы таких редукторов, их широкая и длительная эксплуатация в производственных условиях, а также лабораторные испытания позволили усовершенствовать эту методику и представить ее в наиболее предпочтительном виде. Данный доклад посвящен особенностям этой методики применительно к радиально-плунжерному редуктору, выполненному в соответствии с 6 кинематической схемой шарикового планетарного механизма.

Известно, что геометрия шариковых зацеплений играет определяющую роль в обеспечении высокого технического уровня шариковых радиально-плунжерных редукторов. Выбор геометрических параметров ранее связывали с компьютерным моделированием работы шарикового зацепления, и это моделирование требовалось проводить каждый раз при конструировании нового типоразмера редуктора, а обобщенные сведения о геометрии центрального колеса не всегда позволяли получить желаемый результат. Часто случалось, что их использование приводило либо к неоправданному завышению диаметра шарикового зацепления, либо к его занижению. В обоих случаях это вызывало возрастание пассивных участков перемещения плунжеров (когда плунжер не передает вращающий момент) и свидетельствовало о несовершенстве используемой методики.

На основе моделирования и анализа его результатов получены математические соотношения, позволяющие на стадии конструирования шариковых радиально-плунжерных редукторов определять рациональные численные значения геометрических параметров шариковых зацеплений, не прибегая каждый раз к компьютерному моделированию.

Определяющим размером шарикового зацепления является диаметр вершин зубьев центрального колеса (минимальный диаметр D_{min}), численно равный наибольшему диаметру сепаратора D_{max} . Наиболее рациональным значением этого диаметра является его наименьшая величина, исключая, однако, петлеобразное перемещение центров плунжеров при их переходе с одной стороны профиля зуба на другую. Этому требованию удовлетворяет равенство

$$\pi D_{min} = 2D_{ш} n,$$

где $D_{ш}$ – диаметр шарового плунжера.

Из этого равенства следует, что

$$D_{min} = 2D_{ш} n / p = 0,6366 D_{ш} n,$$

или $D_{min} = 2(R_3 + D_{ш} / 4 + D_{ш} / 2)$,

или $D_3 = D_{min} - 1,5 D_{ш}$.

Подставив значение D_{min} , найдем:

$$D_3 = 0,6366 D_{ш} n - 1,5 D_{ш} = 0,6366 D_{ш} (n - 2,3563).$$

Положив $n = z + 1$, получим

$$D_3 = 0,6366 D_{ш} (z + 1 - 2,3563) = 0,6366 D_{ш} (z - 1,3563).$$

Теперь на основе D_3 можно определить величины всех других геометрических параметров шарикового зацепления

$$D_{min} = D_3 + 1,5 D_{ш};$$

$$D_{max} = D_3 + 2,5 D_{ш};$$

$$e = D_{ш} / 4;$$

$$D_{c max} = D_3 + 1,5 D_{ш};$$

$$D_{c min} = D_3 + 0,5 D_{ш}.$$

Радиусы впадин между зубьями центрального колеса независимо от прочих параметров равны диаметру шаровых плунжеров, т.е. $R_{en} = D_{ш}$, а угол профиля впадины 2β с высокой точностью (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,96$) определяется полиномом

$$2\beta = 0,002 z^3 - 0,1972 z^2 + 5,9557 z + 45,846.$$

Наибольшие моменты в радиально-плунжерном редукторе, приходящиеся на один плунжер, составляют

$$\overline{M}_{1 max} = F_{1 max} R_1 = M_1 / 0,32 n;$$

$$\overline{M}_{2 max} = F_{2 max} R_2 = M_2 / 0,32 n,$$

откуда получим

$$F_{1N max} = M_1 / 0,32 n R_1 \sin \alpha_1;$$

$$F_{2N max} = M_2 / 0,32 n R_2 \sin \alpha_2.$$

Диаметр шаровых плунжеров $D_{ш}$ определяется из условия контактной прочности боковой поверхности зуба центрального колеса. Наиболее высокие значения контактные напряжения достигают именно на этой поверхности контакта, так как плунжеры являются шарами, а боковые поверхности зубьев – плоскостями. Условие контактной прочности в этом случае можно представить в известном виде

$$\sigma_{H max} = 0,918 \sqrt[3]{\frac{F_{2N max}}{D_{ш}^2 (\theta_1 + \theta_2)^2}} \leq [\sigma_H],$$

$$\text{откуда } D_{ш} = 9,7 \cdot 10^{10} \sqrt[3]{\frac{F_{2N max}}{[\sigma_H]^3}}.$$

Полученные значения $D_{ш}$ необходимо сравнить с первоначально принятыми и, если требуется, следует ввести коррективы.

Выполненные на основе изложенного подхода расчеты позволили при конструировании радиально-плунжерных редукторов получить наиболее оптимальные их параметры, обеспечивающие требуемую нагрузочную способность и высокую долговечность. На основе этих расчетов созданы высокотехнологичные образцы радиально-плунжерных редукторов, и некоторые из них уже выпускаются серийно.

Материал имеет «отрицательный» удельный вес, то есть создаёт подъёмную силу тем большую, чем меньше значение K .

Эффективность материала такого класса может быть обеспечена минимальным удельным весом материала каркаса и оболочки и минимальной толщиной последней.

Современная технология позволяет получать материалы с указанными свойствами с достаточно широким диапазоном указанных выше параметров.

В качестве примера можно привести аэрогель, синтезированный на основе силикагеля или геля кремниевой кислоты. Твёрдый материал, имеющий наименьшую известную на сегодняшний день плотность, обладающий одновременно достаточными прочностью и жёсткостью, представляет собой кремнистый нанопенистый материал с плотностью на уровне 1 мг/см^3 , являющийся вакуумированным вариантом аэрогеля плотностью $1,9 \text{ мг/см}^3$ [2]. Простые расчеты позволяют предположить, что герметизированный по поверхности и заполненный гелием кубический блок из такого материала объёмом 1 м^3 будет обладать отрицательным весом, или подъёмной силой $1,92 \text{ Н}$, что эквивалентно весу тела массой приблизительно $0,2 \text{ кг}$ (первоначально пренебрегая весом герметизирующей оболочки). В качестве ещё одного примера реализации материала такого рода может быть рассмотрен объект, состоящий из кубических блоков, представляющих собой герметичные сварные оболочки, например жёсткие алюминиевые или стальные конструкции, заполненные гелием.

Расчёты по приведенному выше соотношению для элементарного блока из алюминия, заполненного гелием при атмосферном давлении и толщине стенки $0,0001 \text{ м}$ при выполнении условия $K=1$, что соответствует нулевому весу данного блока, позволяют рассчитать величину ребра элементарного блока $\sim 1,45 \text{ м}$.

Несложно показать, что в нашем примере при $K=1$ зависимость величины ребра «а» от толщины стенки d для элементарного блока кубической формы при неизменных прочих параметрах и условиях будет характеризоваться линейной зависимостью

$$a = 14529,1 \times d,$$

где a – величина ребра куба элементарного блока, м; d – его толщина, м.

Анализ полученных зависимостей позволит оптимизировать параметры рассмотренного элементарного блока, а также каркасных характеристик материалов данного класса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витязь, П. А. Пористые порошковые материалы и изделия из них / П. А. Витязь, В. М. Капцевич, В. К. Шелег. – Минск : Высшая школа, 1987. – 164 с.
2. “Lab’s aerogel sets world record”. LLNL Science & Technology Review. October 2003.

В.М. АЛЕКСАНДРОВ, П.А. ШКУРДЮК, Н.В. КИРШИНА
Обособленное хозрасчётное структурное подразделение
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИМПУЛЬСНЫХ
ПРОЦЕССОВ С ОПЫТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ»
Минск, Беларусь

Потребности современной техники приводят к необходимости создания новых материалов с принципиально новыми свойствами.

Тело легче воздуха подвергается действию выталкивающей, или подъёмной силы. Превышение этой силы над весом тела, отнесённое к его объёму, можно назвать удельной подъёмной силой или «отрицательным» удельным весом.

Обладающий таким свойством материал может найти применение в авиационно-космической технике при создании летательных, спасательных, энергоресурсосберегающих и других специальных устройств.

В его основе лежит сверхлёгкий пористый или иной несплошной материал с объёмным содержанием твёрдого вещества не более 1–2 %, имеющий плотность на уровне $< 1 \text{ кг/м}^3$. Снаружи стандартный блок такого материала покрыт тонкой газонепроницаемой полимерной или металлической оболочкой, а внутри заполнен, например, гелием (возможны варианты с использованием других инертных газов легче воздуха). Проведенные расчёты позволяют показать, что данный материал будет иметь близкий к нулевому или отрицательный средний по объёму «удельный вес», что позволит создавать на его основе упомянутые выше аппараты и устройства.

Условие нулевого веса или удельного веса данного материала имеет вид:

$$\rho_{\text{МК}} V_{\text{МК}} g + \rho_{\text{МО}} V_{\text{МО}} g = (\rho_{\text{В}} - \rho_{\text{Г}}) V_{\text{Г}} g, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения; $\rho_{\text{МК}}$ – плотность материала каркаса; $\rho_{\text{МО}}$ – плотность материала оболочки; $\rho_{\text{В}}$ – плотность воздуха; $\rho_{\text{Г}}$ – плотность газа; $V_{\text{МК}}$ – объём каркаса; $V_{\text{МО}}$ – объём материала оболочки; $V_{\text{Г}}$ – объём газа.

Для материалов такого класса можно вывести, аналогично с пористыми материалами в технологии порошковой металлургии, так называемый критерий эффективности [1], который будет иметь вид:

$$K = (\rho_{\text{МК}} V_{\text{МК}} + \rho_{\text{МО}} V_{\text{МО}}) / [(\rho_{\text{В}} - \rho_{\text{Г}}) V_{\text{Г}}]. \quad (2)$$

При $K = 1$ данный материал имеет «нулевой» удельный вес, то есть не оказывает давления на горизонтальную поверхность, при $K < 1$ данный ма-

В.П. ПЕТРОВСКИЙ, Г.С. КУЛЬГЕЙКО, И.В. ГРИНКЕВИЧ
Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»
Гомель, Беларусь

Рассмотрены особенности работы упругой центробежной муфты в устройстве типа вибрационной машины одномассной динамической схемы с принудительным приводом. Достоинство этой схемы в неизменности амплитуды колебаний рабочего органа, т.е. в высокой стабильности, что является одним из наиболее важных эксплуатационных свойств наряду с коэффициентом усиления вынуждающей силы и уравновешенностью, характеризующих качество и надежность вибрационной машины.

Часто при работе вибрационной машины, например, при использовании крестово-кулисной муфты, могут возникать дополнительные упругие колебания (рабочего органа, отдельных его элементов или участков), толчки и удары, нарушающие нормальный ход технологического процесса, снижая его стабильность. Для уменьшения отрицательного воздействия применяют упругие муфты, обладающими следующими свойствами: смягчают толчки и удары (демпфируют изменение нагрузки, переводя кинетическую энергию в тепло и в потенциальную энергию деформации); защищают от резонансных крутильных колебаний; не требуют строгой соосности валов.

Наиболее простой по конструкции муфтой, обладающей одновременно компенсационными, упругими и предохранительными свойствами, является упругая центробежная муфта Т. Г. Рыбчевского. Однако эта муфта способна передавать сравнительно небольшую мощность при средней частоте вращения соединяемых валов, т. е. ее нагрузочная способность является достаточно низкой. Причина низкой нагрузочной способности муфты – ограничения по коэффициенту трения пары «полумуфта-лента». Задача заключается в повышении нагрузочной способности муфты при сохранении ее габаритных размеров, упругих свойств и относительной простоты конструкции.

Поставленная задача решается за счет применения эластичной ленты с клиновыми выступами, которые входят в соответствующие кольцевые канавки полумуфт с опорой на их боковые поверхности. Наличие кольцевых канавок на цилиндрических внутренних поверхностях чашеобразных полумуфт, профиль которых соответствует профилю клиновых выступов, по-

зволяет повысить площадь фактического контакта между лентой и внутренними поверхностями полумуфт.

При вращении ведущей полумуфты силами трения увлекается и начинает вращаться эластичная клиноременная лента, которая боковыми поверхностями своих выступов прижимается к боковым поверхностям клиновых кольцевых канавок полумуфт центробежной силой, за счет чего возникает момент сил трения M_{mp} , вращающий ведомую полумуфту:

$$M_{mp} = mf\omega^2 R^2, \quad f' = f / \sin(\varphi / 2),$$

где m – масса ленты; ω – угловая скорость ленты; R – радиус средней цилиндрической поверхности ленты; f' – приведенный коэффициент трения клиноременной ленты; f – коэффициент трения эластичной ленты о поверхность полумуфт (для пары резина-чугун $f = 0,6$); φ – угол клина ремней.

Для стандартных клиновых ремней $\varphi = 40^\circ$, тогда

$$f' = f / \sin(\varphi / 2) \approx 3f.$$

Так как момент сил трения в предложенной муфте

$$M_{mp} = f'm\omega^2 R^2 = 3fm\omega^2 R^2 = 3M'_{mp},$$

где M'_{mp} – момент сил трения в муфте Рыбчевского, то предельный момент и предельная мощность муфты при одинаковых параметрах в три раза выше. При одинаковой нагрузочной способности предложенная конструкция муфты позволяет уменьшить габаритные размеры на 30 %.

Применение в муфте эластичной ленты с клиновыми выступами позволяет увеличить нагрузочную способность муфты при сохранении ее габаритных размеров, либо уменьшить габаритные размеры муфты при сохранении нагрузочной способности. Так, например, при угле клина φ равном 40° , 29° , 19° коэффициент повышения нагрузочной способности имеет значения 1,0; 1,3; 2,0 соответственно.

Эффект самозаклинивания, который наблюдается при $\varphi < 40^\circ$ и оказывает отрицательное влияние на работоспособность клиноременных передач (т. к. при самозаклинивании ремень испытывает дополнительный перегиб на сбегающих ветвях и быстрее разрушается от усталости), отрицательного влияния на работоспособность предложенной муфты не оказывает в виду того, что при работе муфты эластичная лента перегибов не испытывает.

Таким образом, предложенная упругая центробежная муфта обеспечивает повышение нагрузочной способности муфты при сохранении ее габаритных размеров, упругих свойств и относительной простоте конструкции.

подтверждается ее микроструктурой. Так в отожженном состоянии структура стали является крупнозернистой и состоит в основном из феррита и незначительного количества перлита. Термическое упрочнение от температуры 920°C обеспечивает преобладание в структуре высокоизмельченного перлита, а также небольшого количества перенасыщенного феррита.

Таким образом, в основе повышения прочности стали 3 при термическом упрочнении лежит понижение температуры превращения аустенита в перлитном интервале после нагрева ее выше критической точки A_{c3} . Между такой обработкой и обычной закалкой, как было показано выше, имеется принципиальное различие, но в то же время указанная обработка позволяет достичь высоких значений показателей прочности стали.

Исследование возможности дальнейшего упрочнения проволоки из стали 3 проводилось путем волочения в широком интервале повышенных температур до 500°C , в различных скоростных режимах. Этот температурный интервал деформирования характеризуется значительными изменениями, происходящими в структуре металла, что и обуславливает изменение его механических свойств.

Волочение проволоки в условиях повышенных температур до 500°C показало, что при определенных условиях деформирования обнаруживается нарушение обычной зависимости изменения механических свойств. Такая особенность характерна при волочении проволоки в температурном интервале деформационного старения металла, который для данной стали соответствует $150\text{--}350^\circ\text{C}$.

Предварительная термическая обработка заготовки, оказывая влияние на величину зерна и содержание примесных атомов в твердом растворе, существенным образом влияет на протекание процессов динамического деформационного старения стали. Однако, это влияние носит преимущественно количественный характер. Проведенный анализ показывает, что склонность к деформационному старению термически упрочненной стали значительно ниже, чем отожженной. Так, например, в результате волочения отожженной заготовки ($v_{\text{вол.}} = 2$ м/мин, степень обжатия $\varepsilon = 19\%$) при температуре 250°C , соответствующей максимальному развитию деформационного старения, значения σ_b и σ_t увеличились соответственно на 90 и 110 МПа, по сравнению с волочением при комнатной температуре. В то же время, волочение термически упрочненной заготовки при идентичных условиях приводит к незначительному увеличению прочностных свойств.

Таким образом, увеличение прочностных показателей стали 3 в области температур деформационного старения является следствием усиленного взаимодействия дислокаций с атомами примесей внедрения, особенно азота и углерода и процессов выпадения мелкодисперсных частиц.

А.П. АКУЛИЧ, Я.А. АКУЛИЧ

Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

В настоящее время низкоуглеродистая проволока из стали 3 находит применение в различных отраслях промышленности, что и обуславливает важность исследований в области повышения ее прочностных характеристик. В рамках определения путей решения данной задачи, были проведены исследования по изучению влияния термической обработки и различных температурно-скоростных режимов волочения с целью достижения максимальных показателей прочности проволоки.

Перед волочением были использованы два варианта термической обработки заготовки: отжиг и термическое упрочнение. Последнее заключается в резком охлаждении стали, нагретой до температур аустенизации. В результате отжига, который производился от температуры нагрева 920 °С, были получены следующие данные механических свойств проволоки: предел прочности $\sigma_b=380$ МПа; предел текучести $\sigma_t=290$ МПа; относительное удлинение $\delta=37,5$ %; относительное сужение $\psi=73$ %.

При термической обработке сталь 3 не претерпевает закалку на мартенсит. Даже максимально возможная скорость охлаждения после нагрева стали выше верхней критической точки A_{c3} оказывается недостаточной для мартенситного превращения.

Однако, несмотря на отсутствие мартенситного превращения, исследования показали, что ускоренное охлаждение приводит к значительному повышению прочностных характеристик при сохранении достаточно высокой пластичности.

Исследования показали, что максимальный прирост прочностных показателей заготовки (содержание углерода 0,12 %) относится к области температур термического упрочнения от 900 до 950 °С. В результате резкого охлаждения в воде с 920 °С пределы прочности и текучести исходной заготовки получили наибольшее увеличение и составили соответственно 920 и 870 МПа, а характеристики пластичности ψ и δ оказались равными 54 % и 12 % соответственно.

Из сопоставления двух вариантов термической обработки следует, что термическое упрочнение проволоки из стали 3 по сравнению с отжигом, позволяет увеличить σ_b почти в 2,5 раза, а σ_t в 3 раза. Изменение механических свойств стали 3 в зависимости от режимов термической обработки

В.В. ПИНЧУК, Г.С. КУЛЬГЕЙКО

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

В условиях ограниченной топливно-сырьевой базы Республики Беларусь важное значение приобретает проблема использования вторичных ресурсов. Непрерывное накопление остаточных материалов в деревообрабатывающей промышленности, таких как древесная стружка, опилки и древесная пыль, требует значительных затрат на их хранение, транспортировку и утилизацию.

Одним из способов решения поставленной задачи является брикетирование древесной стружки с целью получения топливных брикетов. Древесные брикеты, изготовленные на прессах для брикетирования, позволяют сократить складские помещения для хранения стружки более чем на 90 % первоначального объема. При хранении брикетов из древесной стружки практически исключается опасность самовозгорания или взрыва.

Целью работы явилось повышение надежности и снижение себестоимости гидравлического пресса для брикетирования древесностружечных отходов за счет применения новых конструкторских решений.

Пресс представляет собой устройство, состоящее из цилиндрического прессующего канала, подпрессовщика, гидравлических плунжеров подпрессовки и прессования и загрузочного бункера.

Подача материала производится из бункера в камеру подпрессовщика, далее плунжер подпрессовщика запрессовывает материал в цилиндрическую камеру пресса. Гидравлические плунжеры прессуют опилки и стружку под высоким давлением в равномерные брикеты. Благодаря мощному гидравлическому приводу и системе автоматического управления прессом обеспечивается непрерывный процесс брикетирования. Древесные отходы прессуются в твердые, компактные брикеты длиной около 50...70 мм.

Брикеты, полученные на данной установке, испытаны в вагонах отделения железной дороги г.Гомеля. В сравнении с торфяными брикетами отмечено значительное увеличение тепловых характеристик. Разработанный гидравлический пресс позволяет получать экологически чистое биотопливо, одновременно снижая затраты на хранение, транспортировку и утилизацию древесностружечного материала.

УДК 621.833.68
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РУЛЕВОГО МЕХАНИЗМА
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

О.А. ПОНОМАРЕВА, К.В. ЖУКОВ, В.В. БОНДАРЕВ

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

Рулевое управление автомобиля состоит из рулевого механизма и рулевого привода.

Рулевым механизмом называют механизм, который позволяет осуществить поворот колес с необходимым передаточным числом, а рулевым приводом – систему тяг и рычагов, которые в совокупности с рулевым механизмом осуществляют поворот автомобиля.

Рулевой механизм служит для увеличения усилия водителя, прилагаемого к рулевому колесу, и передачи его к рулевому приводу. Увеличение усилия происходит за счет передаточного числа рулевого механизма. Передаточным числом рулевого механизма называют отношение угла поворота рулевого колеса к углу поворота вала рулевой сошки. Оно зависит от типа автомобиля и составляет 15...20 у легковых автомобилей и 20...25 у грузовых автомобилей и автобусов. Такие передаточные числа за один-два полных оборота рулевого колеса обеспечивают поворот управляемых колес автомобилей на максимальные углы, равные $35...45^{\circ}$.

Рулевые механизмы изготавливают отдельные специализированные фирмы в основном за рубежом, и лишь некоторые автомобильные заводы производят рулевые механизмы собственной конструкции. Все конструкции рулевых механизмов можно классифицировать по двум признакам: по передаточному числу (с постоянным и переменным передаточным числом) и по принципу, заложенному в конструкции передачи.

По конструктивным признакам рулевые механизмы разделяются на пять основных групп: с шестеренчатой передачей, с кулачной передачей, с винтовой передачей, с кривошипной передачей и с червячной передачей.

Червячные рулевые механизмы применяются на легковых, грузовых автомобилях и на автобусах. Наибольшее распространение из них имеют червячно-роликовые рулевые механизмы, состоящие из червяка, имеющего форму глобоида и ролика.

Рулевые механизмы с винтовой передачей в связи с развитием винтовых пар с циркулирующими шариками получили широкое распространение. Они применяются и на легковых и на грузовых автомобилях.

Зубчатые рулевые механизмы применяются на легковых автомобилях малого и среднего классов. При этом шестеренные рулевые механизмы,

Установлено, что высокая скорость охлаждения $\sim 10^5\text{--}10^6\text{ }^{\circ}\text{K}/\text{с}$ при высокоскоростной закалке расплава, а также последующий диффузионный отжиг как литых, так и быстрозакаленных при температуре $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ сплавов значительно снижают неоднородность химического состава многокомпонентных латуней, причем зависимость неоднородности распределения химических элементов исследованных сплавов в зависимости от условий получения и диффузионного отжига носит сложный характер. При температурах отжига выше $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдаются резкие увеличения неоднородности химического состава сплавов, причиной которых являются фазовые превращения в латунях.

Определено, что высокая скорость охлаждения ($\sim 10^5\text{--}10^6\text{ }^{\circ}\text{K}/\text{с}$) расплава реализует бездиффузионный механизм кристаллизации расплава, при котором растущие кристаллы присоединяют к себе атомы компонентов непосредственно из жидкой фазы, их окружающей. Это ведет к резкому уменьшению внутрикристаллитной ликвации.

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

Сплавы, в отличие от чистых металлов, кристаллизуются не при одной температуре, а в некотором ее интервале. Это вызывает появление неоднородности химического состава сплава, причем, чем шире температурный интервал кристаллизации сплава, тем большее развитие получает ликвация и сегрегация, ухудшая свойства сплавов.

Целью данной работы является исследование неоднородности химического состава в литых и быстрозакаленных сплавах системы Cu-Zn-Ni-Fe-P-Pb-Sn. Быстрозакаленные ленты данной системы получали методом спиннингования расплава на цилиндрическую поверхность медного диска, литые сплавы получали литьем в изложницу с охлаждением на воздухе. Исследование неравномерности распределения легирующих компонентов проводилось для литого сплава, быстрозакаленного сплава и сплавов после отжига на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LSH методом электронно-зондового анализа, при этом определяли химический состав в различных точках поверхности шлифов. Изотермический отжиг быстрозакаленных сплавов проводили в индукционной печи в среде аргона в течении 40 мин при температурах 100; 200; 300; 400; 500 °С.

Показано, что при высокой скорости охлаждения многокомпонентных латуней в процессе их высокоскоростной закалки из расплава состав α -твердого раствора изменяется не по равновесной линии солидуса, а по некоторой кривой, лежащей ниже, и чем выше скорость охлаждения расплава, тем больше будет отклонение. Легирующие элементы – железо, фосфор, свинец, олово – сдвигают область существования α -фазы влево, тогда как никель наоборот, расширяет границу α -твердого раствора диаграммы состояния. Кажущееся рассчитанное содержание цинка в исследованных сплавах находится в пределах 28–30 (вес.) %, что подтверждает фазовый состав исследованных сплавов.

включающие цилиндрические или конические шестерни, используются редко. Наибольшее применение получили реечные рулевые механизмы.

Реечные рулевые механизмы просты по конструкции, компактны и имеют наименьшую стоимость по сравнению с рулевыми механизмами других типов. Их КПД очень высок, приблизительно одинаков в обоих направлениях.

Основные эксплуатационные качества рулевого управления обеспечивает передаточное число рулевого механизма. Опыт современного автомобилестроения показал, что передаточное число нужно выбирать из условий маневренности и поворачиваемости автомобилей. Оно должно быть максимальным при прямом положении управляемых колес, резко уменьшаться в обе стороны от середины и далее быть постоянным или лучше немного уменьшающимся до конца поворота в обе стороны.

Известная зарубежная фирма выпускает реечный зубчатый рулевой механизм с переменным передаточным отношением.

На кафедре «Основы проектирования машин» ведутся работы по созданию технологичного зубчато-реечного рулевого механизма с переменным передаточным отношением.

Зубчатая рейка этого механизма выполнена за одно целое с поступательно перемещающейся гайкой резьбовой пары качения и находится в зацеплении с зубчатым сектором, геометрический центр которого не совпадает с осью его вращения. Такая конструкция рулевого механизма делает малочувствительными управляемые колеса к случайным внешним воздействиям, а при маневрировании повышает эффективность рулевого управления в целом. Рулевая зубчатая рейка имеет особую геометрическую форму, которая позволяет получить переменное передаточное число, уменьшающееся в обе стороны.

В научно-исследовательской лаборатории кафедры ОПМ создана экспериментальная установка, позволяющая подобрать наиболее оптимальные геометрические параметры как зубчатой рейки так и зубчатого сектора, входящих в состав рулевого механизма, а также оценить КПД различных модификаций этого механизма. В настоящее время проводятся исследования с целью оценки кинематической погрешности данного рулевого механизма, вносимой специфической формой начальных поверхностей зубчатых рейки и сектора.

Изготовление деталей такого механизма не потребуют специального оборудования, инструмента и технологической оснастки. К выполнению работ широко применяются студенты специальности «Техническая эксплуатация автомобилей».

А.П. ПРУДНИКОВ

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

Планетарные передачи с телами качения применяются, в настоящее время, для увеличения передаваемых усилий ручного механизированного инструмента (баллонных ключей, гайковертов и т.д.) и для создания малогабаритных редукторов технологического оборудования.

Благодаря компактности, данные передачи могут встраиваться в механизмы, работающие в условиях ограниченных диаметральных размеров. Разрабатываются конструкции передач с осевым перемещением тел качения. При вращении ведущего вала тела качения вследствие наложенных связей перемещаются по поверхности неподвижного кулачка, а также вдоль продольных пазов ведомого вала, вынуждая его вращаться с редукцией.

Разработаны конструкции двухскоростных планетарных передач с телами качения. Определены принцип действия и особенности конструкции данных передач, а также разработан механизм переключения скоростей. Также были проанализированы возможные комбинации передаточных чисел, которые могут быть реализованы для различных скоростей передач. Был разработан алгоритм определения оптимальных геометрических параметров и показателей эффективности работы исходя из конкретных условий применения двухскоростных планетарных передач с телами качения.

Исходя из полученных результатов исследований двухскоростных планетарных передач с телами качения, можно сделать вывод, что недостатком таких передач является неоптимальность значений амплитуды беговых дорожек внутреннего и наружного кулачков, используемых для получения одной из двух скоростей, и, соответственно, снижение КПД редуктора вследствие этого, а также необходимость осевого перемещения ведущего вала с внутренним кулачком относительно ведомого вала с пазами при переключении скорости, что ведет к усложнению конструкции передачи и сужению области использования данных редукторов.

К преимуществам относится то, что использование двухскоростных планетарных передач с телами качения позволяет расширить функциональные возможности ручного механизированного инструмента и технологического оборудования, созданного на их основе.

Е.И. ШИШКОВ, Е.В. БУТОЛИН

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

Планетарные прецессионные передачи типа 2К-Н в настоящее время нашли свое применение в системах с невысокими требованиями по долговечности, шумовым характеристикам и вибрациям.

Отличительной особенностью данных редукторов являются небольшие размеры, высокие коэффициенты редуцирования, что позволяет применять данные передачи в малогабаритных механических приводах, с относительно высоким КПД и небольшой себестоимостью изготовления.

При вращении входного вала приводится в движение сателлит, который передает вращение подвижному центральному колесу, которое, в свою очередь, жестко соединено с выходным валом редуктора и вынуждает его вращаться с редукцией.

В настоящее время рассматривается вопрос возможности управления выходными параметрами точности передачи на основе обработки значений кинематической погрешности передачи, как комплексного показателя. Применяя преобразование Фурье, раскладываем сигнал в виде бесконечного числового ряда, благодаря которому получаем амплитудно-частотный спектр данных. При рассмотрении амплитуд полученных гармоник, выделяются и оцениваются те элементы редуктора, которые оказывают наибольшее значительное влияние на кинематическую погрешность передачи в целом. Результаты анализа позволяют сделать выводы о назначении требуемой точности для наиболее ответственных деталей редуктора, что позволит на этапе проектирования редуктора прогнозировать его выходные показатели.

В том числе, в ходе работы планируется проанализировать возможные комбинации вариантов точности деталей редуктора, рассмотреть различные варианты технологических процессов обработки деталей передачи, произвести оценку эффективности производимых временных и материальных затрат.

К преимуществам относится то, что подобный анализ позволяет оценить способы обработки, маршруты обработки и выбрать наиболее подходящий по экономическим показателям и по показателям эффективности использования ресурсов. Кроме того, предложенный подход можно применять и при диагностике неисправностей уже эксплуатируемых передач.

Условия испытаний ИМВ следующие: частоту вращения выходного вала изменяли в диапазоне $n = 0-30 \text{ мин}^{-1}$, нагрузочный момент на выходном валу $T = 0-250 \text{ Н}\cdot\text{м}$. ИМВ работал непрерывно по 8–12 часов в сутки с частотой включения эксцентриковых МСХ 10 Гц.

В табл. 1. приведены основные параметры опытных образцов эксцентриковых МСХ, используемых в ИМВ.

При работе ИМВ с эксцентриковыми МСХ серии № 1 первый отказ произошел при $N_{ц} = 13 \cdot 10^6$ (зона соответствия). При продолжении испытаний до $N_{ц} = 20 \cdot 10^6$ отказов не наблюдалось, и испытания были признаны положительными.

Табл. 1. Основные параметры опытных образцов эксцентриковых МСХ

№ серии	Диаметр обоймы, мм	Угол заклинивания	Материал	Тип МСХ
1	60	$9^{\circ}30' \pm 25'$	Сталь ШХ15	Фрикционный
2	60	$9^{\circ}30' \pm 25'$	Сталь 12ХН3А	Фрикционный
3	60	$11^{\circ}30' \pm 30'$	Сталь ШХ15	Нефрикционный
4	60	$11^{\circ}30' \pm 30'$	Сталь 12ХН3А	Нефрикционный

При работе ИМВ с эксцентриковыми МСХ серии №2 первый отказ произошел при $N_{ц} = 3,4 \cdot 10^6$ (зона неопределенности) и испытания были продолжены. Второй, третий и четвертый отказы произошли соответственно при $N_{ц} = 5,9 \cdot 10^6$, $7,5 \cdot 10^6$ и $9,0 \cdot 10^6$ (зона неопределенности). Так как четыре отказа последовательно произошли в зоне неопределенности (хотя точки последних трех отказов достаточно близки к линии соответствия), то испытания признаны неудовлетворительными.

При работе ИМВ с эксцентриковыми МСХ серии №3 до $N_{ц} = 18 \cdot 10^6$ (зона соответствия) отказов не наблюдалось. В связи со стабильной работой эксцентриковых МСХ и ИМВ в целом испытания были признаны положительными.

При работе ИМВ с эксцентриковыми МСХ серии №4 первый отказ произошел при $N_{ц} = 7,2 \cdot 10^6$ (зона неопределенности) и испытания были продолжены. Второй и третий отказы произошли соответственно при $N_{ц} = 9,2 \cdot 10^6$ и $10 \cdot 10^6$ (зона неопределенности). Так как три отказа последовательно произошли в зоне неопределенности, то испытания были признаны неудовлетворительными.

Требуемый уровень надежности ИМВ при использовании эксцентриковых МСХ фрикционного и нефрикционного типов, выполненных из материала сталь 12ХН3А, не обеспечивается.

Общее время испытаний ИМВ составило: 540 часов (эксцентриковые МСХ серии №1), 250 часов (эксцентриковые МСХ серии №2), 500 часов (эксцентриковые МСХ серии №3) и 270 часов (эксцентриковые МСХ серии №4).

УДК 621.833.389

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ КАЧЕНИЯ

Н.И. РОГАЧЕВСКИЙ, М.Э. ПОДЫМАКО, С.Н. РОГАЧЕВСКИЙ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилёв, Беларусь

В машиностроении широко используются червячные передачи благодаря известным преимуществам. Однако они обладают низким КПД, обусловленным геометрией и кинематикой червячного зацепления. Устранение этого недостатка привело к созданию червячных передач качения, представляющих собой нетрадиционный тип передач с перекрещивающимися осями валов. В этих передачах вместо червяка используется закрепленная на ведущем валу витая цилиндрическая пружина или винт с прямоугольной (трапецеидальной) резьбой, а вместо червячного колеса применяется один или два диска с закрепленными в них в подшипниках пальцами или с установленными в них пальцами, на которых закреплены подшипники качения. Такие передачи просты в изготовлении, не требуют высокой точности изготовления деталей и их монтажа в редукторе, так как упругая податливость пружины компенсирует значительные погрешности, не имеют дорогостоящих антифрикционных материалов, могут использоваться в качестве открытых передач без масляной ванны. Высокий КПД обеспечивает замена трения скольжения качением витков пружины или винта по вращающимся в подшипниках качения пальцам или по наружным кольцам подшипников качения, установленным на пальцах. В червячных передачах качения значительно уменьшены потери передаваемой энергии, что является весьма актуальным. Особенно это важно для передач редукторов общего назначения, многие из которых эксплуатируются в непрерывном режиме и могут перегреваться.

Для научно-обоснованного подхода к проектированию таких передач необходимы исследования напряженного состояния закрепленных в дисках колеса подшипников качения, в которых консольно установлены пальцы, составляющие кинематические пары с пружиной или винтом. Этим исследованиям посвящена настоящая работа.

При консольной установке пальца в подшипник, последний нагружается ведущей пружиной или винтом не только традиционной радиальной силой, но и воспринимает изгибающий палец момент. Момент имеет значительную величину, так как конструктивно плечо приложения изгибающей палец силы соизмеримо с диаметром рабочей поверхности пальца. Момент, перекашивая относительно друг друга кольца подшипника, способствует уменьшению радиального зазора в подшипнике и осевой игры колец, что приводит к распределению нагрузки между большинством тел качения, а не их половиной, как при действии только радиальной силы. По

этой причине до некоторых значений отношения изгибающего палец момента к радиальной силе условия работы подшипников качения почти не ухудшаются. Это подтверждается экспериментальным определением момента трения в радиальном шариковом подшипнике 204 на созданном стенде. Многочисленные стендовые испытания показали, что с возрастанием величины указанного отношения момент трения повышается незначительно. Экспериментальный стенд состоит из основания, закрепленной на нем стойки, в отверстие которой установлен испытуемый подшипник, во внутреннее кольцо которого запрессован палец. На пальце посредством второго подшипника 204 с возможностью осевого смещения закреплена подвеска для размещения гирь, создающих радиальную нагрузку и изгибающий палец момент, величина которого изменяется осевым смещением подвески.

Тела качения в подшипнике нагружены неравномерно. Величина воспринимаемой конкретным шариком силы пропорциональна удалению его от мгновенной оси относительного перекося колец. Задача распределения сил между телами качения является статически неопределимой. В дополнение к уравнениям статики необходимо использовать уравнения перемещений. Перемещения (сближения) тел качения и колец подшипника равны соответствующим проекциям полного смещения кольца. Для шарикоподшипника зависимость между сближением шарика с кольцом и сжимающей силой вытекает из решения задачи теории упругости о сжатии упругих тел.

Исследовано напряженно-деформированное состояние подшипника 204 от действия силы $F = 2500$ Н, которая прикладывалась к внутреннему кольцу подшипника с боковым эксцентриситетом l , величина которого изменялась от 0 до 28 мм. Наружное кольцо подшипника фиксировалось, имитируя посадку в корпус. Подшипник рассматривался как идеальный, у которого размеры элементов равны номинальным и радиальный зазор равен нулю.

Изучено распределение радиальных и осевых усилий между телами качения. Найдены абсолютные деформации элементов подшипника при разных значениях l .

Распределения контактных напряжений в деталях подшипника определены для следующих вариантов его нагружения:

- 1) действует только радиальная сила;
- 2) действует только момент;
- 3) совместное действие силы и момента.

При действии только радиальной силы положения пятен контакта постоянны и изменяются лишь их площади. Увеличение момента изменяет положения и размеры пятен контакта между элементами подшипника, происходит смещение их к краю беговой дорожки кольца и возникновение кромочного контакта тел качения и реборды дорожки. В этих местах происходит увеличение контактных напряжений.

О.В. ШАРКОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Калининград, Россия

Проведено экспериментальное исследование надежности работы импульсного мотор-вариатора (ИМВ) с эксцентриковыми механизмами свободного хода (МСХ) фрикционного и нефрикционного типов.

ИМВ имел следующие технические характеристики: передаваемая мощность $P=1,5$ кВт; максимальный вращающий момент на выходном валу $T=250$ Н·м; диапазон изменения частоты вращения $n=0-30$ мин⁻¹; габариты $L \times B \times H=400 \times 320 \times 380$ мм.

ИМВ и эксцентриковые МСХ являются восстанавливаемыми изделиями и при испытаниях их надежности наиболее эффективен последовательный метод контроля по ГОСТ 27.410-87 «Надежность в технике. Методы последовательных испытаний».

При работе ИМВ частота включения эксцентриковых МСХ за один и тот же период времени может быть различна, поэтому при исследовании надежности удобно использовать не время работы МСХ, а соответствующее ему число включений: $N_{ц}$ – общее число включений; $N_{н}$ – число включений, соответствующее нижний границе доверительного интервала наработки на отказ; N_{α} – число включений, соответствующее заданным требованиям.

Для определения допускаемого числа отказов $[k]$ при работе ИМВ в предположении справедливости экспоненциального распределения в координатах $[k]=f(N_{ц}/N_{\alpha})$ строят наклонные линии (линии соответствия), показывающие зону соответствия, неопределенности и несоответствия фактического уровня надежности изделия заданным требованиям.

По рекомендациям ГОСТ 27.410-87 число включений, соответствующее заданным требованиям назначалось $N_{\alpha}=2 \cdot N_{н}$. Следует учитывать, что для разных МСХ величина $N_{н}$ различна и одинаковая величина отношения $N_{ц}/N_{\alpha}$ соответствует разному числу $N_{ц}$.

Согласно экспериментальным данным $N_{н}$ эксцентриковых МСХ: фрикционного типа $2,04 \cdot 10^6$ (сталь ШХ15) и $0,96 \cdot 10^6$ (сталь 12ХН3А); нефрикционного типа $2,1 \cdot 10^6$ (модуль $m=0,5$ мм, сталь ШХ15) и $1,65 \cdot 10^6$ (модуль $m=0,5$ мм, сталь 12ХН3А).

С.Н. ХАТЕТОВСКИЙ, *Н.В. КОРОТУН, *Е.Г. ЯЩЕНКО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПТК»
Могилев, Беларусь

Традиционная методика определения передаточного отношения зубчатого механизма базируется на следующих принципах. Пусть в одной и той же неподвижной системе отсчета известны уравнения рабочих поверхностей контактирующих элементов зубчатого механизма с учетом погрешностей их изготовления и сборки: $\vec{r}_1 = \vec{r}_1(u_1, v_1, \varphi_1)$, $\vec{r}_2 = \vec{r}_2(u_2, v_2, \varphi_2)$, где u_1 и v_1 - параметры первой рабочей поверхности; u_2 и v_2 - параметры второй рабочей поверхности; φ_1 и φ_2 - углы поворота контактирующих элементов. Пусть также известны нормали к первой и ко второй поверхностям: $\vec{n}_1 = \vec{n}_1(u_1, v_1, \varphi_1)$, $\vec{n}_2 = \vec{n}_2(u_2, v_2, \varphi_2)$. Решая систему уравнений

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_2, \quad (1)$$

$$\frac{n_{1x}}{n_{2x}} = \frac{n_{1y}}{n_{2y}} = \frac{n_{1z}}{n_{2z}}, \quad (2)$$

где n_{1x} , n_{1y} , n_{1z} - проекции вектора $\vec{n}_1$; n_{2x} , n_{2y} , n_{2z} - проекции вектора $\vec{n}_2$, находим u_1 , v_1 , u_2 , v_2 и φ_2 как функции от φ_1 .

Дифференцирование функции φ_2 по φ_1 позволяет найти искомое передаточное отношение зубчатого механизма. Однако, данная задача часто наталкивается на значительные математические трудности, и ее приходится решать численными методами, что в итоге приводит к неточным результатам, даже если использовать ЭВМ. На основе уравнения зацепления зубчатого механизма была получена зависимость, которая позволяет существенно облегчить расчеты и упростить саму методику определения передаточного отношения:

$$u_{21} = \frac{M_1}{M_2}, \quad (3)$$

где M_1 - это момент общей нормали к рабочим поверхностям относительно оси вращения первого контактирующего элемента, а M_2 - момент общей нормали к рабочим поверхностям относительно оси вращения второго контактирующего элемента.

В результате использования зависимости (3) ошибки численного решения задачи определения передаточного отношения зубчатого механизма могут быть значительно уменьшены.

Ф. М. САНЮКЕВИЧ, С. В. МОНТИК
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Курсовой проект по деталям машин предполагает изучение основ расчета и проектирования, начиная с простейших элементов машин общего назначения. При этом значительный объем расчетной части проекта приходится на передачи зацеплением (зубчатые и червячные). Для эвольвентных цилиндрических зубчатых передач внешнего зацепления основные расчетные зависимости для расчета на прочность установлены ГОСТ 21354-87, для конических зубчатых и червячных передач такие стандарты отсутствуют. Однако указанный стандарт, а также другие литературные источники, широко используемые при курсовом проектировании, приводят формулы с разными единицами одинаковых физических величин, в результате чего не соблюдаются правила независимости расчетных формул от системы единиц физических величин. По этой причине профессор М. Н. Иванов считает, что такие расчетные зависимости нецелесообразно использовать в учебном процессе. Основываясь на его рекомендациях на кафедре технической эксплуатации автомобилей УО «БрГТУ» была разработана методика упрощенного расчета зубчатых и червячных передач и соответствующее программное обеспечение, что позволяет студентам более глубоко уяснить сущность выполняемых расчетов и лучше изучить методику расчета зубчатых и червячных передач, работающих в закрытых корпусах.

По мнению авторов, с методической точки зрения при учебном проектировании не следует в расчетных зависимостях на прочность для передач зацеплением выносить из-под знака радикала приведенный модуль упругости материалов контактируемых зубьев шестерни и колеса, на что неоднократно обращал внимание и профессор М. Н. Иванов.

Данная методика представлена в виде подробных примеров расчета, которые носят однако общий характер. Каждый из примеров содержит необходимые справочные данные для проектирования передачи и соответствующие пояснения, учитывающие особенности этой передачи (например, предварительные углы наклона зубьев косозубой и шевронной передач, особенности расположения передачи относительно опор и т. п.). Такой подход позволяет использовать предлагаемую методику расчета для раз-

личных схем редукторов с различными передачами при курсовом проектировании.

Для реализации вышеизложенного подхода к расчету зубчатых и червячных передач при выполнении курсового проектирования по дисциплине «Детали машин» было разработано программное обеспечение (ПО) на базе системы MathCAD, которое позволяет выполнять геометрический расчет, а также прочностной проектный и проверочный расчеты цилиндрических, конических и червячных передач.

ПО представляет собой документ MathCAD, в котором изложена методика расчета в соответствии с разработанным и изданным методическим пособием, представлены необходимые справочные данные в виде таблиц, графиков и рисунков, а также приведен пример расчета. При выполнении проектирования передач студент вводит свои исходные данные, выбирает самостоятельно в соответствии с рекомендациями материал и термообработку деталей передачи, необходимые поправочные коэффициенты, при этом происходит автоматический пересчет данных в примере расчета. Такой подход позволяет самостоятельно изучить методику расчета закрытых зубчатых и червячных передач, при этом рутинные расчетные операции автоматизированы, что снижает трудоемкость и повышает качество выполнения курсового проекта.

На основе методического пособия было также разработано электронное средство обучения, которое представляет собой гипертекстовый документ, в котором содержится вышеизложенная методика расчета передач с удобной системой ссылок. Этот документ возможно просматривать с помощью Web-браузера. Студенты могут использовать данное электронное средство обучения в локальной вычислительной сети университета либо через Internet, что удобно для студентов-заочников.

Предлагаемая методика расчета закрытых передач зацеплением при курсовом проектировании по деталям машин обеспечивает более глубокое изучение основ расчета этих передач, так как в более доступной для студента форме показывает взаимосвязь и влияние различных факторов на параметры проектируемой передачи.

Разработанная методика упрощенного расчета, ПО и электронные средства обучения внедрены в учебный процесс и используются студентами машиностроительного факультета БрГТУ при выполнении курсового проекта по дисциплине «Детали машин», что сокращает затраты времени на выполнение проекта и повышает эффективность учебного процесса.

УДК 621.833
ГЕОМЕТРИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ, СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗАЦЕПЛЕНИЕ,
НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОЕ К ИЗМЕНЕНИЮ
ИХ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ

С.Н. ХАТЕТОВСКИЙ, А.П. КАЗАРОВЕЦ, К.Н. АРИНЕНКО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Эвольвентное зацепление отличается от других традиционно используемых зубчатых зацеплений особым свойством – оно нечувствительно к изменению межосевого расстояния контактирующих звеньев. Под нечувствительностью к изменению межосевого расстояния контактирующих звеньев подразумевается, прежде всего, сохранение передаточного отношения. Это важнейшее свойство эвольвентного зацепления наряду с технологичностью предопределило его успех и позволило использовать данное зацепление в самых различных областях техники.

В результате проведенных исследований было доказано, что не только эвольвентное зацепление обладает вышеуказанным свойством. Можно осуществить синтез бесконечного числа зацеплений, которые нечувствительны к изменению не только межосевого расстояния контактирующих звеньев, но и вообще – к любому изменению их относительного положения, залогом чего является особая геометрия рабочих поверхностей. Достаточно, чтобы момент единичной нормали к рабочей поверхности контактирующего звена относительно оси его вращения был постоянен для всех точек этой поверхности, причем указанные точки должны быть эллиптического типа. Последнее условие необходимо для устранения кромочного контакта, который может возникнуть при изменении относительного положения рабочих поверхностей.

Были получены общие параметрические уравнения, описывающие все возможные рабочие поверхности, обеспечивающие зацеплению нечувствительность к изменению их относительного положения.

Конкретный вид такой рабочей поверхности зависит от задаваемых уравнений кривой, через которую должна проходить искомая поверхность.

Полученные уравнения позволили найти такие важные геометрические параметры рабочих поверхностей, как главные кривизны, причем последние определены для всех поверхностей в целом.

Полученная математическая модель рабочих поверхностей с рассматриваемым свойством может служить базой для оптимизации их геометрических параметров по самым различным критериям.

Кинетический момент первого тела

$$L_1 = I_0 \omega = I_0 \frac{L}{I}; \quad (8)$$

и второго тела

$$L_2 = (mv) \cdot r = mr^2 \omega = mr^2 \frac{L}{I}. \quad (9)$$

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

$$\frac{dL_1}{dt} = -M_\kappa - M_\varepsilon, \quad (10)$$

где $M_\kappa = \frac{iL}{I}$.

Моменты реакций связей и силы тяжести равны нулю. Найдем M_ε сил инерции углового ускорения. При этом

$$a_\tau = \varepsilon r = \frac{d\omega}{dt} r; \quad \Phi_\tau = ma_\tau = m \left(\frac{d\omega}{dt} \right) \cdot r; \quad M_\varepsilon = (ma_\tau) \cdot r = m \frac{d\omega}{dt} r^2,$$

$$\text{где } \omega = \frac{L}{I}; \quad a \frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{L}{I} \right) = L \frac{d}{dt} (I^{-1}) = -LI^{-2} \dot{I} = -\frac{\dot{I}}{I^2} L.$$

$$\text{Следовательно, } M_\varepsilon = -m \left(\frac{\dot{I}}{I^2} L \right) r^2 = -\frac{\dot{I}}{I^2} mr^2 L.$$

$$\text{Представим уравнение (10) в виде} \\ \frac{dL_1}{dt} = -\frac{\dot{I}L}{I} - \left(-\frac{\dot{I}}{I^2} mr^2 L \right) = -\frac{\dot{I}L}{I} + \frac{\dot{I}}{I^2} mr^2 L = -\frac{\dot{I}L}{I} + \frac{\dot{I}}{I^2} L (mr^2 + I_0 - I_0) = -\frac{\dot{I}L}{I} + \frac{\dot{I}L}{I^2} LI_0$$

$$\text{Тогда } \frac{dL_1}{dt} = -\frac{\dot{I}LI_0}{I^2}. \text{ Откуда } L_1 = -I_0 L \int \frac{\dot{I}}{I^2} dt.$$

Введем замену

$$\frac{1}{I} = Z; \quad -\frac{\dot{I}}{I^2} dt = dZ; \quad L_1 = -I_0 L \int dZ = I_0 LZ + c = \frac{I_0 L}{I} + c.$$

$$\text{При } t=0 \quad L_1 = \frac{I_0 L}{I_0 + mr^2}, \quad I = I_0 + mr^2.$$

$$\text{Откуда } c=0, \quad L_1 = \frac{LI_0}{I}, \text{ что соответствует (8).} \quad (11)$$

Следовательно, моменты инерции сил системы применительно к отдельным телам системы действуют как моменты внешних сил.

Рассмотрим влияние сил инерции на тело 2.

$$\frac{dL_2}{dt} = M_\kappa + M_\varepsilon = \frac{\dot{I}L}{I} - \frac{\dot{I}}{I^2} mr^2 L = \frac{\dot{I}L}{I} - \frac{\dot{I}}{I^2} L (mr^2 + I_0 - I_0) = \frac{\dot{I}L}{I} - \frac{\dot{I}L}{I} + \frac{\dot{I}}{I^2} LI_0.$$

$$\text{Тогда } \frac{dL_2}{dt} = \frac{\dot{I}LI_0}{I^2}.$$

$$\text{Решая данное уравнение } L_2 = I_0 L \int \frac{\dot{I}}{I^2} dt \text{ и введя замену } \frac{1}{I} = Z; \quad \frac{\dot{I}}{I^2} dt = -dZ, \\ \text{получим } L_2 = -I_0 L \int dZ = -I_0 LZ + c = -\frac{I_0 L}{I} + c.$$

$$\text{При } t=0 \quad L_2 = \frac{mr^2 L}{I_0}. \text{ Откуда } c = L, \text{ а } L_2 = L - \frac{LI_0}{I} = L - L_1. \quad (12)$$

Следовательно, и в рассматриваемом случае, соблюдается условие $L_1 + L_2 = L$.

УДК 531.8

РАСЧЕТ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАЛЫХ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

С.А. СЕНЬКОВ, А.В. ЛОКТИОНОВ

Учреждение образования

«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Витебск, Беларусь

Известно дифференциальное уравнение малых колебаний эллиптического маятника, состоящего из ползуна, шарика и стержня. При этом используется координатный способ задания движения ползуна и шарика. Вертикальная ось проведена через начальное положение центра тяжести системы, который движется ввиду отсутствия горизонтальных внешних сил по вертикали. Принято, что в начальный момент ползун находится в покое, угловая скорость вращения шарика $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 = 0$, угол отклонения $\varphi = \varphi_0 \neq 0$.

Рассмотрим эллиптический маятник, который состоит из ползуна, перемещающегося без трения по горизонтальной прямой, и шарика, подвешенного к ползуну нерастяжимым стержнем. Масса ползуна равна M , масса шарика – m , длина нерастяжимого стержня – l . Принимаем, что в начальный момент угол $\varphi = \varphi_0 = 0$, а угловая скорость $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 \neq 0$. Найдем закон движения ползуна и шарика в зависимости от заданных начальных условий, при которых $\dot{\varphi}_0 = \omega_0 \neq 0$.

Для решения воспользуемся уравнением Лагранжа. Принимаем, что на маятник не действуют силы тяжести и потенциальная энергия системы $\Pi = 0$. Система обладает двумя степенями свободы, а значит двумя обобщенными координатами x и φ . Тогда уравнения Лагранжа примут вид:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0.$$

Рассчитаем кинетическую энергию T системы:

$$T = T_I + T_{II},$$

где T_I – кинетическая энергия первого тела; T_{II} – кинетическая энергия второго тела.

Кинетическая энергия ползуна определяется из выражения:

$$T_I = \frac{M}{2} v_I^2 \text{ или } T_I = \frac{M \dot{x}^2}{2}.$$

Кинетическая энергия шарика определяется из выражения:

$$T_{II} = \frac{m}{2} v_{II}^2 \text{ или } T_{II} = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + 2l\dot{x}\dot{\varphi} \cos \varphi + l^2 \dot{\varphi}^2).$$

Тогда полная кинетическая энергия системы будет равна:

$$T = \frac{M\dot{x}^2}{2} + \frac{m}{2}(\dot{x}^2 + 2l\dot{x}\dot{\varphi} \cos \varphi + l^2\dot{\varphi}^2).$$

Определяя частные производные кинетической энергии по координате и скорости и, интегрируя первое уравнение Лагранжа с учетом принятых начальных условий при $t = t_0 = 0$, $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0$, $\varphi = \varphi_0 = 0$, $\dot{x} = \dot{x}_0 = 0$, определим скорость движения ползуна:

$$\dot{x} = \frac{ml(\dot{\varphi}_0 - \dot{\varphi} \cos \varphi)}{M + m}. \quad (1)$$

Уравнения (1) выражает зависимость скорости ползуна от угловой скорости вращения и угла отклонения стержня l от вертикальной оси.

Интегрируя уравнение (1), получим:

$$x = \frac{ml(\dot{\varphi}_0 t - \sin \varphi)}{M + m}. \quad (2)$$

Уравнение (2) выражает закон движения ползуна в зависимости от угла отклонения стержня l от вертикальной оси и времени.

Решая второе уравнение Лагранжа, имеем:

$$\dot{\varphi} = \frac{\dot{\varphi}_0}{\sqrt{1 + \frac{m}{M} \sin^2 \varphi}}. \quad (3)$$

Уравнения (3) выражает зависимость угловой скорости вращения маятника от угла отклонения стержня l от вертикальной оси.

Из уравнения (3) найдем закон движения эллиптического маятника, считая угол φ малым. Так как для малых углов $\sin \varphi \approx \varphi$, $\cos \varphi \approx 1$, а $\sin^2 \varphi < \sin \varphi$, принимаем $\sin^2 \varphi = \varphi$. Тогда уравнение (3) примет вид:

$$\sqrt{1 + \frac{m}{M} \varphi} d\varphi = \dot{\varphi}_0 dt. \quad (4)$$

Решая уравнение (4) окончательно имеем:

$$\varphi = \frac{M}{m} \left[\sqrt{\left(\frac{3m}{2M} \dot{\varphi}_0 t + 1 \right)^2 - 1} \right]. \quad (5)$$

Уравнение (5) выражает закон движения малых колебаний эллиптического маятника.

Подставляя уравнения (5) в уравнение (2) получим закон движения ползуна в зависимости от времени и заданной начальной угловой скорости вращения маятника.

УДК 531.8 РАСЧЕТ КИНЕТИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ТЕЛА ПО ВРАЩАЮЩЕМУСЯ ДИСКУ

А.С. СОКОЛОВА, А.В. ЛОКТИОНОВ

Учреждение образования

«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Витебск, Беларусь

Рассмотрим движение системы тел при ее 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

$$L = I\omega. \quad (2)$$

Продифференцируем равенство (2) и получим

$$\frac{dL}{dt} = I \frac{d\omega}{dt} + \frac{dI}{dt} \omega = M^e. \quad (3)$$

Из равенства (3) следует, что ускорение системы

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M^e - \frac{dI}{dt} \omega}{I}. \quad (4)$$

Из (4) видно, что если $M^e = \frac{dI}{dt} \omega$, то $\frac{d\omega}{dt} = 0$, т.е. $\omega = const$; $M^e > \frac{dI}{dt} \omega$, то $\frac{d\omega}{dt} > 0$; $M^e < \frac{dI}{dt} \omega$, то $\frac{d\omega}{dt} < 0$. Анализ уравнения (4) показывает, что ускорение не всегда совпадает по направлению с моментом внешних сил.

Дифференцируя уравнение (1), получим

$$\frac{dI}{dt} = 2mr\dot{r} = 2mr\dot{r} = 2mr\nu. \quad (5)$$

Момент кориолисовых сил инерции при движении тела 2

$$M_\kappa = 2m(\omega\dot{r}) \cdot r = 2mr\nu\omega. \quad (6)$$

Из равенств (5) и (6) следует, что

$$\frac{dI}{dt} \omega = M_\kappa. \quad (7)$$

Полученная формула (7) 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.