МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОГИЛЕВСКИЙ ОБЛАСТНОЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ КОМИТЕТ

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии

Материалы международной
научно-технической конференции
Часть 1
Могилев, 21– 22 апреля 2011 г.

Могилев
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
2011

УДК 621:531:621.76:62-83«324»(043.2)
ББК 65.30:34.6:31.291
М34

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

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

М34 **Материалы,** оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. : В 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, 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, 2011. – Ч. 1. – 297 с. : ил.

ISBN 978-985-492-092-4.

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 современных технологий и машин сварочного производства, получения и обработки новых материалов и покрытий.

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

УДК 621:531:621.76:62-83«324»(043.2)
ББК 65.30:34.6:31.291

ISBN 978-985-492-092-4 (Ч.1)
ISBN 978-985-492-091-7

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2011

УДК 629.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И СТИМУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА ДЛЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В МИРОВОЙ ПРАКТИКЕ

А. Н. КАРТАШЕВИЧ, В. С. ТОВСТЫКА
Учреждение образование
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»
Горки, Беларусь

Для Республики Беларусь важное значение имеет снижение энергетической зависимости от нефтяного топлива, так как разработка своих запасов нефти не удовлетворяет потребностей Республики в углеводородном топливе.

Мировое сообщество давно осознало, что трактора и автомобили вносят значительный вклад в ухудшение окружающей среды. Одним из направлений снижения токсичных выбросов от использования этих машин является применение альтернативных видов топлива для их силовых установок. Практически все силовые установки тракторов и значительная часть автомобилей являются дизелями. На базе дизельного двигателя проще расширять перечень применяемых топлив, так как двигатель с принудительным воспламенением не может работать на тяжёлых топливах, которые плохо испаряются и не пригодны для карбюрации [1].

Спектр возобновляемых альтернативных видов топлива, применяемых для автотракторной техники, в настоящее время довольно широк. Среди них можно выделить следующие – это биогаз, спирты, топлива на основе растительных масел, диметиловый эфир.

Биогаз. Смесь метана и диоксида углерода при наличии небольшого количества других газов называют биогазом. Его состав: 55…80 % CH_4; 15…40 % CO_2 ; 0…1 % H_2S; 0…1 % N_2; 0…1 % H_2 [2].

Получают биогаз практически из любых отходов (солома, зерно, отходы жизнедеятельности животных, силос, подстилка для скота, пищевые и другие отходы ферм, твердые бытовые отходы, отходы предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию). В результате переработки в биогаз отходов сельского хозяйства и других отраслей промышленности можно дополнительно получить до 10 % производимой в мире энергии [3].

В качестве моторного топлива для ДВС используют не биогаз, а полученный из него биометан. Для хранения на борту автомобиля, биометан сжимают до 20…40 МПа или сжижают. Сжижать газ наиболее перспективно. Состав сжиженного биометана и сжиженного природного газа

практически одинаковы (95…98 % метана). По показателям работы двигателя биометан ничем не отличается от природного газа. И газобаллонное оборудование, работающее на этих видах топлива, полностью идентично [4].

При применении биометана в качестве топлива для дизелей снижаются дымность и выбросы CO и NO_x с ОГ. Но в связи с низким цетановым числом и, соответственно, плохой воспламеняемостью возникают значительные трудности при организации рабочего процесса [5].

Для организации рабочего процесса в дизеле с использованием биометана требуется применение двойной системы топливоподачи, в которой порция газа воспламеняется с помощью запальной порции дизельного топлива. При этом замещается от 80 до 100 % ДТ.

Спирты. К спиртовым топливам можно отнести метанол и этанол. Они получили наибольшее распространение в качестве моторного топлива и хорошо зарекомендовали себя при использовании в качестве добавок к ДТ.

Проблемой применения спиртов как топлива для дизелей являются их низкие цетановые числа (метанол ЦЧ=5, этанол ЦЧ=8) и более чем в 4 раза высокой теплотой парообразования по сравнению с дизельным топливом, что приводит к большой продолжительности задержки воспламенения, а также к затруднению пуска дизеля. Помимо указанных выше недостатков, использование спиртов в дизелях затрудняется из-за их плохих смазывающих свойств, что ведет к повышенному износу топливной аппаратуры. В связи с высокой коррозионной активностью элементы топливной системы двигателя, изготовленные из лёгких сплавов и неметаллических материалов, должны быть заменены. Так как низшая теплота сгорания спиртов ниже нефтяного топлива, то и расход его увеличится в 1,5 раза. В связи с облегчением топлива повышается шумность дизеля [5].

Просто заменить ДТ на спирт в штатной топливной системе дизеля невозможно. Необходимо компенсировать изменение свойств этих топлив. В настоящее время исследователями выделены разнообразные способы применения спиртов в качестве топлив для дизелей [6, 7]: растворы и эмульсии спиртов в дизельном топливе; карбюрирование или впрыскивание спирта во впускную систему, а дизельного топлива в цилиндр; впрыскивание спирта и запального топлива в цилиндр; конвертация дизеля в двигатель с внешним смесеобразованием и принудительным зажиганием; впрыскивание спирта с присадкой, повышающей цетановое число.

При использовании эмульсии метилового спирта в ДТ наблюдается снижение содержания сажи и твердых частиц в ОГ дизеля, что является следствием повышенного содержания кислорода в спирте. При использовании спирта температура отработавших газов снижается, соответственно уменьшаются выбросы NO_x. Содержание CO остаётся на уровне работы на

Научное издание

Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии

Материалы международной
научно-технической конференции
Часть 1
Могилев, 21–22 апреля 2011 г.

Авторы несут персональную ответственность за содержание тезисов докладов

Технический редактор И. В. Брискина

Компьютерная верстка И. В. Брискина

Подписано в печать 16.05.2011г. Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл.печ.л. 17,26. Уч.-изд.л. 19,31.
Тираж 190 экз. Заказ № 355.

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.

КРАВЧИНСКИЙ А.В. Разработка и исследование микропроцессорных устройств управления для РТК предприятий энергетики Республики Беларусь…….. 260
КРУТОЛЕВИЧ С.К., МИСНИК А.Е., ДЕМИДЕНКОВ К.А., МЕЛЬНИКОВ И.И. Разработка системы автоматического управления режимом работы тепловой сети…… 261
МЕЛЬНИКОВ И.И., ЗАХАРЧЕНКОВ К.В., АЛБКЕИРАТ Д.М., ЯКИМОВ А.И. Программный комплекс имитации производственно-экономической деятельности…….. 263
МОРОЗОВ А.В. Методика построения каналов обмена с абонентами в вычислительных системах специального назначения.. 265
ПАРФЕНОВИЧ О.Н., КАПИТОНОВ О.А., ТРЕТЬЯКОВ А.С. Экспериментальное исследование работы от ТРН асинхронного с короткозамкнутым ротором электродвигателя в электромехатронном исполнении…… 267
ПАРФЕНОВИЧ О.Н., ЕФИМЕНКО Е.В. Измерение частоты вращения ротора асинхронного электродвигателя при параметрическом регулировании с использованием тиристорного регулятора напряжения (ТРН)…… 268
ПОПОВ А.В., КОНОВАЛОВ К.Г. Разработка автоматизированной системы управления прибором для оценки износостойкости материалов для низа обуви…… 270
СЕРГИЕНКО О.В., ВАЙНИЛОВИЧ Ю.В., КАШПАР А.И. Применение дидактической многомерной технологии в образовательном процессе……. 272
СКАРЫНО Б.Б. Применение компьютерных программ тестирования для оценки знаний студентов…… 274
СКАРЫНО Б.Б. Использование компьютерных технологий при организации лабораторных работ по электротехническим дисциплинам…… 276
СЛУКА М.П., ЧЕРНАЯ Л.Г., АБАБУРКО В.Н. Особенности систем управления топливнораздаточных колонок автозаправочных станций…….. 278
СТОЛЯРОВ Ю.Д., ВАСИЛЕВСКИЙ В.П. Замена страниц в оперативной памяти ЭВМ……... 280
ЧЕРНАЯ Л.Г., СЛУКА М.П., АБАБУРКО В.Н. Организация промышленных сетей систем управления для взрывоопасных зон… 281
ЯКИМОВ Е.А., ДЕМИДЕНКО О.М., КОВАЛЕВИЧ А.А. Сингулярный спектральный анализ временных рядов с нормальным шумом…… 283
ЯСЮКОВИЧ Э.И. Виртуальные испытания курсового движения многозвенных автопоездов…… 285

ДТ. Наблюдается незначительное повышение CO_2 и C_nH_m. Так же спиртам при сгорании свойственны повышенные выбросы альдегидов (формальдегиды для метанола и альдегиды для этанола). Но, тем не менее, спирты возможно получать из возобновляемых источников и они расширяют спектр топлива для дизелей.

Растительные масла. Растительные масла в чистом виде были впервые испытаны в двигателе Рудольфа Дизеля в конце XIX века. В последующем их вытеснило нефтяное топливо в связи с меньшей стоимостью. Однако после повышения цен на нефть в 1977 году исследователи вновь вернулись к растительным маслам, как альтернативному возобновляемому топливу для дизельных двигателей. Научный поиск при исследовании растительных видов топлива ведётся в различных направлениях в Европе (Англия, Германия, Польша, Франция, Швеция), в Азии (Япония, Китай, Индия, Индонезия) и США.

В мировой практике сложилось два основных направления по применению топлив из растительных масел: приближение свойств масел к свойствам ДТ и адаптация дизельного двигателя к применяемым топливам. Свойства растительных масел, в основном, изменяют за счёт их переработки в эфиры, что с энергетической точки зрения является невыгодным. Предпринимаются и другие попытки приблизить свойства растительного масла к свойствам нефтяного ДТ.

Очищенное и отбеленное соевое масло подвергли термическому крекингу с применением метода перегонки нефтепродуктов. Полученное топливо назвали TCSBO. В результате такой обработки масла увеличилось его цетановое число с 38 до 43 единиц и снизилась вязкость. Моторные испытания на полученном топливе, при сравнении с ДТ, показали снижение эффективной мощности и удельного расхода топлива, увеличение максимальной скорости повышения давления в цилиндре при высоких нагрузках, снижение выбросов NO_x с ОГ, но увеличение концентрации C_nH_m [8].

Проводят также пиролиз растительных масел. При этом из продуктов разложения масел можно выделить фракции подобные по свойствам ДТ.

В качестве моторного топлива в мировой практике использовались различные растительные масла: арахисовое, хлопковое, соевое, подсолнечное, рапсовое, кокосовое, пальмовое. В Европе наиболее перспективными считают топлива, полученные из рапсового масла, так как рапс относительно зимостоек и неприхотлив при выращивании.

При возделывании рапса необходимо строго соблюдать весь технологический цикл. Рапс не выносит ледяной корки и затопления. Вероятность гибели в осенне-зимне-весенний период возрастает в результате повреждения болезнями, вредителями, холодами в момент протекания интенсивных обменных процессов в тканях растений. Длительное воздействие близких к нулю температур в осенний период может вызвать энзиматиче-

скую активность клеток, стимулируя прохождение яровизационных процессов, что снижает холодостойкость растений рапса до минус 6…8 °С. Особенно подвержены данному явлению переросшие и загущенные посевы. Весенние заморозки вызывают появление на стеблях разрывов и трещин, что нарушает подачу питательных веществ в растения и способствует заражению грибными болезнями. Наибольшее отрицательное влияние на урожайность рапса оказывают весенние заморозки в период цветения растений. При пониженных температурах нарушается процесс оплодотворения и завязывания семян, бутоны и цветы увядают, стручки не образуются. При возделывании рапса необходимо учитывать его высокую потребность в воде на протяжении всего периода вегетации. В засушливые годы рапс сильнее остальных масленичных культур подвергается нападению многочисленных вредителей, а в годы с чрезмерным увлажнением его посевы в большей степени поражаются грибными болезнями.

США является ведущей страной, производящей соевое масло. В странах Азии имеются большие сырьевые ресурсы соевого и арахисового масел, на Филиппинах – пальмовое масло, в Канаде – модифицированный рапс (канола), в Индии – ятрофа, в Африке – соя и ятрофа, в Бразилии – соя и касторовое масло. Для России перспективным представляется использование подсолнечного масла.

Кроме того, в России в последнее время начаты исследования [9] по применению рыжика – рода растений из семейства капустных. Это однолетние травы, покрытые сидячими, сердцевидными листьями. Цветки бледно- или золотисто-желтые, собранные в конечные кисти. Стручки несколько вздутые, грушевидные, гнезда многосемянные, семена мелкие, богатые маслом. До выведения в культуру во второй половине 19 века рыжик был сорным растением, а поэтому малотребователен к теплоте (холодостойкость -25 °С без снежного покрова) и влаге, выносliв, урожаи постоянны и стабильны, Средняя урожайность рыжика в южных районах России составляет 0,12 т/га, рапса – 0,9 т/га. От насекомых практически не страдает. В семенах рыжика содержится до 47 % жирного масла.

Рыжиковое масло (РыжМ) применяется в химической, фармацевтической и пищевой промышленности и велика вероятность – в АПК.

Метиловый эфир рапсового масла. Метиловый эфир – это топливо по своим характеристикам наиболее близко к ДТ. МЭРМ или биодизель хорошо смешивается с дизельным топливом [10].

Биодизель – это эфиры соответствующих масел, которые используются как дизельное топливо. Метиловый эфир обычно получают методом известным как «трансэфиризация». Молекула глицерольного эфира жирной кислоты расщепляется на молекулы метилового эфира. При этом масла и жиры реагируют со спиртом (обычно метанол), а катализатором является натриевый или содовый гидроксид (сода, щелок, поташ или едкий натрий).

ПДВ 120/70…….. 236
ЛУПАЧЕВ В.Г. Перспективы применения нанотехнологий и наноматериалов при сварке плавлением……. 238
МЕЛЬНИК М.В. Особенности проявления магнитного дутья при сварке…… 240
ПОЛЯКОВ А.Ю., ФУРМАНОВ С.М. Об особенностях формирования ступенчатых соединений при рельефной сварке…… 242
СИНИЦА А.Н., СИНИЦА М.А. База данных лаборатории неразрушающего контроля…… 243
ФУРМАНОВ С.М., ПОЛЯКОВ А.Ю. О деформации поверхностей деталей при точечной сварке с применением электрода с увеличенной площадью контакта…… 244
ЦУМАРЕВ Ю.А., ИГНАТОВА Е.В., ЛАТУН Т.С. Рациональное конструирование паяных соединений с накладками... 246
ЯКУБОВИЧ Д.И., ШАБЛОВСКИЙ А.В. Влияние механически легированных композиционных порошковых материалов на свойства шва при дуговой наплавке……..…… 247

Секция 9. Автоматизация и электропривод

БОРЧИК Е.М., БАШАРИМОВ В.В., ЯКИМОВ А.И. Обобщение результатов кластеризации данных в ходе имитационных экспериментов…… 248
ВАЙНИЛОВИЧ Ю.В., СЕРГИНКО О.В., КАШПАР А.И. Педагогические условия преодоления пассивности студентов-заочников в процессе обучения в вузе……. 250
ВАСИЛЕВСКИЙ В.П., СТОЛЯРОВ Ю.Д. Инновационные технологии в образовании…….. 251
ВИШНЕРЕВСКИЙ В.Т. Исследование математического описания линейных и кольцевых объектов с распределенными параметрами для случая продольных деформаций…… 253
ГЕРАЩЕНКО В.В., МИРОНОВ К.Д. Стенд для диагностирования электродвигателей электроприводов технологического оборудования…… 255
ЕВДОКИМОВИЧ П.Ю. Моделирование микропрофиля опорной поверхности в методике виртуальных испытаний…… 256
ЗАЙЧЕНКО Е.А., ЩЕРБО Н.М., ШЕБАН Т.Л. Использование виртуальных машин в инженерном образовании……. 257
КОЛЬЦОВ С.В., ОВСЯННИКОВ К.В., РОСЛОВЦЕВ О.П. Последовательно-параллельная коррекция систем подчиненного регулирования с упругими связями при помощи П-Д регулятора…. 258
КРАВЧИНСКИЙ А.В. Микропроцессорное устройство управления…… 259

материалы для газотермического напыления и покрытия из них….. 213
ХАБИБУЛЛИН А.И., ПАЦЕЙ В.Ф. Применение дисперсно-упрочненной меди – эффективный метод повышения стойкости средненагруженных коммутирующих контактов…… 214
ХАБИБУЛЛИН А.И., ЛОВШЕНКО Ф.Г. Оптимизация геометрических параметров помольной камеры механореактора для реакционного механического легирования дисперсно-упрочненной меди…… 216
ШЕМЕНКОВ В.М., ЛОВШЕНКО Ф.Г., ЛОВШЕНКО Г.Ф. Влияние тлеющего разряда на структуру безвольфрамовых твердых сплавов…….. 218
ШУМОВ О.В. Получение антифрикционных покрытий……. 219

Секция 4. Ресурсосберегающие технологии в сварочном производстве.
АНДРУШЕВИЧ А.А., ВАЛАДЬКО А.Е., КИРКЕВИЧ А.И. Особенности термитной сварки чугунов…….. 220
БЕЛОКОНЬ В.М., ЛУКЬЯНЧИКОВ И.А. Основные преимущества и недостатки сварки плавлением в защитных газах... 222
БЕЛОКОНЬ В.М., ЛУКЬЯНЧИКОВ И.А. О траектории движения брызг электродного металла при сварке…… 223
БЕНДИК Т.И., БЕРЕЗИЕНКО В.П., ДЬЯЧЕНКО В.И. О параметрах режима контактной рельефной сварки Т-образных соединений…… 225
БЕРЕЗИЕНКО В.П., ЕМЕЛЬЯНОВ С.Н. Этапы формирования соединений при точечной сварке оцинкованных сталей…… 227
БОЛОТОВ С.В., КУРЛОВИЧ И.В., БАНСЮКОВА Е.Л. Особенности контактной микросварки…… 229
БОЛОТОВ С.В., БЕЛЯГОВ А.М., ИВАНОВА Л.Е. Влияние пластической деформации на магнитные свойства аустенитных сталей…… 230
ДЕСЯТНИК В.В., РОТАЧ А.П. О скорости распространения сварочных деформаций потери устойчивости…… 231
КУЛИКОВ В.П., ЛИПКОВА А.В., ЛИПКОВ В.В. Технология сварки с использованием газа МАФ (метилацетилен-алленовая фракция)…… 232
ЛУПАЧЕВ А.В. Исследование топографии электродных потенциалов сварных соединений оцинкованных сталей…….. 233
ЛУПАЧЕВ А.Г., ХАРЧЕВНИКОВА Е.А. Сварка камеры сгорания газотурбинного генератора мощностью 14 Мвт…… 235
ЛУПАЧЕВ А.Г., ХАРЧЕВНИКОВА Е.А., ГОПАНОВИЧ С.Н. Восстановление рабочих поверхностей пресс-дробилки валковой

В результате этой реакции получают метиловый эфир рапсового или другого масла и глицерин. В процессе реакции для получения 1 т метилового эфира расходуется 980 кг масла, 125 кг метилового спирта, 14,2 кг катализатора [11].

Метиловый эфир может подаваться в двигатель как в чистом виде, так и в смеси с ДТ через штатную топливоподающую систему. Необходима лишь замена некоторых уплотнительных материалов, к которым эфир агрессивен. По сравнению с дизельным топливом МЭРМ имеет ряд достоинств: высокое цетановое число, высокую температуру вспышки, лучшие смазывающие свойства [12].

Однако он имеет и ряд недостатков: низкая стабильность при хранении, отрицательное влияние на моторное масло. Метиловый эфир растворяет лакокрасочные покрытия и резину.

Так же при использовании смесевых топлив на основе эфира рапсового масла изменяются показатели рабочего процесса дизеля. При неизменных регулировках топливной аппаратуры с увеличением содержания эфира жёсткость и максимальное давление сгорания растут. Эти изменения заметны при работе дизеля на топливе с содержанием более 10 % МЭРМ [13].

Присутствие кислорода в метиловом эфире (до 11 %) улучшает процесс сгорания, что приводит к уменьшению выбросов C_nH_m на 10…56 %, CO на 10…43 %, CO_2 и сажи на 50…55 %. В связи с практически полным отсутствием в МЭРМ серы (10…15 ppm) и ароматических соединений в ОГ дизеля практически нет оксидов серы и ПАУ. При этом наблюдается увеличение эмиссии NO_x на 10 %. В совокупности выхлоп дизеля становится на 60…90 % менее токсичен. Однако если учесть количество углекислого газа, выделяемого в атмосферу при промышленном производстве биодизеля, то экологические преимущества получаются практически нулевыми. При учёте выбросов углеводородов во время производства метилового эфира суммарное их количество оказывается на 35 % выше, чем при применении ДТ.

Применение альтернативных видов топлива в Европе стимулируется межправительственными законодательными актами. В 2003 году в Европейском Союзе была принята Директива 2003/30/ЕС, в которой основной целью было увеличение доли возобновляемого топлива в общем топливном балансе стран. Необходимость повышения доли использования биотоплива на транспорте указано в Белой Книге ЕС по стратегии в области энергетики (1997г.). В Зелёной Книге ЕС (2000г.) подчёркивается ценность биомассы в обеспечении надёжности энергоснабжения [14].

Межправительственные соглашения в области биологического топлива были поддержаны национальной политикой отдельных стран ЕС. Шесть

стран: Франция, Германия, Испания, Италия, Швеция, Австрия стали производить биотопливо на коммерческой основе.

С 1992 года Франция установила 100 % освобождение от налогов на производство биодизеля и 80 % освобождение от налогов – на небольшие проекты по этанолу. Однако Европейская Комиссия (ЕК) в 2000г. запретила такие льготы, так как объём продукции значительно вырос и составил 420 тыс.т. ЕК установила квоты на производство биотоплива на уровне 317,5 тыс.т.

Страны как Германия и Австрия не имеют ограничений на производство биотоплива. Политику по биотопливу в этой стране регулирует закон об акцизах на нефть и нефтепродукты («Mineralolsteuergesetz»). Спирт и топливо из растительного масла не попадают под действие этого закона, так как не являются минеральными видами топлива. Так же в законе указывается, что право на освобождение от налогов имеют растительные топлива с максимальным содержанием углеводородов до 3 %.

В Испании существуют фискальные меры, в соответствии с которыми налоговые вычеты от инвестиций в новые капиталовложения, которые будут использовать возобновляемые источники энергии составляют 10 % от общей суммы инвестиций. Кроме того, для биотоплива в соответствии с Королевским Декретом 1165/95 уменьшены акцизные сборы. Для проектов по производству биотоплива из древесины, сельскохозяйственных и промышленных отходов существует субсидия в размере 30 %, которая заявлена в Декрете 615/1998.

В Италии с увеличением доли биодизеля в ДТ снижается акциз на топливо. Так же существует закон, который регулирует смешивание этанола с бензином (Legislative Decree 2800 от 1994 г.).

Шведское правительство освободило биотопливо от налогов на электроэнергию и от экологических налогов и сборов – «Акт о налогообложении энергии» (Act 1994:1776). Два налога от которых освобождены биотоплива – это налог на выбросы CO_2 и серы. Кроме прямых налогов для поддержки производства и использования биотоплива в Швеции существуют косвенные механизмы – так называемые «зелёные налоги». Субсидий на использование биотоплива в Швеции нет.

В Австрии фермеры получают деньги за то, что выращивают энергетические культуры (например, рапс). Так же присутствуют налоговые льготы на биодизельное топливо. В качестве биодобавок в этой стране используют арахисовое и кокосовое масла [15].

Похожие механизмы применяются и в других странах: Бельгия, Финляндия, Дания, Греция, Ирландия, Нидерланды, Великобритания. В Финляндии в качестве топлива используется смесь содержащая 1/3 РМ и 2/3 ДТ и обозначается как R33. Фирмой «Caterpiller» в Бразилии рекомендует-

движения……. 180
КРЫШИЛОВИЧ Е.В., ОРЕХОВА С.Е. Выделение соединений ванадия из ванадийсодержащих отходов сернокислотного производства…… 182
КУРИЛО И.И., ЧЕРНИК А.А., ЖАРСКИЙ И.М. Катодное восстановление меди из отработанных сернокислых электролитов.. 184
ЛОВШЕНКО Ф.Г., ЛОВШЕНКО Г.Ф., ЛОЗИКОВ И.А. Структура и свойства механически легированных хромовых и хромоциркониевых бронз…… 186
МИХЕДОВА Е.В., ЧЕРНИК А.А., ЖАРСКИЙ И.М. Электрохимическое осаждение меди на стальную основу из аммиакатного электролита…… 187
НЕРОДА М.В., ЦИОНЕНКО Н.М. Влияние технологического тока при магнитно-электрическом шлифовании (МЭШ) на шероховатость поверхности упрочняющих покрытий…… 189
НЕРОДА М.В. Влияние режимов магнитно-электрического шлифования на твердость упрочняющих покрытий……... 191
ОВЧИННИКОВ Е.В., СТРУК В.А., ЧЕКАН Н.М., ЭЙСЫМОНТ Е.И. Алмазоподобные антифрикционные покрытия... 193
ПЕТРОВ С.В. Свойства алмазоподобных покрытий……..… 195
ПИЩ И.В., ГВОЗДЕВА Н.А. Синтез керамических пигментов шпинельной структуры в системе Al_2O_3–Cr_2O_3–CdO…….. 197
ПОДБОЛОТОВ К.Б., ДЯТЛОВА Е.М., ТИШКЕВИЧ О.Н. Получение огнеупорных защитных покрытий футеровок теплотехнических агрегатов…….. 199
ПОПОВА Ж.А. Повышение стойкости деталей машин импульсным электромагнитным полем……. 201
СТАРОВОЙТОВ А.М., ФЕДОСЕНКО А.С. Напыление покрытий из порошковой смеси белого чугуна и алюминия…….. 203
СТЕЦЕНКО В.Ю., ПЕВНЕВ А.М., СИДОРСКИЙ А.А. Литье мелкокристаллических заготовок поршней из заэвтектического силумина без модификаторов……. 204
СТРУК В.А., КРАВЧЕНКО В.И., ОВЧИННИКОВ Е.В., КРАВЧЕНКО К.В. Наноструктурированные материалы для защитных элементов карданных передач……. 206
СТРУК В.А., КРАВЧЕНКО В.И., ОВЧИННИКОВ Е.В., СКАСКЕВИЧ А.А., ЛЕЩИК С.Д. Функциональные полимерные материалы для автомобильных агрегатов…… 208
ТЕРЕЩЕНКО И.М., КРАВЧУК А.П., ОМЕЛЬЯНОВИЧ Д.А., ЕФРЕМОВ К.А. Исследование возможности снижения содержания оксида свинца в составе хрусталя……. 211
ФЕДОСЕНКО А.С. Дисперсно-упрочненные порошковые

БАТРАК В.В., ВЕРЕМЕЙЧИК А.И., САЗОНОВ М.И. Генератор низкотемпературной плазмы аргона для нанесения износостойких покрытий…… 152
БЕВЗА В.Ф., ПОКРОВСКИЙ А.И., ГРУША В.П. Получение полых заготовок из чугуна с шаровидным графитом для пластической деформации…… 153
БЕВЗА В.Ф., ГОРЕЦКИЙ Г.П., ОРУНОВ Р.Ж. Литье заготовок из аустенитного чугуна методом направленного затвердевания……. 155
ВАН ЦЗИНЦЗЕ, ШЕПЕЛЕВИЧ В.Г. Формирование структуры в быстрозатвердевших сплавах системы индий–кадмий…… 157
ВЫСОЦКИЙ Т.В., ВЫСОЦКИЙ В.Т. Производство легированных порошковых цементуемых сталей…… 159
ГАВРИЛЕНЯ А.К. Многооперационное измельчение связно-сыпучих материалов…… 161
ГОЛОЗУБОВ А.Л. Влияние состояния поверхности подложки на эксплуатационные свойства жаростойких тонкопленочных кремнийсодержащих покрытий…… 163
ГОЛОЗУБОВ А.Л., ГОЛОЗУБОВА А.А. Исследование прочностных характеристик жаростойких тонкопленочных кремнийсодержащих покрытий…… 164
ГРОМЫКО Ж.Н., НЕВЕРОВ А.С. Прочностные характеристики полиэтиленовых пленок, ингибированных нефтью 166
ГРУША В.П. Литье намораживанием полых заготовок малых диаметров из высокохромистого чугуна……. 168
ДЬЯКОВ И.Ф., БЕЛОБОРОДОВ С.Г., КОКОРИН В.Н. Оптимизация параметров при изучении процесса уплотнения многофазных гетерогенных структур…… 170
ЕКИМЕНКО А.Н., КОЛДАЕВА С.Н., ПОЛИЩУК Л.Н., РОМАНОВИЧ А.С. Производство погонажных изделий из высоконаполненных композиционных материалов методом плунжерной экструзии…… 172
ЖАРСКИЙ И.М., ОРЕХОВА С.Е., КУРИЛО И.И., КРЫШИЛОВИЧ Е.В. Электрохимическая стадия переработки промышленных ванадийсодержащих отходов……..… 174
ЖИЛКО Л.В., ШЕПЕЛЕВИЧ В.Г. Микроструктура быстрозатвердевших сплавов системы алюминий–индий……..…. 176
ИГНАТОВ Б.И. Формирование тонкопленочных металлических покрытий на керамических подложках…….. 178
КИСЕЛЕВ М.Г., ДРОЗДОВ А.В., ЯМНАЯ Д.А. Технологическое оборудование для распиливания монокристаллов алмаза при сообщении заготовке периодического циркуляционного

ся к использованию смесь растительного масла (соевое, подсолнечное или из земляных орехов) с дизельным топливом в соотношении 1:9.

В настоящее время и в Республике Беларусь актуальным является вопрос применения возобновляемых источников энергии с целью обеспечения энергетической безопасности страны. Это подкреплено рядом нормативных актов: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 ноября 2005г. № 1339 «Об утверждении перечня государственных программ фундаментальных и прикладных научных исследований в области естественных, технических, гуманитарных и социальных наук на 2006–2010гг.», Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005г. № 512 «Об утверждении перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 годы», Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 7 ноября 2006г. № 1155 «Об утверждении Стратегии снижения выбросов и увеличения абсорбции поглотителями парниковых газов в Республике Беларусь на 2007–2012гг.», Указ Президента Республики Беларусь от 6 июля 2005г. № 315 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь», Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства».

Для выполнения этих нормативных документов Президента и Совета Министров необходимо проведение широкомасштабных научно-исследовательских работ по всему спектру альтернативных видов топлива, результаты которых будут внедрены в производство.

Следует отметить, что в Беларуси применяется только биотопливо (СТБ 1658-2006) с содержанием метиловых эфиров жирных кислот не более 5 %. Переработка рапсового масла на метиловый эфир является стремлением приблизить его свойства к свойствам дизельного топлива. МЭРМ получают химической обработкой РМ метанолом. Этот процесс не является экологически чистым и требует дополнительных затрат энергии. В результате прибыль энергии при сжигании МЭРМ будет почти в 2 раза ниже, чем при сжигании РМ. Метиловый эфир – это ядовитая и агрессивная по отношению к лакокрасочным покрытиям и резиновым уплотнителям жидкость, он отрицательно влияет на моторное масло и нестабилен при хранении [16].

В Белорусской государственной сельскохозяйственной академии в аккредитованной лаборатории испытания двигателей внутреннего сгорания и топлив проводятся научные исследования по изучению возможности применения рапсового масла, этанола, метанола и биогаза для питания дизельных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Марков, В. А.** Топлива и топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей / В. А. Марков, С. И. Козлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2000. – 296 с.

2. **Карташевич, А. Н.** Возобновляемые источники энергии: науч.-практ. пособие / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка. – Горки: БГСХ, 2007. 264 с.

3. **Гусаков, С**. А. Работа дизеля на топливах, полученных из возобновляемых источников, и пути совершенствования его рабочего процесса / С. А. Гусаков, П. А. Вальехо // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2006. – № 3. – С. 69–71.

4. **Кириллов, Н. Г.** Сжиженный биометан – перспективное моторное топливо / Н. Г. Кириллов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 12. – С. 10–13.

5. **Льотко, В. А.** Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. А. Льотко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.

6. **Лиханов, В. А.** Применение метаноло-топливных эмульсий в тракторных дизелях / В. А. Лиханов, С. А. Плотников. – Киров, НИИСХ Северо-Восток, 2000. – 96 с.

7. **Плотников, С. А.** Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей применением спиртосодержащих топлив / С. А. Плотников, С. Н. Гущин. – Киров, 2003. – 162 с.

8. **Niehaus, R. A.** Cracked soybean oil as a fuel for a diesel engine / R. A. Niehaus, C. E. Goering, L. D., Sorenson S. C. // Transaction of the ASAE. – 1986. – Vol. 29. № 3. – P.683–689.

9. Биотопливо из рыжика / А. П. Уханов [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2011. – № 2. – С. 8–10.

10. **Митусова, Т. Н.** Дизельное топливо из альтернативных источников энергии / Т. Н. Митусова, М. В. Калинина // Охрана окружающей среды в городе : сборник докладов / Юго-Восток-сервис; редкол.: К. К. Какака [и др.]. – Москва, 2006. – С. 129–136.

11. **Аблаев, А. А.** Биодизель: мыслить за пределами нефтяной трубы / А. А. Албаев // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2007. – № 1. – С. 61–65.

12. **Смирнова, Т. Н.** Биодизель – альтернативное топливо для дизелей / Т. Н. Смирнова, В. М. Подгаецкий // Двигатель. – 2007. – № 1. – С. 32–35.

13. Особенности рабочего процесса дизелей при применении смесевого биотоплива различного состава / Г. М. Кухарёнок, [и др.] // Рапс: масло, белок, биодизель: материалы междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 25–27 сентября 2006 г. / под общ. ред. д-ра с.-х. наук, проф. М. А. Кадырова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2006. – С. 203–207.

14. **Каргиев, В. А.** Законодательные инициативы Европейского Союза по стимулированию применения альтернативных видов топлива для транспорта и энергоснабжения / В. А. Каргиев // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2005. – № 5. – С. 56–59.

15. Использование биологических добавок в дизельное топливо / В. М. Федоренко [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротехник», 2007. – 52 с.

16. **Пабло Вальехо.** Применение раздельной подачи топлива растительного происхождения в малоразмерный дизель с целью улучшения его экологических показателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. / Пабло Вальехо. – Москва, 2000. – 16 с.

обработки деталей зацепления…… 122

НАЗАРЕНКО В.Г., МИРОНОВА П.В. Методика расчета элементов конструкций на заданную резонансную частоту…….. 123

НЕДОВОДЕЕВ В.Я., НЕФЕДОВА Д.М. К вопросу о влиянии элементов арочного каркаса на местную устойчивость балок сплошного сечения…… 125

ПИЩОВ М.Н., БЕЛЬСКИЙ С.Е., БОРИСЕВИЧ А.Л. Анализ виброускорений упрочненных конических передач переднего ведущего моста трелевочного трактора ТТР –401…… 127

ПИЩОВ М.Н., БЕЛЬСКИЙ С.Е., БОРИСЕВИЧ А.Л. Исследование динамической нагруженности колесных трелевочных тракторов…… 129

ПИЩОВ М.Н., БЕЛЬСКИЙ С.Е., НЕСТЮК Ю.П. Определение усталостных характеристик стали 25ХГТ при проведении комплексного борирования…… 131

ПОКАТИЛОВ А.Е., ЗАГРЕВСКИЙ В.И., ЛАВШУК Д.А. Геометрия масс тела человека…… 133

ПОНОМАРЕВА О.А., КОЛПАК И.С. Плавнорегулируемый механизм рулевого управления транспортного средства……..…. 135

ПРУДНИКОВ А.П., ЛУСТЕНКОВ М.Е. Коэффициент перекрытия роликовых планетарных передач……..… 137

ПУЗАНОВА О.В. Моделирование планетарных передач……. 138

РОГАЧЕВСКИЙ С.Н., ПОДЫМАКО М.Э., РОГАЧЕВСКИЙ Н.И. Влияние радиального зазора и эксцентриситета нагрузки подшипников червячных передач качения……..…. 140

СИДОРЕНКО А.Г. Макролокализация пластической деформации и сопротивление усталости деталей машин…… 142

ТАРХАНОВ В.И., САДРИЕВ Р.М. Расчет соединений с самостопорящимися гайками…… 144

ТАРХАНОВ В.И., САДРИЕВ Р.М. Проблема прочности шатунных болтов автомобильных двигателей…… 145

ХАТЕТОВСКИЙ С.Н., КОРОТУН Н.В., ПАВЛОВИЧ М.С. Методика прогнозирования подрезания зубьев механических передач…… 147

Секция 3. Технологии получения и обработки новых материалов и покрытий

АНТИХОВИЧ И.В., ЧЕРНИК А.А. Электроосаждение никелевых покрытий с ацетатом натрия и аммония…… 148

БАРАНОВСКИЙ К.Э., ИЛЬЮШЕНКО В.М., ДУВАЛОВ П.Ю. Отливки из износостойких чугунов, армированные твердосплавными элементами…… 150

балансировка колеса привода ветроэнергоустановки в полевых условиях…… 92
БЛАГОДАРНАЯ О.В., МИНАКОВ А.П. Анализ влияния различных факторов на качество обработки швейных игл…… 94
БОРИСЕНКО Л.А., КОМАР В.Л., КАЛЕЕВ Д.Н. Исследование планетарных передач с зубчато-цепной гибкой связью…….. 96
БОРИСЕНКО Л.А., КОМАР В.Л., КАЛЕЕВ Д.Н. Разработка новых конструкций двухступенчатых планетарных механизмов…. 98
ВЕРЕМЕЙЧИК А.И., ХВИСЕВИЧ В.М. Об алгоритме численного решения краевых задач нестационарной термоупругости…….. 100
ГОЛУБ В.М., ДОБРИЯНИК Ю.А. Анализ изнашиваемых деталей оборудования перерабатывающей пищевой промышленности…… 101
ГОЛУБ В.М., МАРТЫНОВ А.В. Повышение износостойкости рабочих элементов уплотнительных устройств валов гидромашин 103
ГОНЧАРОВ П.С., КРИВОНОГОВА Е.Г. Использование компьютерного моделирования для исследований механических передач новых типов…… 105
ГРОМЫКО П.Н., ЛЯБИК В.И., ДОКОНОВ Т.Г. Кинематический анализ прецессионной передачи фрикционного типа…….. 107
ДАНЬКОВ А.М., ГОРБАЧЕВ А.А., ЛОБОРЕВ И.М., РЕУТ Ю.М. Параметры противовесов для полной балансировки планетарной плавнорегулируемой передачи…… 109
ДЕМОКРИТОВА А.В., ДЕМОКРИТОВ В.Н. Связи между длинами звеньев при оптимизации рычажных механизмов…… 111
ДРАГАН А.В. Мониторинг технического состояния многовальных механических приводов на основе зубчатых передач 112
ЗАВИСТОВСКИЙ В.Э. О природе усталости восстановленных коленчатых валов…… 114
ЗАХАРОВ А.В., ЗАХАРОВА И.О. Метод расчета кинематики подъемно-навесного устройства трактора…….. 116
ИОФФЕ А.З., ДАНЬКОВ А.М. Принципы полной балансировки планетарной плавнорегулируемой передачи…… 118
ЛАПТИНСКИЙ В.Н. Об одном подходе к анализу колебаний в автономных системах со многими степенями свободы…… 120
МИНАКОВ А.П., ПАШКЕВИЧ А.М. Зависимость КПД радиально-плунжерных редукторов от износа деталей зацепления.. 121
МИНАКОВ А.П., ПАШКЕВИЧ А.М. Зависимость КПД радиально-плунжерных редукторов от вида смазки и вида

УДК 625

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

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

Республика Беларусь импортирует около 84 % потребляемых топливно-энергетических ресурсов. В связи с этим повышение эффективности их использования является одним из наиболее важных направлений деятельности всех органов государственного управления.

Так, Указом Президента Республики Беларусь от 26.06.2006г. была утверждена Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2006–2010 гг., в которой поставлена задача обеспечить снижение энергоемкости валового внутреннего продукта (далее – ВВП) в 2010г. на 26–30,4 % по отношению к 2005 г., при темпах роста ВВП за этот период 146–155 %[1].

За период 1997–2010 гг. при росте ВВП на 131 % к уровню 1997 г. снижение энергоемкости продукции составила 57,3 %. Снижение энергоемкости ВВП республики является результатом государственного регулирования в организации работы по энергосбережению [2].

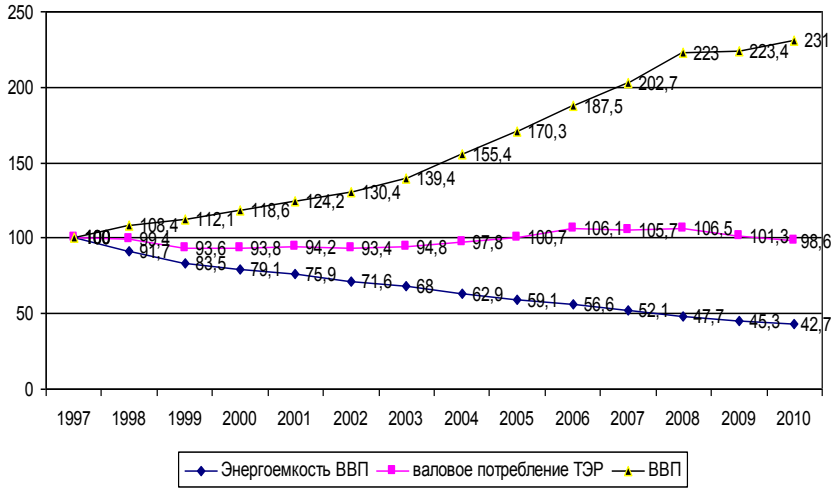


Рис. 1. Изменение ВВП, потребления топливно-энергетических ресурсов и энергоемкости ВВП в Республике Беларусь по годам относительно данных 1997 года

Вместе с тем, нынешняя структура экономики такова, что в Беларуси расходуется сырья и энергоресурсов на единицу продукции в 2–3 раза больше, чем в развитых странах мира, а энергоемкость ВВП в республике в 1,5–2 раза выше, чем в Канаде, Финляндии, Швеции, Польше (страны со схожими климатическими условиями) (рис.2). Эти данные свидетельствуют о значительных резервах, которыми еще обладает республика в плане экономии ТЭР.

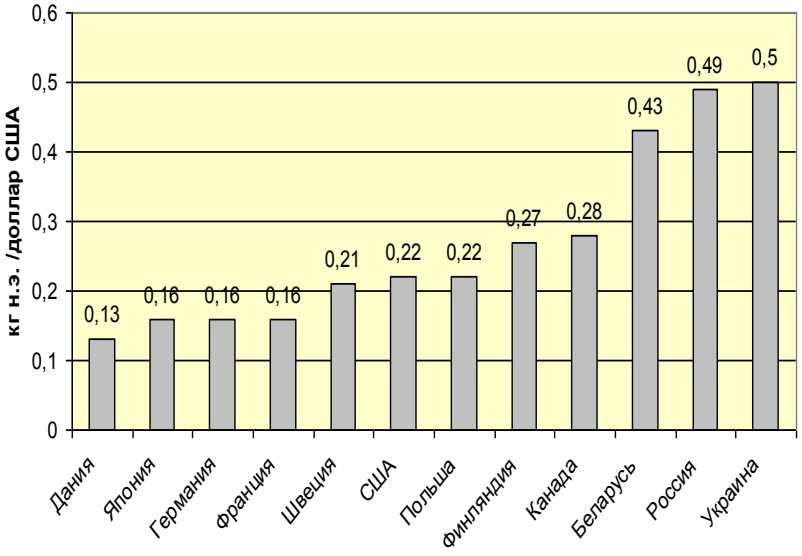


Рис. 2. Энергоемкость ВВП по странам мира

Принятые Российской Федерацией решения о резком повышении в 2007 году цен на поставляемые в Республику Беларусь энергоносители значительно ухудшили макроэкономические условия развития народнохозяйственного комплекса страны, как в текущем году, так и на последующие годы [3].

Единственный путь выхода из ситуации – это инновационный путь развития, энерго- и ресурсосбережение, снижение материальных и энергетических затрат в стоимости продукции, работ и услуг. Произошедшее в 2007г. скачкообразное увеличение стоимости природного газа, приобретаемого у ОАО «Газпром» (рис.3) , а также существенное изменение условий поставки нефти на нефтеперерабатывающие заводы, предопределили необходимость усилить значимость вопросов экономии и бережливости.

обработки железнодорожных колес чашечным резцом с непрерывным обновлением режущей кромки…… 65
ОМЕСЬ Д.В., ГОРБУНОВ В.П. Термоупругий анализ стойки консольно-фрезерного станка…… 67
ПАШКЕВИЧ А.В., САМОСЮК Е.В. Обоснование конструкции трехпродуктового гидроциклона с автоматизированным выводом выделенных загрязнений…….. 69
ПАШКЕВИЧ В.М. Устранение эффекта Гиббса при компьютерной обработке сигнала кинематических погрешностей… 71
ПАШКЕВИЧ М.Ф. Способ тонкого поверхностного деформирования поверхностей и инструмент для его осуществления…… 73
ПЕЧКОВСКАЯ О.Е. Геометрический анализ эксцентриковых зубчатых передач с модифицированным зацеплением…….. 75
РУДЕНКО С.П., ВАЛЬКО А.Л., КУЗЬМЕНКОВ О.В. Проектирование технологических процессов химико-термической обработки зубчатых колес…… 76
РЯЗАНЦЕВ А.Н. Эффективность процедур параметрической и структурной оптимизации в САПР технологических процессов…. 78
САЛИВОНЧИК Ю.Н., СОКОЛ В.А. Мониторинг износа режущего инструмента…… 80
СПИРИДОНОВ Н.В., КОРОТКЕВИЧ А.Ф., ШЕМЕНКОВ В.М. Повышение эффективности лезвийной обработки за счет модификации инструмента в тлеющем разряде…… 82
СТЕЦЕНКО В.Ю., ЛАПТИНСКИЙ В.Н., РИВКИН А.И. Прогнозный расчет оптимального размера кольцевой щели в устройстве вторичного охлаждения отливок…… 83
ТКАЧЕНКО В.В., ШУЛЯК В.В., КАНДЕЛИНСКИЙ С.Л., КУЗНЕЧИК О.О., КРУПЕНЬ А.М. Фотобарьеры в системах безопасности металлообрабатывающего технологического оборудования…… 84
ЦЫБУЛЬСКАЯ М.Н., ИКОН А.В., РОМАНОВСКИЙ В.И. Разделение смазочно-охлаждающих жидкостей…… 86
ШАТУРОВ Д.Г., ЖОЛОБОВ А.А. Уточнение методики расчета износа чашечных резцов с микрообновляемой режущей кромкой…… 88

Секция 2. Машиноведение, детали машин и прикладная механика

АКУЛИЧ Я.А., АКУЛИЧ А.П. Диагностика узлов трения методами ультразвуковой томографии…….. 90
БАСИНЮК В.Л., КУЛЕШОВА А.В. Вибродиагностика и

сборки червячных передач…… 37
КАПИТОНОВ А.В. Разработка методики и баз данных для расчета станочных приспособлений на точность…… 38
КАРАСЬ И.К. Исследование деформации крупномодульных зубчатых колес при химико-термической обработке…… 39
КАСЬЯН Л.В., ГОРБУНОВ В.П. Прогнозирование и оценка точности шпиндельных узлов…… 41
КОЖЕВНИКОВ М.М. Методы мониторинга состояния сборочно-сварочных роботов-манипуляторов на основе нейронных сетей..... 43
КОЖЕВНИКОВ М.М., УЛЬЯНОВ Н.И. Методы планирования траекторий сварочных роботов при наличии ограничений на ориентацию технологического инструмента…… 45
КУПРЕЕВ М.П., ЛЕОНОВИЧ Е.Н. Разработка и исследование свойств легкоплавкой керамической связки для абразивного инструмента…… 47
ЛАПТИНСКИЙ В.Н., РОМАНЕНКО А.А., СТЕЦЕНКО В.Ю. К расчету охлаждающей способности струйного кристаллизатора при непрерывном литье…… 49
ЛЕВДАНСКИЙ А.М., ЛЕВДАНСКИЙ И.А. Конструкция резца с механическим креплением вставок из сверхтвердых материалов…… 50
ЛЕВКИНА Л.Б., ТЕРЕХОВ М.В., АВЕРЧЕНКОВ А.В. Автоматизация разработки постпроцессоров для современного металлообрабатывающего оборудования…… 52
ЛОГВИН В.А., ХРУЩЕВА А.Н. Исследование процесса непрерывного обновления режущей кромки чашечного резца…….. 53
ЛОГВИН В.А., ЧЕРНОВ А.С. Ионно-лучевая имплантация….. 55
ЛУКАШЕНКО В.А. Новые инструменты для контроля конусных поверхностей…….. 57
МЕДВЕДЕВ О.А., РОЖКОВ Ю.В. Теоретико-вероятностный расчет компенсаторов для достижения точности сборки методом регулирования…… 58
МИРОНОВ К.Д., ГЕРАЩЕНКО В.В., САНДРИГАЙЛО Е.С. Анализ состояния условий труда на Могилевском ремонтном заводе…… 60
МИРОНОВА М.Н. Корректировка зависимостей для определения смещений заготовки под действием сил закрепления……. 61
МИЩИРУК О.М., ОМЕСЬ Д.В. Анализ тепловых деформаций передачи винт-гайка качения…… 63
НИКОЛАЕВ Ю.В., ЛОГВИН В.А. Моделирование процесса

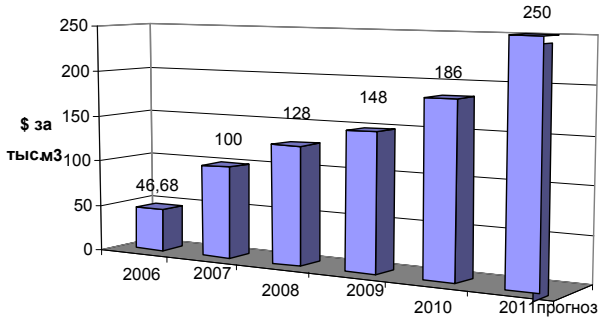


Рис. 3. Цены на энергоресурсы поставляемые из России 2006-2011 гг. (прогноз)

Как видно из рис. 3 к 2011 году цены на газ выросли примерно в 5 раз.

Согласно Концепции энергосбережения, общий потенциал энергосбережения Беларуси оценивается на уровне 9350 млн тонн условного топлива, или около 30 % от нынешнего годового потребления топливно-энергетических ресурсов. Распределение потенциала энергосбережения по отраслям и государственным организациям представлено на рис. 4.

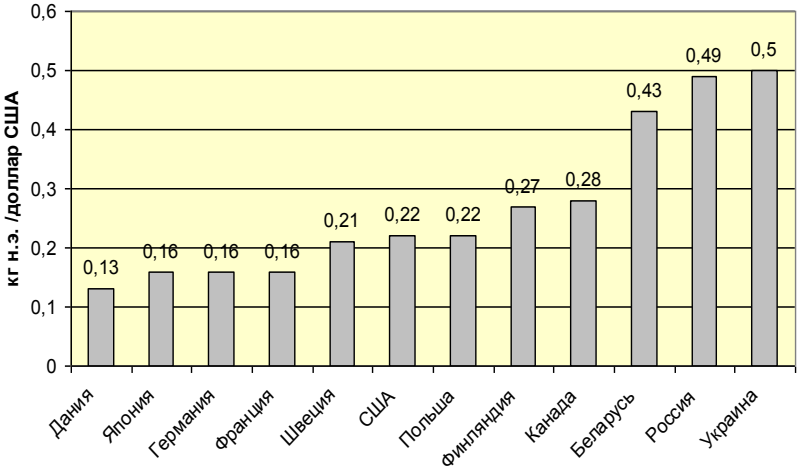


Рис. 4. Распределение потенциала энергосбережения по отраслям

Для нашей республики поучительным является опыт европейских стран по энергосбережению, которое развивалось по двум основным направлениям:

– путем реконструкции основных фондов при замене оборудования и технологий на основе энергосберегающей техники;

– путем снижения непроизводительных потерь и затрат энергоресурсов.

Уровень капиталовложений и временных затрат на реализацию программ энергосбережения на основе второго способа ниже в десятки, а зачастую и в сотни раз. В некоторых случаях, может быть возможным снижение энергопотребления предприятия на 10–20 % только на основе организационных мероприятий.

Энергосбережение можно считать одним из видов производственной деятельности, которая требует основательного и продуманного управления, в том числе и проведения энергоаудита.

Как показали исследования, на предприятиях, где потребление топливно-энергетических ресурсов за год ниже 1,5 тыс.т. у.т., энергоаудит не проводится. Данный факт имеет основную причину-недостаток средств на проведение такой экспертизы. Рекомендуется проводить частичный энергоаудит, который позволит выявить проблемные места на предприятии. К сожалению, ввиду недостаточной квалификации специалистов качественный энергоаудит на предприятиях силами своих специалистов, не проводится. Можно рекомендовать проведение частичного энергоаудита, который могут предлагать специалисты-энергетики, имеющие опыт работы не менее 10 лет и практический опыт в области энергообследования. Можно также рекомендовать проведение аккредитации специалистов в этой области Белорусским Государственным Центром Аккредитации. В настоящее время такой практики нет.

Как показали исследования на предприятиях почти не используются экономико-математические методы и модели для оптимизации производства. А ведь применение методов векторной оптимизации, в частности такого, как метод равных и наименьших отклонений [5], позволит не только достичь цели максимизации прибыли при построении плана оптимизации производства, но и снизить потребление энергии.

Подобная практика в большинстве случаев не используется, так как требует знаний в области экономико-математических методов и моделей. Необходимо повышать требования к квалификации экономистов и предусмотреть стимулы способствующие развитию и углублению знаний в области экономико-математических методов и моделей.

СОДЕРЖАНИЕ

КАРТАШЕВИЧ А.Н., ТОВСТЫКА В.С. Использование и стимулирование производства альтернативных видов топлива для автотракторных двигателей в мировой практике…….. 3

ОЛЕХНОВИЧ Л.В. Комплексные подходы в решении проблем энергосбережения на предприятиях…… 11

Секция 1. Технология машиностроения и автоматизация технологических процессов и производств

АВЕРЧЕНКОВ А.В., ТЕРЕХОВ М.В. Система A-CUT для автоматизации выбора режущего инструмента для токарной обработки и расчета режимов резания……. 16

АКУЛИЧ А.В., ЛУСТЕНКОВ В.М., АКУЛИЧ В.М. Разработка нового способа комбинированной очистки газов и пылеуловителя для его реализации…….. 18

БЛАГОДАРНЫЙ В.М. О функциональной безопасности технических систем……. 20

БЛАГОДАРНЫЙ В.М., РУЛЬКО Н.Н. Способы резания упругих материалов…… 22

БУГЛАК А.В., АКУЛИЧ А.В. Влияние вытеснителя на показатели работы обжарочного аппарата…… 24

ГАЛЮЖИН Д.С., ШИШКОВ Е.И., ЧЕХОВСКИЙ А.Г., КУРОЖКО М.Д. Создание универсальной методики для оценки параметров передач различных типов…… 25

ГАРЛАЧОВ Н.С., АНТОНОВА Е.Н. Установка для пневмоцентробежной обработки отверстий…… 26

ДАВЫДЕНКО Д.В. Анализ осевого смещения колец подшипника в планетарной шарикоподшипниковой передаче…… 27

ДАНИЛОВ В.А., ЧЕПУРНОЙ А.А. Формообразование каналовых винтовых поверхностей…… 28

ДУБИНА А.В., ВАРКОВИЧ К.Ч., РОМАНОВСКИЙ В.И. Сорбционные материалы и коагулянты из отработанных ионитов… 30

ДЬЯКОВ И.Ф., ПОПОВИЧ А.В. Применение нейросетевых алгоритмов при обработке отверстий, карманов и пазов деталей в CAD/CAM-системах…… 32

ЖОЛОБОВ А.А., КАЗАКОВ А.В., ВАНЬКОВИЧ А.В. Влияние геометрических параметров резца на погрешность привязки…….. 34

ЖОЛОБОВ А.А., ШАЛЫЖИН К.А., ФЕДОРЕНКО А.М. Расширение технологических возможностей установки плазменной резки на основе оптимизации текста управляющей программы…… 35

ЗАБЕЛИН Д.А. Экспериментальные исследования точности

Для задания траектории движения автопоезда в исходных данных прописывался закон изменения угла поворота переднего левого управляемого колеса ведущего звена в виде таблицы фиксированных значений моментов времени и соответствующих им скоростей указанного угла поворота. Угловые параметры правого управляемого колеса ведущего звена определялись в соответствии с кинематикой рулевой трапеции. Скорости углов поворота и сами углы всех остальных управляемых колес автопоезда вычислялись на основе параметров поворота соответствующих его звеньев.

В работе приводятся результаты виртуальных испытаний курсового движения трехзвенного автопоезда на основе математической модели, которая имеет вид системы обыкновенных дифференциальных уравнений, не разрешенных относительно старших производных.

Для решения уравнений полученной математической модели разработано программное обеспечение на языке VBA в среде программы Excel, которое позволяет проинтегрировать их на заданном интервале времени, то есть провести виртуальные испытания курсового движения автопоезда.

Результаты виртуальных испытаний сохраняются на первых двух листах Excel и в текстовом файле, который используется MaxScript-программой формирования анимационной сцены движения автопоезда. На первый лист выводятся также диаграммы движения центров масс каждого звена автопоезда в координатах X0У, а на второй – динамические характеристики движения основных параметров автопоезда: независимые координаты и боковые реакции опорной поверхности на его колеса.

В работе приводятся результаты имитационного моделирования режимов движения автопоезда «смена полосы движения», «обгон», «разворот на 180 градусов», «движение по круговой траектории».

Результаты проведенного анализа подтверждают работоспособность разработанного программного обеспечения и возможность использования его для проведения виртуальных испытаний курсового движения многозвенных колесных машин, а также в качестве средства функционального проектирования основных массогеометрических параметров, обеспечивающих требуемые показатели курсовой и траекторной устойчивости многозвенных автопоездов.

Разработанное программное обеспечение позволяет моделировать и неустановившиеся режимы движения автопоезда, такие, как трогание с места, разгон и торможение. Для этого в динамических уравнениях математической модели касательные силы тяги или тормозные моменты, приложенные к соответствующим колесам автопоезда, принимают ненулевые значения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сидорский, С. С.** Через экономию ресурсов – к росту экономики и благосостояния людей / С. С. Сидорский // Экономика Беларуси. – 2007. – №3. – С. 6–15.

2. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Нац. комис. по устойчивому развитию Респ. Беларусь; редкол.: Л. М. Александрович [и др.]. – Минск: Юнипак, 2004. – 202 с.

3. **Хамчуков, Д. Ю.** Динамика энергоемкости промышленной продукции в 2000–2006 гг. : Основные тенденции и факторы/ д. Ю. Хамчуков, Н. Г. Кротова // Экономический бюллетень НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь. – 2007. – № 8. – с. 12–18.

4. **Оголева, Н. Л.** Инновационный менеджмент: учеб. пособие / Л. Н. Оголева. – Москва : ИНФРА, 2006. – 238с.

5. **Холод, Н. И.** Экономико-математические методы и модели: учеб. пособие // Н. И. Холод [и др.]; под ред. А.В.Кузнецова. – Минск : Изд-во БГЭУ, 2000. – 412с.

УДК 004.94

СИСТЕМА A-CUT ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫБОРА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ И РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

А. В. АВЕРЧЕНКОВ, М. В. ТЕРЕХОВ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брянск, Россия

Программный комплекс A-Cut разработан в Инновационном центре высоких технологий в машиностроении при БГТУ (ИЦ ВТМ) для автоматизации подбора инструмента и назначения режимов резания. Система A-Cut позволяет производить автоматизированный выбор инструмента и режимов резания для инструментов различных производителей.

Информацию о рекомендуемом инструменте и режимах резания A-Cut представляет в удобном для пользователя виде, однако может передавать непосредственно в CAM-систему. Такая возможность реализована для САПР Pro/Engineer, однако реализовать передачу информации об инструменте и режимах резания и в другие САПР возможно с помощью плагина либо сценария на QtScript.

Программный комплекс A-Cut возможно использовать с тяжелой САПР Pro/Engineer, передавая из последней в систему подбора инструмента чертеж или модель детали в формате IGES. Данные об определенном программой оптимальном инструменте, а также о режимах резания можно сохранить в XML - файле, который можно использовать при указании инструмента и режимов резания при составлении управляющей программы в Pro/Engineer.

Система A-Cut может быть использована:

– для определения инструмента для обработки и расчета режимов резания;

– подбора технологического оборудования для обработки заданной детали;

– расчета режимов резания для имеющегося металлорежущего инструмента.

Система A-Cut разделена на 4 основных модуля: ввода первичной информации, подбора подходящего режущего инструмента, выбора оптимального инструмента, а также модуль вывода. Кроме того, в системе присутствуют модули, отвечающие за отображение чертежа и модели, база данных инструмента и ее редактор.

УДК 629.02:681:3.069

ВИРТУАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ КУРСОВОГО ДВИЖЕНИЯ МНОГОЗВЕННЫХ АВТОПОЕЗДОВ

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

В работе рассматриваются математическая модель и программное обеспечение, позволяющие оценить курсовую устойчивость автопоезда с использованием таких показателей, как критическая скорость по курсовой и траекторной устойчивости. При этом результаты моделирования могут быть представлены не только числовыми данными и динамическими характеристиками, но и в виде анимационной сцены движения машины в реальном масштабе времени.

При разработке математической модели была принята плоская динамическая схема многозвенного поезда с жесткими колесами при условии, что центры поворота его звеньев находятся в точках пересечения нормалей к передним и задним колесам. Кроме этого, звенья автопоезда имеют между собой упругие связи и поэтому в качестве независимых координат выбраны поступательные перемещения центров масс каждого звена по продольной и поперечной осям и их курсовые углы.

Математическая модель курсового движения автопоезда состоит из двух видов дифференциальных уравнений: динамических и уравнений кинематических связей.

В динамических уравнениях математической модели боковые реакции опорного основания являются неизвестными величинами, которые определяются в результате совместного решения динамических уравнений и уравнений кинематических связей колес звеньев автопоезда с дорожной поверхностью. Последние уравнения составлены в предположении отсутствия бокового проскальзывания колес на опорной поверхности. Для этого уравнения линейных скоростей центров колес звеньев автопоезда были выражены через первые производные от принятых независимых координат. Затем эти скорости были спроектированы на нормали к плоскостям вращения соответствующих колес и продифференцированы по времени, в результате чего после несложных преобразований получены уравнения кинематических связей колес автопоезда с опорным основанием.

При записи уравнений движения первого и последующих звеньев автопоезда было сделано предположение, что каждое звено имеет передние управляемые колеса, углы поворота которых при криволинейном движении зависят от курсовых углов звеньев автопоезда.

щением на единицу. При этом трендовая составляющая $\widehat{G}_{T1}$ восстановленного временного ряда $\widehat{G}_1$ совпадает с математическим ожиданием исходного временного ряда G_1.

Методика проведения численных исследований включает выбор первоначального временного ряда $G = G_T + G_H + G_N$, который задан по известным функциям

$$G_T = ax + b;$$
$$G_H = c\sin x;$$
$$G_N = Norm(\gamma; \beta),$$

где *a, b, c* – параметры, $Norm(\gamma; \beta)$ – функция, возвращающая случайные нормально распределенные числа, индексы *T, H, N* – соответственно трендовая, гармоническая и шумовая составляющая.

Представлены методика и результаты исследования последовательностей данных с нормальным шумом путем преобразования SSA-методом. Показаны особенности восстановления временных рядов, включающих линейный тренд, гармоническую составляющую и нормальный шум на основе сингулярного спектрального анализа с применением табличного процессора MS Excel, математического пакета Mathcad, статистического пакета Statistica.

При исследовании обнаружены следующие факты:

1) для учета особенностей восстановления временного ряда SSA-методом трендовую составляющую целесообразно представить в виде постоянной составляющей и динамической составляющей. Постоянная составляющая линейного тренда не оказывает влияния на качество сингулярного спектрального анализа временных рядов при положительных значениях элементов временного ряда. В то же время исключение постоянной составляющей из временного ряда не позволяет определить динамику трендовой составляющей;

2) число периодов гармонической составляющей временного ряда оказывает влияние на динамику восстановленного тренда. Например, при одном периоде гармонической составляющей направление тренда изменяется на противоположное. При числе периодов более одного направление восстановленного тренда совпадает с направлением тренда первоначального временного ряда, что необходимо учитывать при практическом применении SSA-преобразования;

3) проверка по критерию Колмогорова – Смирнова соответствия восстановленных случайных чисел теоретическому нормальному распределению показала, что восстановленная шумовая составляющая сохраняет тип распределения по нормальному закону.

Система A-Cut использует для хранения инструмента и определения режимов резания базу данных, разработанную с использованием СУБД SQLite. SQLite не является отдельно работающим процессом, с которым взаимодействует программа, а предоставляет библиотеку, с которой программа компонуется и библиотека SQLite становится составной частью программы. Таким образом, в качестве протокола обмена используются вызовы функций (API) библиотеки SQLite. Такой подход уменьшает накладные расходы, время отклика и упрощает программу. Используя высоко эффективную инфраструктуру, SQLite может работать в крошечном объёме выделяемой для неё памяти, гораздо меньшем, чем в любых других СУБД. Это делает SQLite очень удобным инструментом с возможностью использования практически в любых задачах, возлагаемых на базу данных.

Вся база данных (включая определения, таблицы, индексы и данные) хранится в единственном стандартном файле на том компьютере, на котором исполняется программа. Простота реализации достигается за счёт того, что перед началом исполнения транзакции весь файл, хранящий базу данных, блокируется; ACID-функции достигаются в том числе за счёт создания файла журнала. Несколько процессов или потоков могут одновременно без каких-либо проблем читать данные из одной базы. Запись в базу можно осуществить только в том случае, если никаких других запросов в данный момент не обслуживается.

Для наполнения и поддержания базы данных в актуальном состоянии, а также добавления инструмента различных производителей был разработан редактор базы данных, предоставляющий пользователю удобный интерфейс для просмотра и изменения информации, хранящейся в базе данных.

Система A-Cut является открытым программным обеспечением. Под открытостью системы понимают как переносимость программного обеспечения между различными программно-аппаратными платформами, так и приспособленность системы к ее модификации, интеграции с другими системами, с целью расширения ее функциональных возможностей и придания системе новых качеств.

Система подбора инструмента A-Cut является кроссплатформенной и может работать как в операционных системах Microsoft Windows, так и в Unix-подобных операционных системах с графической подсистемой X11 (Linux, FreeBSD), Mac OS X. В качестве общесистемного программного обеспечения можно использовать любую поддерживаемую Qt операционную систему.

Работа выполнялась на основе исследований по гранту президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-417.2010.8.

УДК 621.928.9

РАЗРАБОТКА НОВОГО СПОСОБА КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ И ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

А. В. АКУЛИЧ, В. М. ЛУСТЕНКОВ, В. М. АКУЛИЧ
Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»
Могилев, Беларусь

Повышение технико-экономических показателей на предприятиях пищевой промышленности предполагает разработку новых высокоэффективных способов и конструкций аппаратов для проведения гидромеханических, тепло- и массообменных процессов. При обработке и транспортировании мелкодисперсных порошкообразных материалов возникает необходимость их улавливания из воздушного потока, причем наибольшая проблема возникает при выделении частиц диаметром менее 10 мкм. Для этих целей на производстве, как правило, применяются рукавные фильтры. Однако, обеспечивая эффективную очистку газов, рукавные фильтры характеризуются высокой металлоемкостью при значительной пылевой нагрузке на ткань рукавов.

Дисперсный состав пылевой фракции различен и для отделения более крупных частиц целесообразно проводить предварительную очистку, например в центробежном поле, тем самым снижая пылевую нагрузку на фильтровальную ткань. При этом совмещение двух способов отделения пыли в одном аппарате позволит снизить металлоемкость и габариты пылеулавливающего оборудования при высокой эффективности улавливания мелкодисперсных частиц.

Разработан новый способ комбинированной очистки газов (рис. 1) на основе взаимодействующих вихревых потоков и фильтрования и пылеуловитель для его реализации. В сепарационной камере вихревого пылеулавливания 1, разработанного аппарата, происходит взаимодействие периферийного и центрального потоков газовзвеси, подаваемых через периферийный 2 и центральный 3 патрубки. При этом потоки закручены в одну сторону и направлены навстречу друг другу. Очищенный на стадии центробежного отделения поток через выхлопную трубу 4 направляется на стадию фильтрования. Благодаря торообразной поверхности 12 перераспределение газа происходит с наименьшей деформацией и с максимально сохраненной аэродинамикой вращательно-поступательного движения двумя потоками: в первом кольцевом канале 5 и втором кольцевом канале 6 большего диаметра, образованными боковой поверхностью фильтровальных элементов 7. Установка двух кольцевых каналов 5 и 6 обеспечивает увеличение площади фильтровальной поверхности и, следовательно, снижение скорости фильтрования, а также пылевой нагрузки на боковые поверхности фильтровальных элементов 7. При этом повышается общая эффективность очистки газа и снижается общее гидравлическое сопротивление пылеуловителя.

УДК 004.8

СИНГУЛЯРНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С НОРМАЛЬНЫМ ШУМОМ

Е. А. ЯКИМОВ, О. М. ДЕМИДЕНКО, А. А. КОВАЛЕВИЧ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В практике имитационного моделирования исследованию входных последовательностей данных уделяется значительное внимание. Одним из методов извлечения информации из данных, накопленных в информационных системах, является сингулярный спектральный анализ, именуемый SSA-методом.

С помощью SSA-метода исследованы временные ряды с нормальным шумом. Для предварительного исследования временной ряд G_1 сформирован в пакете Minitab: Calc\Random Data\Normal…\ с параметрами γ=1, β=1 (γ – математическое ожидание случайных чисел, β – среднеквадратическое отклонение случайных чисел).

При *SSA*-преобразовании получены собственные числа (рис. 1), где λ_1 соответствует трендовой составляющей $\widehat{G}_{1T}$, а λ_i, i = 2, …, 43, определяют шумовую составляющую $\widehat{G}_{1N}$. На лепестковой диаграмме (рис. 2) представлены вектора соответствующие собственным числам λ_1 (линия 1), и λ_2 (линия 2).

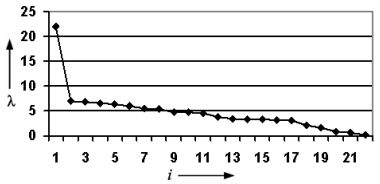


Рис. 1. Распределение собственных чисел для ряда G_1

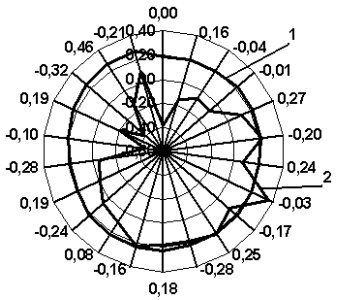


Рис. 2. Вектора при SSA-преобразовании ряда G_1

Проверка по критерию Колмогорова–Смирнова соответствия полученных случайных чисел теоретическому нормальному распределению показала, что шумовая составляющая $\widehat{G}_{N1}$ нормально распределена со сме-

EN 50170) и сегментами PROFIBUS-PA, FOUNDATION Fieldbus HI, PROFIBUS RS 485-IS (передача данных на основе стандарта IEC 61158-2). Сегментные соединители располагаются во взрывобезопасной зоне. Питание модулей ввода-вывода может осуществляется источником питания с маркировкой взрывозащиты Exde, вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» и защита вида «е». Исполнительные механизмы, датчики, преобразователи в пределах системы управления снабжаются электропитанием через модули ввода-вывода.

Достоинствами такой организации промышленных сетей являются: обработка измерительной информации непосредственно на нижнем уровне.

Применение полевых барьеров в промышленной сети, развёрнутой во взрывоопасной зоне класса 1, позволяет значительно увеличить количество полевых устройств и минимизировать накладные расходы на развёртывание сети во взрывоопасной зоне. Несколько полевых барьеров могут быть соединены на магистрали каскадно, каждый из них имеет четыре выхода для подсоединения полевых устройств с взрывозащитой вида «искробезопасная электрическая цепь». Каждый из выходов обеспечивает ток 40 мА и соответствует требованиям концепций FISCO (IEC 60079-27). К каждому выходу может быть подключён кабельный отвод с максимальной длиной 120 м.

Полевой барьер является чрезвычайно сложным модулем промышленной сети. Он объединяет в себе три неотъемлемые функции физического уровня: разветвление магистрали промышленной сети на четыре отвода для подключения полевых устройств; ограничение тока короткого замыкания для каждой точки подключения полевого прибора; использование удобного вида взрывозащиты «искробезопасная элект рическая цепь» для полевых устройств. Питание для полевых' устройств подаётся в сегмент промышленной сети стандартными источниками питания без ограничения мощности. Магистральный кабель, проложенный во взрывоопасную зону, должен быть установлен с применением технических требований защиты вида «е». Сегментный соединитель с защитой вида "е" устанавливается во взрывобезопасной зоне.

Полевые барьеры для искробезопасных сегментов сетей PROFIBUS-PA и FOUNDATION Fieldbus HI, PROFIBUS RS 485-IS имеют маркировку взрывозащиты 2Exme[ia]IICT4, степень защиты до IP67.

Эта технология объединяет взрывозащиты видов «искробезопасная электрическая цепь» и «е» и позволяет подключать к сегменту промышленной сети большое количество полевых устройств, сохраняя при этом параметры искробезопасности.

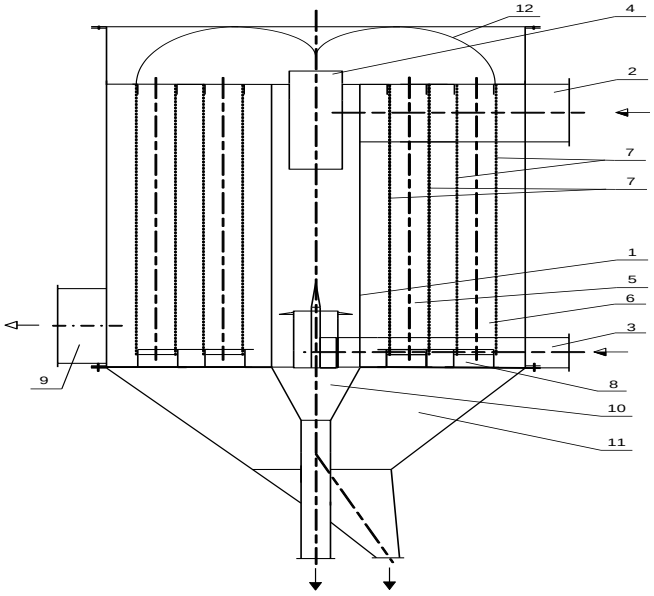


Рис. 1. Общий вид комбинированного пылеуловителя для реализации способа очистки газа

После доочистки отвод газа с внутренней стороны первого и второго кольцевых потоков осуществляют раздельно в их нижней части через ряд радиальных патрубков 8, что исключает подпор газа в данных зонах и обеспечивает эффективную работу фильтровальных элементов 6, и всего устройства в целом. Очищенный газ через патрубок 9 выводят из аппарата. Уловленный материал поступает в бункеры 10 и 11 соответственно крупной и мелкодисперсной пыли.

Создана опытная модель комбинированного пылеуловителя на основе нового способа очистки газов и лабораторная установка для исследований гидродинамики аппарата.

Результаты исследований показали, что при сопоставимых условиях по сравнению с известным пылеулавливающим оборудованием комбинированного типа разработанный комбинированный пылеуловитель обеспечивает снижение гидравлического сопротивления при уменьшении скорости фильтрования, а также повышение эффективности улавливания мелкодисперсных частиц при снижении их концентрации на стадии фильтрования.

Полученные результаты положены в основу режимной и конструктивной оптимизации комбинированного пылеуловителя и использованы при разработке методики инженерного расчета. На разработанный способ очистки газов от твердых частиц подана заявка на изобретение.

УДК 621.9.06-192:62-19

О ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. М. БЛАГОДАРНЫЙ
Учреждение образования
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Барановичи, Беларусь

Функциональной безопасностью технических систем (ТС) будем называть свойство технической системы непрерывно сохранять безопасное состояние в течение некоторого времени или наработки [1]. Свойством безопасности обладает такая техническая система, которая в течение заданного времени не вызывает аварийных и катастрофических ситуаций. Свойство безопасности формируется при проектировании технической системы и раскрывается на последующих этапах её жизненного цикла (при производстве, испытаниях, упаковке, транспортировке, хранении, монтаже, использовании по назначению, техническом обслуживании и утилизации). Состояние проблемы характеризуется, с одной стороны, всё возрастающим вниманием науки и практики, интенсивным поиском эффективных методов предупреждения аварий и катастроф и, с другой, признанием продолжающегося роста, как общего числа аварий, так и их последствий. Современный уровень безопасности технических систем не удовлетворяет предъявляемым требованиям и не гарантирует от аварий и катастроф. Функциональная безопасность является сложным свойством, которое включает ряд свойств, в том числе: электробезопасность, пожаробезопасность, взрывобезопасность, ядерную (радиационную) безопасность, химическую безопасность, экологическую безопасность, сейсмическую безопасность, бактериологическую безопасность и т.д.

Переход ТС из безопасного состояния в опасное состояние происходит в результате опасного события, которое иногда называется происшествием или катастрофой. Опасное событие наступает при превышении ущерба приемлемого значения. Обратный переход технической системы из опасного состояния в безопасное состояние может быть осуществлен лишь после тщательного обследования системы, выявления опасных элементов и их замены на работоспособные безопасные элементы. Опасное событие имеет вероятностный характер. Оно происходит при реализации угрозы наступления опасного события (угрозы безопасному состоянию). Угроза безопасному состоянию (угроза безопасности) представляет собой событие, которое предшествует опасному событию (предвестник опасного события).

Опасность – центральное понятие, как сферы безопасности жизнедеятельности в техносфере, так и промышленной безопасности. Под опасно-

УДК 621.3

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН

Л. Г. ЧЕРНАЯ, М. П. СЛУКА, В. Н. АБАБУРКО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

На предприятиях нефтегазовой и химической промышленности датчики и исполнительные устройства располагаются во взрывоопасных зонах. Для безопасного подключения их к системе управления чаще всего используется наиболее эффективный и экономичный метод «искробезопасная эклектическая цепь» с использованием барьеров искробезопасности. Но для большого количества подключений этот метод становится слишком дорогим и громоздким. Для экономии кабельной продукции можно применять схему удаленного ввода-вывода, когда барьеры устанавливаются на объединительные платы, расположенные во взрывобезопасной зоне, но как можно ближе к оборудованию, а связь с контроллером осуществляется по последовательному интерфейсу RS-485 или с использованием промышленных сетей, например, Modbus, ControlNet, PROFIBUS.

Наиболее экономичными являются системы управления с непосредственным внедрением промышленных сетей во взрывоопасные зоны. Но в этом случае необходимо применять взрывобезопасные промышленные сети, в которых реализован стандарт физического уровня IEC 61158-2, таких как PROFIBUS-PA, PROFIBUS RS 485-IS, FOUNDATION Fieldbus H1.

Промышленные сети делятся на сегменты и могут иметь общую длину кабеля до 1900 м, к одному сегменту может быть подключено до 31 устройства. Магистральная линия связи является основным кабелем структуры промышленной сети. Через кабельные отводы с длиной до 120 м к магистрали подключаются полевые устройства нижнего уровня.

В каждом сегменте находится один шлюз и до восьми модулей ввода-вывода. Модули устанавливаются на секционированном соединительном основании с общей последовательной шиной данных. Искробезопасные электрические цепи сигналов модулей ввода-вывода имеют маркировку Exia, в то время как сами модули, установленные во взрывоопасной зоне маркируются как Exiв. Входные и выходные сигналы оцифровываются в модулях и передаются через последовательную шину данных соединительного основания к шлюзу. Шлюз обеспечивает интерфейс взрывобезопасной промышленной сети.

Сегментные соединители формируют интерфейс между сетью PROFIBUS-DP (технология передачи RS-485 в соответствии со стандартом

УДК 371.64

ЗАМЕНА СТРАНИЦ В ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ ЭВМ

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

При работе вычислительной машины все промежуточные результаты находятся в оперативной памяти машины.

Когда ее оказывается недостаточно, возникает необходимость удаления из нее неиспользуемой информации. Обычно память разбивается на страницы определенного объема и происходит замена реже используемой физической страницы оперативной памяти на одну из страниц виртуальной памяти.

В качестве одного из критериев для выбора удаляемой страницы можно выбрать длительность ее нахождения в памяти или частоту обращения к ней.

Рассмотрим возможность замены страницы по критерию частоты обращения к ней .

Пусть память машины разбита на страницы с номерами 1,2,3,4. Последовательность обращения к ним на каком-то этапе работы следующая

2	**4**	**3**	**2**	**3**	**4**	**3**	**4**	**2**	**1**	**2**	**1**	**4**	**3**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**4**	**4**	**4**	**3**
		1	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**3**	**3**	**3**	**3**	**2**	**2**	**4**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**

В верхней строке указаны страницы, к которым было обращение, а нижней строке те, к которым не было. Например, в верхней строке было обращение к страницам 2,4,3, а к странице **1** (нижняя строка) обращения не было, значит она может быть заменена. Как только возникнет обращение к этой странице ситуация в нижней строке изменится (421 - **3**) при ситуации 143 замене подлежит страница с номером **2.**

При обращении к определенной странице адресный блок формирует на соответствующем выходе сигнал, который используется для анализа складывающейся ситуации.

Эти сигналы подаются на логические устройства, количество которых соответствует числу страниц в памяти. Единичный сигнал появляется на выходе только того блока, к которому дольше всего не обращались.

стью понимаются явления, процессы, объекты, способные в определенных условиях наносить вред здоровью человека, ущерб окружающей природной среде и социально-экономической инфраструктуре, т.е. вызывать нежелательные последствия непосредственно или косвенно. Опасность – свойство, внутренне присущее сложной технической системе. Она может реализоваться в виде прямого или косвенного ущерба для объекта (предмета) воздействия постепенно или внезапно, и резко в результате отказа системы. Опасности – это явление, зависящее от многих факторов, поэтому трудно, а иногда и невозможно, рассматривать одни составляющие опасности в отрыве от других. Необходимо иметь представление о том, каких последствий следует ожидать, насколько велика угроза для окружающей природной среды и для общества.

Между авариями в самых разных отраслях можно заметить явное сходство. Обычно аварии предшествует накопление дефектов в оборудовании или отклонения от нормального хода процессов. Эта фаза может длиться минуты, сутки или даже годы. Сами по себе дефекты или отклонения еще не приводят к аварии, но готовят почву для нее. Операторы, как правило, не замечают этой фазы и у них не возникает чувства опасности. На следующей фазе происходит неожиданное или редкое событие, которое существенно меняет ситуацию. Операторы пытаются восстановить нормальный ход технологического процесса, но, не обладая полной информацией, зачастую только усугубляют развитие аварии. Наконец, на последней фазе техническая система перестает подчиняться людям, и происходит катастрофа.

Исследования безопасности технических объектов показывают, что опасность присуща любым системам и операциям. Практически достичь абсолютной безопасности с технической точки зрения невозможно, а с экономической - нецелесообразно. Это связано тем, что надежность технических систем не может быть абсолютной. Кроме того возможны отказы вследствие случайных изменений условий эксплуатации с выходом за оговоренные (например, в технических условиях на оборудование) пределы.

Действенным средством для решения проблемы надежности и безопасности является применение автоматики для обеспечения длительного выполнения системой своего служебного назначения в различных условиях эксплуатации.

Не менее значимым является обучение персонала вопросам безопасной эксплуатации технических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Благодарный, В. М.** Прогнозирование надежности и функциональной безопасности технических систем / В. М. Благодарный, В. И. Кочурко. – Барановичи: РИО БарГУ, 2010. – 256 с.

УДК 621.658

СПОСОБЫ РЕЗАНИЯ УПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

В. М. БЛАГОДАРНЫЙ, Н. Н. РУЛЬКО
Учреждение образования
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Барановичи, Беларусь

Широкое распространение в машиностроении получили упругие материалы (резина, пластмассы и др.), которые используются в различных областях производства. Придание упругим материалам соответствующей конструкционной формы с помощью прессования, литья, штамповки и других методов формования не всегда возможно, что связано с усложнением конструкций пресс-форм и самих процессов формирования. Поэтому возникает необходимость поиска новых способов обработки данных материалов.

Большинство упругих материалов хорошо поддается механическому резанию и выполняется на обычном металлорежущем оборудовании. Например, для раскроя листовых упругих материалов возможно применять разрезку на ленточных станках с использованием в качестве обрабатывающего инструмента стандартные ленточные пилы. При этом ширина реза зависит от толщины пилы, толщины обрабатываемого материала и составляет 1,0…2,5 мм [1].

Тонкий листовой материал так же можно разрезать ручными ножницами для металла или на механических гильотинах. Способ резки материалов на механических гильотинах достаточно производителен, но при резке материалов больших толщин происходит смятие у кромок реза, что может негативно сказаться при его дальнейшем использовании.

Обработку упругих материалов можно вести не только механическими способами, но и лазерной и высокоскоростной гидроабразивной резками. Плазменная резка в данном случае не рассматривается, поскольку данная технология резки не применима для обработки упругих материалов, т.к. происходит значительное оплавление обрабатываемых поверхностей материала.

При резке лазерным излучением процессы разрушения упругих материалов имеют отличительные особенности, по сравнению с металлами. В основе лазерной резки лежит термическое воздействие на материал поглощенного лазерного излучения. Поэтому при резке упругих материалов происходит незначительное оплавление обрабатываемого материала. Например, при резке вспененных ПВХ пластиков, торцевая поверхность реза имеет коричневый цвет. Образующиеся в процессе резки пары ПВХ впитываются в пористую поверхность реза, придавая ей темную окраску на

(1-200 импульсов на литр) и вход для датчика положения или кнопки ПУСК/СТОП. Все входные и выходные сигналы контроллера имеют гальваническую развязку. К компьютеру подключается через RS232.

Блок сопряжения БС-02 предназначен для управления интеллектуальными ТРК с интерфейсом типа «токовая петля» (current loop). Такой интерфейс используется в ТРК таких производителей как Gilbarco, Tankanlagen Salzkotten, Scheidt & Bachmann и др. Блок имеет 4 канала, к каждому каналу может быть подключено до 4 ТРК. Для подключения ТРК используются удобные клеммные колодки. Управление каналами осуществляется через RS232.

Интерфейсная плата С132 имеет два канала RS485, к каждому из которых можно подключить до 16 ТРК. Интерфейс RS485 используется в ТРК типа Wayne Dresser, ADAST, Instrumentointi (ASPO), CenStar, электронная НАРА и др. Плата С132 имеет оптогальваническую развязку до 2 кВ и защиту от импульсов перенапряжения до 25 кВ, в компьютер подключается через PCI-слот. Данная конфигурация используется в современной системе автоматизации АЗС GasKit (Санкт-Петербург).

Применение системы GasKit обеспечивает: удобный пользовательский интерфейс; регистрацию в базе данных значений уровня топлива, температуры и плотности, получаемых с заданным периодом от систем измерения; подробный учет движения нефтепродуктов и сопутствующих товаров с формированием отчетных документов; работу и взаимодействие нескольких рабочих мест оператора и автоматизированного рабочего места администратора АЗС, объединенных в локальную сеть; широкие возможности по настройке системы

Модульность системы GasKit позволяет конфигурировать ее в соответствии с пожеланиями Заказчиков. Программная часть системы GasKit исполняется под операционными системами Windows NT/2000/XP/7. Многозадачность, графический интерфейс и сетевые возможности этих операционных систем делают GasKit быстрым, надежным и удобным средством, идущим в ногу со временем.

Система управления АЗС GasKit поддерживает работу с ТРК ADAST, оборудованных контроллерами ADP1/2, ADP1/M, ADP2/M, ADPMPD и ADPMPD/M (производитель – компания BetaControl). Управление этими контроллерами осуществляется по интерфейсу RS485 (2-wire), логический протокол Easycall. Особое внимание необходимо уделять маркировке взрывозащиты аппаратных средств и применяемым интерфейсам связи промышленной сети в соответствие с требованиями взрывобезопасности.

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТОПЛИВОРАЗДАТОЧНЫХ КОЛОНОК АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

М. П. СЛУКА, Л. Г.ЧЕРНАЯ, В. Н. АБАБУРКО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Безопасность эксплуатации автозаправочных станций (АЗС) обеспечивается согласно требованиям следующих технических нормативных правовых актов: Правила технической эксплуатации автозаправочных станций (постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 04.12.2003 № 38); Санитарных правил и норм 2.2.3.11-28-2003 «Гигиенические требования к проектированию, строительству и эксплуатации станций по заправке транспортных средств нефтепродуктами и газом» (постановление Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 24.12.2003); ТКП 253-2010 «Автозаправочные станции. Пожарная безопасность. Нормы проектирования и правила устройства», комплексом стандартов ГОСТ 30852, ТКП-181-2009.

Особое внимание при организации систем управления топливораздаточными колонками (ТРК) необходимо уделять аппаратной части и их соответствию требованиям взрывобезопасности, так как ТРК находятся во взрывоопасной зоне, а управление их работой осуществляется через персональные компьютеры и кассовые аппараты, установленные во взрывобезопасной зоне и необходимо обеспечить их безопасное согласование на базе современной информационно-управляющей системы. Такая проблема возникла у специалистов РУП «ПО «Беларуснефть», эксплуатирующими АЗС, так как на рынке средств автоматизации существует большой спектр услуг и предлагаемых аппаратно-программных средств, но при этом необходимо руководствоваться не только требованиями экономии средств, но и требованиями промышленной безопасности.

Большинство ТРК по типу физического интерфейса подключения к системе управления можно разделить на три группы: механические ТРК, интеллектуальные ТРК с интерфейсом «токовая петля» (current loop) и ТРК с интерфейсом RS485. Соответственно, в системе управления для подключения к этим ТРК используются три вида блоков сопряжения: контроллер КДУ-02, блок сопряжения БС-02 или интерфейсная плата С132.

Контроллер КДУ-02 предназначен для управления механическими ТРК (НАРА и пр.). Число каналов – 8. Для подключения ТРК используются разъемы РП10-7, совместимые с пультами. Каждый канал имеет выходы управления насосом и электромагнитным клапаном, входы – счетный вход

некоторую глубину. Увеличение подачи воздуха в зону реза несколько снижает черноту реза, переходящую в светло-коричневую.

Однако следует отметить, что данный способ резки материалов достаточно производительный, поскольку разрезаемый материал можно разрезать по любому контуру, а ширина реза зависит от диаметра сфокусированного пучка лазера и составляет 0,5…1 мм.

Для разрезания упругих материалов также возможно применение высокоскоростной гидроабразивной резки. Основным инструментом гидроабразивной резки является вода, сжатая одним из основных компонентов системы, насосом-мультипликатором, до давления 4000 бар, проходит через водяное сопло, образующее струю диаметром около 0,2–0,35 мм, которая попадает в смесительную камеру. В смесительной камере происходит смешивание воды с абразивом (рис. 1) (гранатовым песком) и далее проходит через второе, твердосплавное сопло с внутренним диаметром 0,6–1,2 мм. Из этого сопла струя воды с абразивом выходит со скоростью около 1000 м/с и попадает на поверхность разрезаемого материала. После раскроя, остаточная энергия струи гасится специальной водяной ловушкой.

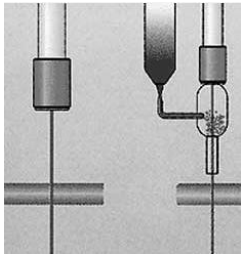


Рис. 1. Принцип формирования гидроабразивной струи

При резке высокоскоростной гидроабразивной струей поверхность резания не оплавляется, имеет высокие качественные характеристики.

Можно сделать вывод, что из всех выше перечисленных технологий резки упругих материалов (механический и лазерный способ), кроме высокоскоростной гидроабразивной резки, не могут обеспечить отсутствие термического влияния на материал в зоне резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Корягин, С. И.** Способы обработки материалов / С. И. Корягин, И. В. Пименов, В. К. Худяков. – Калининград, 2000. – 460 с.

УДК 641.526.7

ВЛИЯНИЕ ВЫТЕСНИТЕЛЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ОБЖАРОЧНОГО АППАРАТА

А. В. БУГЛАК, А. В. АКУЛИЧ
Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»
Могилев, Беларусь

Обжарочные аппараты ротационного типа широко используются в пищевой промышленности для тепловой обработки различных сыпучих материалов. Основным рабочим органом является барабан. Загрузка барабана составляет порядка 30 % от его объема. Повышение загрузки приводит к снижению эффективность теплообмена. Авторами разработана конструкция вытеснителя цилиндрического типа, которая позволяет использовать свободное пространство барабана и повысить эффективность аппарата.

Проведены исследования процесса перемешивания при различных заполнениях барабана материалом с вытеснителем и без него. В качестве модельного материала взят керамзит, часть которого окрашивалась ярким цветом. В барабан загружался неокрашенный керамзит, а в отдельном месте около боковой стенки на поверхность слоя засыпался окрашенный керамзит. Через равные интервалы времени из барабана брались пробы и рассчитывалась концентрация. Анализ экспериментальных данных показывает, что наличие в аппарате вытеснителя существенно сокращает время выравнивания концентрации окрашенного керамзита по объему сыпучего материала для каждого заполнения барабана. Это достигается за счет конструкции вытеснителя, которая приводит к изменению структуры потока перемешиваемого материала. С увеличением объема заполнения время выравнивания концентрации увеличивается.

Рассчитана удельная поверхность теплообмена для различных объемов заполнений камеры материалом с вытеснителем и без него. Эта величина равна отношению площади теплообмена к объему заполнения. Результат расчета показал, что выполнение аппарата с цилиндрическим вытеснителем увеличивает удельную поверхность теплообмена более чем на 30 % для всех заполнений барабана.

Проведены исследования затрат мощности на перемешивание при различных заполнениях камеры материалом. Эксперимент показал, что установка вытеснителя не приводит к увеличению затрат мощности. Однако при изменении заполнения барабана наибольшие затраты энергии достигают при 50 %-ой его загрузке материалом. При этом установлено, что это в 1,5 раза выше, чем при 20 %-ой загрузке.

Проведенные исследования показывают, что наличие вытеснителя повышает эффективность аппарата.

цифрового и цифрового поколения, способного разрабатывать более совершенные компьютерные образовательные элементы.

Процесс организации обучения студентов на кафедре «Электропривод и АПУ» университета по электротехническим дисциплинам с использованием компьютерных технологий осуществляется по следующим направлениям:

– создание электронных учебников и методических указаний по отдельным видам учебных занятий;

– внедрение компьютерных обучающих программ в учебный процесс; разработка интерактивных компьютеризированных лабораторных и практических работ;

– использование средств мультимедиа при чтении лекций;

– применение программ для контроля знаний;

– создание виртуальных лабораторных стендов для проведения лабораторных работ.

При создании учебников и методических указаний широко используется формат представления данных *.html и *.pdf.При этом учебный материал снабжается качественно выполненными иллюстрациями, иногда динамическими, легко структурируется благодаря наличию гипертекстовых ссылок.

Компьютеризация и современные программные пакеты, используемые комплексно в виде специализированных электронных книг, позволяют создавать методическое обеспечение нового формата с «живыми» примерами и контрольными заданиями.

Использование средств мультимедиа при чтении лекций с применением возможностей программного обеспечения Microsoft Office Power Point (создание мультимедийных презентаций) стало обычным делом.

Широко используются и специализированные программы для контроля и оценки знаний студентов, как при защите лабораторных работ, так и при промежуточной и итоговой аттестации студентов.

Еще одним новым направлением в развитии информационных технологий в обучении является создание виртуальных лабораторных стендов по отдельным дисциплинам. На кафедре такая работа ведется в течение последних трех лет. Для реализации этого направления наиболее подходит технология создания интерактивных flash-приложений с описанием событий на языке программирования Action Script. При этом интерфейс виртуального лабораторного стенда должен быть максимально приближен к внешнему виду реальных лабораторных стендов, установленных в лабораториях кафедры, что позволит студентам, изучающим данную дисциплину проводить подготовку к работам, проводимым на реальном оборудовании.

С началом подготовки специалистов по заочной дистанционной форме получения образования новые образовательные информационные технологии будут только совершенствоваться и станут более востребованы.

УДК 621.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ

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

В последние несколько лет компьютерные информационные технологии развиваются с огромной скоростью. Новые технологии коммуникаций и представления информации позволяют иначе подойти к процессу образования. Внедрение новых информационных технологий в образовательный процесс повышает качество образования. В современных условиях данное положение является аксиомой.

С появлением компьютеров на кафедре развиваются и компьютерные технологии, используемые в учебном процессе. В ближайшем будущем не останется ни одной дисциплины, в которой в той или иной мере не использовались бы компьютерные технологии обучения. Внедрению компьютерных технологий в учебный процесс способствуют не только совершенствование программного обеспечения и повышения мощности самих компьютеров, но и новое поколение, которое приходит для получения образовательных услуг.

В мировой практике участников образовательного процесса принято делить по поколениям. Существует следующая классификация людей: analog generation, shift generation и digital generation.

Аналоговое поколение – это поколение людей, появившееся и получившее образование до появления компьютеров и интернета. Этим людям сложно воспринимать информацию с экрана, они предпочитают традиционный бумажный носитель. Они практически не пользуются компьютерами ни в повседневной жизни, ни в процессе обучения.

Аналого-цифровое (изменяющееся) поколение – это поколение, появившееся и получившее базовое образование до появления компьютеров, но в силу разных обстоятельств уже в сознательном возрасте начало активно использовать компьютер.

Цифровое поколение – поколение, которое не знает мира без мобильного телефона, компьютера, игровых приставок. Дети начинают писать sms-ки и печатать на клавиатуре раньше, чем приобретают навыки рукописного текста. Новое, цифровое поколение будет учиться гораздо быстрее своих родителей, так как им будут доступны более совершенные компьютерные технологии обучения. Это будет возможно при наличии не менее 60 % профессорско-преподавательского состава из числа аналого-

УДК 621.8

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Д. С. ГАЛЮЖИН, Е. И. ШИШКОВ, А. Г. ЧЕХОВСКИЙ, М. Д. КУРОЖКО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В настоящее время большое внимание уделяется повышению качества изделий. На основе решения этой задачи может быть обеспечена конкурентоспособность машин и механизмов за счет создания и использования более эффективного и дешевого малогабаритного привода. К сожалению, на текущий момент не имеется общей методики по оценке параметров редукторов различных типов, что создает определенные сложности при их выборе. Проводимые в этой тематике исследования позволят привести к единой системе методику испытаний редукторов различных типов. Результатом методики будет получение комплекса данных, общих для любого типа редукторов, позволяющих производить их сравнение в качественном плане.

Методика предполагает использование универсального стенда с применением интеллектуальной системы управления входными данными и снятия и обработки выходных показателей. Реализация методики осуществлена в пакете программ Labview, в котором реализован единый подход к формированию виртуального стенда для любого типа передач. В программе создан интуитивно понятный интерфейс, позволяющий пользователю любого уровня произвести все необходимые испытания редукторов. Основой для исследования и оценки параметров передач с целью сравнения и анализа используются методики оценки цилиндрических, червячных и других типов передач.

Также методика включает использование современных средств компьютерного моделирования. Так, например, средства САПР SolidWorks и его приложение Motion позволят производить исследования параметров кинематической погрешности, КПД передачи, влияние на эти параметры различных факторов, что позволит выявить недостатки изделий еще на стадии проектирования.

В результате, на основе сопоставления результатов экспериментальных исследований и данных полученных при компьютерном моделировании, можно будет сделать вывод о прогнозировании ресурса работы прецессионных передач на стадии проектирования механизмов, о качественной работе механизма и выявить недостатки в конструкции.

УДК 621.787

УСТАНОВКА ДЛЯ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Н. С. ГАРЛАЧОВ, Е. Н. АНТОНОВА
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Проведенный анализ технического обеспечения процесса пневмоцентробежной обработки показал, что существует большое количество конструкций пневмоцентробежных раскатников. Обработка, как правило, производится на универсальном оборудовании (токарных, радиально-сверлильных, вертикально-фрезерных станках), мощность двигателей которых значительно превышает необходимую для осуществления процесса обработки. Специальное оборудование с мощностью, необходимой для процесса обработки, отсутствует.

Существует установка с гидроприводом подачи, однако она не удовлетворяет требованиям по равномерности хода, что немаловажно для получения регулярного микрорельефа. Поэтому возникает необходимость в разработке оборудования с другим видом привода, обладающим более совершенными характеристиками.

При проектировании технологической оснастки рекомендуется располагать продольную ось детали в вертикальной плоскости. Маложесткие детали обладают большей жесткостью в направлении продольной оси по сравнению с поперечной плоскостью. Применение устройств с гидропластмассовыми элементами для закрепления особо тонкостенных втулок не дало положительных результатов. Даже незначительная остаточная деформация упрочненной втулки не позволяет свободно извлечь ее из устройства.

Разработана конструкция установки, позволяющая обрабатывать изделия высотой до 300 мм и с подачей от 60 до 160 мм/мин. Данная конструкция позволяет самоустанавливаться заготовке за счет совмещения ее оси с осью инструмента, а также исключить силовое воздействие на обрабатываемую заготовку. Регулирование подачи производится изменением частоты вращения ротора двигателя постоянного тока, через редуктор.

Разработанная конструкция позволит производить пневмоцентробежную обработку отверстий (диаметром от 20 до 140 мм) различных деталей с наименьшими затратами площади, материалов и электроэнергии. Потребляемая мощность установкой 0,55 КВт, а потребляемая мощность токарно-винторезным станком 11 КВт, что в 20 раз больше.

ждого варианта из первого столбика необходимо указать соответствующий вариант из второго);

– указание истинности или ложности утверждений (вопрос предполагает выбор утверждения «да», «нет», «не знаю»);

– ручной ввод числа (предполагает ввод в качестве ответа числа или нескольких чисел);

– ручной ввод текста (предполагает введение текстовой строки в качестве ответа);

– место на изображении (необходимо указать точку на изображении, и если она попадает в указанную область, то ответ считается верным).

Вторым, самым важным, этапом для создания компьютерного теста является составление тестовых заданий, при этом необходимо, чтобы тестовые задания отвечали определенным требованиям:

– содержательность (обязательная принадлежность вопроса теста к теме, разделу дисциплины, для которой составляется тест);

– краткость (четкая, короткая формулировка, ясное изложение вопроса, требующее однозначного ответа; невозможность двойственного толкования вопроса);

– калибровка по трудности (в тесте должны быть вопросы и задания различной трудности);

– взаимосвязь (задания должны быть взаимосвязаны по содержанию и коррелировать между собой);

– дифференцирование (разделение студентов на сильных и слабых: если на тестовые задания никто не отвечает или отвечают все, то такие задания исключаются из теста).

В заключении следует отметить преимущества тестирования по сравнению с традиционной формой контроля знаний студентов:

– объективность (исключается фактор субъективного подхода со стороны экзаменатора);

– простота (тестовые вопросы конкретнее и лаконичнее обычных экзаменационных билетов, не требуют развернутого ответа);

– валидность (большое количество заданий теста охватывает весь объем материала, что позволяет студенту шире проявить свой кругозор и не «провалиться» из-за случайного пробела в знаниях; исключается фактор «несчастливого билета»);

– демократичность (все тестируемые студенты находятся в равных условиях);

– массовость и кратковременность (возможность за определенный промежуток времени охватить контролем большое количество студентов);

– технологичность (компьютерная обработка результатов тестирования).

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

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

Компьютер сегодня – это мощнейший инструмент получения и обработки информации. Возможности компьютерных и сетевых технологий с каждым годом всё более прогрессируют. В последние 10 лет компьютеры и компьютерные информационные технологии активно внедряются в систему высшего технического образования.

Сегодня учебный процесс невозможно представить без использования компьютерных информационных технологий. Направления, по которым применяются компьютеры и компьютерные информационные технологии в учебном процессе очень разнообразны.

Одно из направлений внедрения новых технологий обучения в учебный процесс – это применение компьютерных программ тестирования для контроля и оценки знаний студентов, как по отдельным видам занятий, так и по дисциплине в целом. Несмотря на обилие тестов по различным, в том числе и по техническим дисциплинам, создание системы адекватной оценки знаний студентов по конкретному предмету является актуальной задачей.

Первым этапом для создания компьютерного теста является выбор компьютерной оболочки, в которой будет реализован сам тест, что бы определить форму вопросов теста.

На сегодняшний день существует множество программных оболочек для создания тестов, различающихся различной степенью сложности и функциональностью, например: SuperTest; Универсальный тестовый комплекс UTC; TestMan; MyTestXи др. Все эти оболочки являются бесплатными и свободно распространяемыми (FreeWare), некоторые из них обеспечивают поддержку тестирования по сети. Все эти программные оболочки поддерживают основные формы тестовых заданий:

– одиночный выбор (тестируемому предлагается выбрать только один вариант ответа из нескольких предложенных);

– множественный выбор (тестируемому предлагается выбрать один или несколько вариантов ответа из нескольких предложенных);

– указание порядка следования (тестируемому предлагается упорядочить список, указать последовательность);

– сопоставление вариантов (предполагает выбор номера соответствующего варианта из всех предложенных, т.е. даны два столбика – для ка-

УДК 621.839

АНАЛИЗ ОСЕВОГО СМЕЩЕНИЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКА В ПЛАНЕТАРНОЙ ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ ПЕРЕДАЧЕ

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

Радиальный или радиально-упорный шарикоподшипник, применяемый в качестве фрикционной передачи, в кинематическом отношении подобен планетарному механизму, где шарики, вращающиеся вокруг собственных осей и оси шарикоподшипника, являются сателлитами, наружное и внутренние кольца – центральными колесами, а сепаратор – водилом. Передаточное отношение планетарной шарикоподшипниковой передачи зависит только от диаметров дорожек качения колец подшипника.

Однако эта формула не учитывает осевого смещения колец подшипника и позволяет определять передаточное отношение передачи только при нулевом угле контакта шарика с беговыми дорожками. Под действием осевого расклинивающего усилия происходит смещение колец подшипника, что приводит к возникновению геометрического скольжения в передаче. В результате геометрического скольжения происходит смещение полюса качения и, следовательно, изменяются радиусы рабочих поверхностей фрикционной пары. Это приводит к неодинаковому изменению скорости на контактах ведущего и ведомого звеньев редуктора.

В зависимости от величины осевого зазора меняется свободный угол контакта α_c шарика с наружным и внутренним кольцом шарикоподшипника. Значение этого угла напрямую влияет на передаточное отношение планетарной передачи, которое будет определяться соотношением:

$$i = 1 + \frac{D_н \cos\alpha_c}{D_в}\ , \qquad (1)$$

где $D_н$ – диаметр дорожки качения на наружном кольце подшипника; $D_в$ – диаметр дорожки качения на внутреннем кольце подшипника.

Таким образом, в планетарных передачах, выполненных на основе радиальных и радиально-упорных подшипниках, передаточное отношение зависит как от смещения полюса качения, так и от изменения радиусов рабочих поверхностей вследствие изменения под нагрузкой угла контакта шарика с беговыми дорожками.

УДК 621.91.04

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ КАНАЛОВЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В. А. ДАНИЛОВ, А. А. ЧЕПУРНОЙ
Учреждение образования
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Новополоцк, Беларусь

Каналовые винтовые поверхности относятся к кинематическим, так как могут быть образованы при сообщении винтового движения замкнутой линии, ограничивающей профиль такой поверхности. В частном случае эта линия является эксцентрично расположенной относительно оси винтового движения окружностью, формирующей круговую винтовую поверхность, например, ротора одновинтового винтового насоса. Резиновый статор такого насоса имеет внутреннюю рабочую поверхность в виде двухзаходней круговой винтовой поверхности, формирование которой при его изготовлении осуществляется методом литья с применением соответствующей оснастки (знака). Наружная поверхность последнего является каналовой винтовой, обработка которой при его изготовлении представляет определенные технологические трудности из-за необходимости применения специального оборудования. В этой связи практическое значение имеет разработка схемы обработки каналовых винтовых поверхностей на универсальном станочном оборудовании.

Формообразование любой поверхности резанием связано с воспроизведением ее производящих линий (образующей и направляющей) определенным сочетанием методов следа, касания, копирования, обката, различающихся формой производящего элемента инструмента (точка, линия, поверхность) и кинематикой формообразования. Выбор сочетания методов формообразования производящих линий зависит от их формы, требований к универсальности схемы обработки и других факторов. Следует учитывать, что при перенесении функции кинематики формообразования на инструмент – кинематика станка упрощается, но снижается универсальность схемы обработки.

При синтезе схемы формообразования поперечное сечение каналовой винтовой поверхности целесообразно принять за ее образующую, а за направляющую – винтовую линию. Из-за переменной формы обеих линий более простой в реализации является схема формообразования поверхности, основанная на воспроизведении обеих производящих линий методом следа, что соответствует обработке точением. Замкнутая плоская линия, которой является образующая каналовой винтовой поверхности, формируется методом следа при перемещении вдоль нее производящей точки, например вершины резца. При точении некруглой поверхности данное пе-

кирского государственного педагогического университета. Это технология проектирования занятий, активизирующих и использующих ресурсы интеллекта обучающегося. Также это технология переработки знаний в процессе их восприятия и усвоения. Конкретной реализацией ДМТ является логико-смысловая модель представления и анализа знаний на естественном языке (ЛСМ).

Основой конструкции логико-смысловой модели является опорно-узловая система координат солярного (радиально-кругового) типа с помещёнными на ней ключевыми элементами содержания учебного материала на естественном языке. По образцу такой системы координат можно представить любую тему по любому учебному предмету; помимо этого, по такому же образцу можно разложить содержание каждой координаты и каждого узла любой координаты.

ЛМС помогают обучаемому производить анализ и синтез знаний, благодаря чему формируется способность все более самостоятельно и более эффективно выполнять учебную деятельность.

Эти модели могут быть использованы на различных этапах обучения: при первичном знакомстве с новым материалом, при его закреплении, при обобщении и систематизации знаний, их коррекции и контроле.

Применение ДМТ на занятиях помогает формированию у обучаемых строго логического представления о теме, разделе, курсе, учит решать прикладные задачи; позволяет алгоритмизировать учебно-познавательную деятельность; усиливает наглядность изучаемого материала; делает обратную связь оперативной; способствует более прочному запоминанию и облегчённому воспроизведению изученного материала; обеспечивает раскрытие воспитательного потенциала предмета.

УДК 378: 65-519

ПРИМЕНЕНИЕ ДИДАКТИЧЕСКОЙ МНОГОМЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

О. В. СЕРГИЕНКО, Ю. В. ВАЙНИЛОВИЧ, А. И. КАШПАР
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Республика Беларусь в 2010 году начала процедуру присоединения к Болонскому процессу. Его основная цель – создание европейского пространства высшего образования и его дальнейшее совершенствование. Вступление Беларуси в Болонский процесс будет способствовать сближению образовательных стандартов национальной и европейской систем высшего образования, усилению интеграции сфер науки, образования, высокотехнологичное производство. В связи с этим возрастает значимость качества подготовки специалистов в высшей школе.

И как следствие важной задачей становится качественное совершенствование образовательного процесса, позволяющее изменить подход к обучению, как со стороны преподавателей, так и со стороны студентов.

Прежде всего, следует проанализировать факторы снижающие качество знаний выпускников высшей школы. Техническая база ВУЗов, кадровый состав преподавателей позволяют подготовить специалистов высокого уровня, но усвоение студентами учебного материала остается проблематичным из-за технологий образовательного процесса.

Студенты все меньше проявляют настойчивости и усердия в обучении, а преподавателям все труднее организовать продуктивный учебный процесс. Основная часть учебного процесса построена на вынужденном запоминании больших объемов информации. Мультимедийные технологии в большинстве случаев просто увеличивают объем иллюстративного материала, предназначенного также только для запоминания, тем самым превращая студентов в пассивных созерцателей.

В данной ситуации проблематично подготовить специалиста, который мог бы оперировать приобретенными знаниями, адаптироваться к изменяющимся условиям в сфере своей профессиональной деятельности, аналитически мыслить, генерировать идеи. При помощи традиционных форм, средств и методов обучения такого результата добиться все сложнее. Решением данной проблемы являются инновационные методы, подходы и технологии в образовании.

Одним из таких методов является дидактическая многомерная технология (ДМТ), автором которой является Штейнберг Валерий Эмануилович**,** доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор Баш-

ремещение создается вращением заготовки B, согласованным с качательным K или осциллирующим (возвратно-поступательным) движением O инструмента. Сочетанием указанных движений создается движение со скоростью резания $\Phi_V - \Phi_V(B_1O_2)$ или $\Phi_V(B_1K_2)$. Форма образуемой линии определяется сочетанием скоростей указанных элементарных движений.

Оба элементарных движения могут сообщаться инструменту, заготовке или быть распределены между ними. Поэтому кинематика формообразования образующей каналовой винтовой поверхности методом следа может быть основана на различных вариантах реализации движения Φ_V, например, $\Phi_V(\overline{B}_1O_2)$, $\Phi_V(\overline{B}_1\overline{O}_2)$ и др., где символ (–) указывает на то, что движение сообщается заготовке. Наиболее простой в реализации является схема профилирования каналовой винтовой поверхности движением $\Phi_V(\overline{B}_1O_2)$.

Вторая производящая линия данной поверхности образуется винтовым движением подачи Φ_S, создаваемым согласованными вращательным B и поступательным $П$ движениями, которые так же могут быть распределены различным образом между инструментом и заготовкой: $\Phi_S(B\overline{П})$, $\Phi_S(\overline{B}\overline{П})$, $\Phi_S(\overline{B}П)$, $\Phi_S(B\overline{П})$. Из этих движений с точки зрения универсальности и простоты реализации предпочтительно движение $\Phi_S(\overline{B}П)$. Для упрощения схемы обработки вращательные движения, необходимые для формирования образующей и направляющей каналовой винтовой поверхности, целесообразно выполнить вокруг общей оси. На основании изложенного, для реализации принята схема обработки, основанная на движениях $\Phi_V(\overline{B}_1'O_2)$ и $\Phi_S(\overline{B}_1''П_3)$, где $\overline{B}_1'$ – составляющая вращательного движения B заготовки, обеспечивающая совместно с движением резца O_2 профилирование поверхности, $\overline{B}_1''$ – составляющая вращательного движения заготовки, обеспечивающая совместно с движением $П_3$ резца формирование винтовой поверхности по длине.

Схема обработки каналовой винтовой поверхности, основанная на указанных движениях формообразования, может быть реализована на специальном станке (патент №4118 РБ) или на модернизированном универсальном токарно-затыловочном станке. В последнем случае требуется вместо кулачка затылования установить на станке специальный кулачок в соответствии с профилем каналовой винтовой поверхности.

Описанная схема формообразования каналовых винтовых поверхностей реализована в лаборатории кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства Полоцкого государственного университета на токарно-затыловочном станке модели 1Б811, что позволило освоить по заказу промышленности производство знаков для изготовления статоров винтовых насосов.

УДК 628.544

СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОАГУЛЯНТЫ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ИОНИТОВ

А. В. ДУБИНА, К. Ч. ВАРКОВИЧ, В. И. РОМАНОВСКИЙ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Проблема переработки отходов производства и потребления, содержащих синтетические полимеры, является одной из актуальных в Республики Беларусь. В процессе эксплуатации состав и свойства полимеров мало изменяются, что позволяет рассматривать их в качестве вторичного сырья, использование которого даст положительный экономический и природоохранный эффект.

Существует ряд полимерных материалов, рециклинг которых затруднен, и поэтому они складируются на полигонах промышленных и твердых бытовых отходов. К таким относятся отходы, содержащие сетчатые полимеры. Реальной альтернативой захоронению отходов, содержащих сетчатые полимеры, может быть механохимическая переработка, при условии использования полученных продуктов. К отходам, содержащим сетчатые полимеры, относятся отработанные синтетические ионообменные материалы, наибольшее количество которых образуется в процессах водоподготовки.

Отработанные синтетические иониты близки по составу и свойствам применяемым в настоящее время коагулянтам и флокулянтам. Остаточная обменная емкость отработанных ионитов является весьма значительной и превышает такую для ряда природных и синтетических сорбционных материалов. В связи с этим интерес представляло получение на основе отработанных ионитов материалов, пригодных для использования в технологии очистки сточных вод в качестве сорбентов и коагулянтов. В качестве одного из способов получения таких материалов рассматривалось измельчение. Требуемая степень измельчения материала определялась направлением использования получаемого продукта. Выбор условий измельчения, обеспечивающих получение продукта с заданными свойствами, проводили по результатам пробного коагулирования и контроля сорбционной емкости. Для получения материала требуемой степени дисперсности использовали шаровую мельницу и ультразвуковые диспергаторы.

Результаты экспериментов показали, что в процессе механохимической деструкции наблюдается перераспределение активных функциональных групп между поверхностью и объемом зерна ионита, происходит уве-

Для обеспечения испытания с приложением переменных прижимающих усилий исследуемого материала к абразивной поверхности предлагается усовершенствовать прибор МИ-2 автоматизированной системой, которая позволяет регулировать прижимное усилие в соответствии с заданным законом. Структурная схема автоматизации представлена на рис. 1.

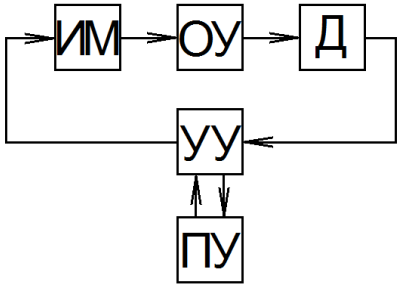


Рис. 1. Схема структурная автоматизации прибора МИ-2

При пуске происходит приложение к образцам (ОУ) заданного начального прижимного усилия, которое контролируется при помощи датчика (Д). Затем при помощи пульта управления (ПУ) оператор задает параметры прижимающего усилия исследуемого материала к абразивному полотну, которое соответствует давлению стопы на опорную поверхность в различные моменты ходьбы человека. Затем устройство управления (УУ) на основании полученной информации подает управляющие сигналы на исполнительный механизм (ИМ), который осуществляет приложение прижимного усилия к образцам. После завершения процесса истирания на дисплее ПУ отображается изменение давления на опору в разные периоды движения.

Внедрение данной автоматизированной системы управления позволит:

– более адекватно производить оценку износостойкости истиранию материалов применяемых в производстве обуви;

– расширить технологические возможности прибора для испытания материалов низа обуви на абразивный износ.

УДК 685.34.017.83.002.56

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИБОРОМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НИЗА ОБУВИ

А. В. ПОПОВ, К. Г. КОНОВАЛОВ
Учреждение образования
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Витебск, Беларусь

При эксплуатации обуви контакт ее с различными видами опорной поверхности и ногами человека носит постоянный характер. В результате поверхность трущихся деталей изнашивается. Наиболее существенен этот износ для подошв, каблуков, стелек и подкладочных материалов. Степень и характер износа зависит от вида контактирующих материалов, особенностей поверхности, прилагаемых усилий и скорости их приложения.

Износостойкость материалов для низа обуви определяют различными методами. Для установления эксплуатационных показателей обуви наиболее распространен метод опытных носок. Однако этот метод дорог и недостаточно точен из-за трудности создания одинаковых условий носки. В настоящее время наиболее часто при анализе износостойкости материалов и деталей для низа обуви используют лабораторные методы, позволяющие получить данные, сопоставимые с эксплуатацией обуви в реальных условиях.

Среди лабораторных методов испытания износостойкости наиболее часто применяют метод определения устойчивости к истиранию закрепленным абразивом по не возобновляемой поверхности. На основании данной методики построен ряд приборов испытания на износ различных материалов. Наиболее распространенным из них является прибор МИ-2. В данном приборе два образца, закрепленные на рычаге, прижимаются к шлифовальному полотну, прикрепленному к вращающемуся диску. Рычаг имеет ось, помещенную в полом валу диска, на которой подвешен груз, создающий силу, прижимающую образцы к абразиву. Скорость скольжения образцов является постоянной величиной.

Исходя из того, что давление стопы на опорную поверхность в процессе эксплуатации имеет переменный характер, то основным недостатком данного способа является постоянное значение прижимного усилия исследуемого материала к истирающей поверхности. Данный факт влечет за собой неадекватную оценку износостойкости деталей и материалов используемых в процессе производства обуви.

личение их доступности, что приводит к увеличению скорости сорбции. Это дает возможность получения сорбционного материала при механохимической деструкции в виде порошков или суспензий при определенной степени дисперсности. Полученный материал проявляет свойства, близких к свойствам используемым в настоящее время флокулянтов.

На основании проведенной работы была разработана технология переработки отходов синтетических ионитов, которые в настоящее время не используются и хранятся на предприятиях или вывозятся на полигоны твердых коммунальных отходов. Установлено, что в результате механохимической обработки, посредством размола в планетарной мельнице и диспергирования водной суспензии измельченных отходов ультразвуком с применением пьезоэлектрического излучателя или отдельной ультразвуковой обработкой с применением гидродинамического излучателя, возможно получение материала с большей удельной поверхностью, чем в исходном материале, что сказывается как на скорости процесса, так и на сорбционной емкости полученного материала. Достигается увеличение сорбционной емкости для больших ионов до 40 раз.

Достоинства технологии:

– переработка отходов, которые в настоящее время складируются;

– не требуется дополнительная обработка отходов;

– незначительное воздействие на окружающую среду;

– возможность использования всех полученных продуктов.

Техническая характеристика:

– расход полученного сорбционного материала для достижения эффективности очистки от красителей не менее 95 % – 0,5 г/л;

– ионообменная емкость вещества по красителям – до 1000 мг/г;

– ионообменная емкость по ионам OH^- (для анионита) и Cu^{2+} (для катионита) – 1,2–2,0 ммоль·экв/г;

Полученные материалы могут быть использованы для очистки сточных вод, содержащих органические и минеральные взвешенные и растворенные вещества; для разделения смазочно-охлаждающих жидкостей; для обезвоживания осадков сточных вод.

Испытаны применительно к сточным водам предприятий промышленности строительных материалов, трикотажных фабрик, заводов по производству ДВП, приборостроительных предприятий, для разделения смазочно-охлаждающих жидкостей Осиповичского завода автомобильных агрегатов, Минского тракторного завода, обработки осадков сточных вод очистных сооружений г. Осиповичи, г. Витебска и Минской станции аэрации.

УДК 539.376

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ, КАРМАНОВ И ПАЗОВ ДЕТАЛЕЙ В CAD/CAM-СИСТЕМАХ

И. Ф. ДЬЯКОВ, А. В. ПОПОВИЧ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Ульяновск, Россия

Возможность создания управляющих программ для станков с ЧПУ сегодня реализована рядом CAD/CAM систем. Использование шаблонов моделирования и эскизов ускоряет изготовление представленной на чертеже детали в её твердотельную модель.

В данной работе описана возможность решения задачи по автоматизации описания обработки типовых элементов в деталях, а также практическая реализация алгоритмов с использованием нейронных сетей.

В процессе функционирования нейронная сеть формирует выходной сигнал Y в соответствии с входным сигналом X, реализуя некоторую функцию g:

$$Y = g(X).$$

При заданной архитектуре сети, вид функции g определяется значениями синаптических весов и смещений сети. Обозначим через G множество всех возможных функций g, соответствующих заданной архитектуре сети.

Пусть решение некоторой задачи есть функция $Y = r(X)$, заданная парами входных–выходных данных (W_1, H_1, r_1, l_1), ..., (W^K, H^K, r^K, l^K), показанные на табл. 1, для которых:

$$Y^k = r\left(X^k\right),$$

где $k = 1,..., N$.

Введем понятие функции ошибки E (функционал качества), показывающую для каждой функции g степень близости к функции r.

Решить поставленную задачу с помощью нейронной сети заданной архитектуры – это значит построить (синтезировать) функцию $g \in G$, подобрав параметры нейронов (синаптические веса и смещения) таким образом, чтобы функционал качества обращался в оптимум для всех пар параметров кармана, показанных на рис. 1 $\left(W^k, H^k, r^k, l^k\right)$.

сторов преобразователя, получение достоверной информации о скорости невозможна.

Таким образом, более совершенный метод параметрического контроля скорости АД в электроприводе с ТРН подлежит разработке.

С целью устранения указанных недостатков можно предложить параметрический способ измерения частоты вращения ротора электродвигателя посредствам измерения тока и напряжения в цепи статора с последующей обработкой полученной информации на аналоговой модели.

При этом аналоговая модель реализуется по формуле:

$$\omega = (1 - \frac{(I_1 - K_{I\mu} \cdot U_1)^2 \cdot r`_2}{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi - K_{\Delta P}}) \cdot \omega_0, \qquad (1)$$

где ω – частота вращения ротора; ω_0 – частота вращения ротора на холостом ходу; $K_{I\mu}$ – коэффициент, определяющий ток намагничивания; I_1 – ток статора; U_1 – напряжение между фазами; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности; $K_{\Delta P}$ – коэффициент потерь.

Данный метод обладает рядом преимуществ перед рассмотренными выше способами измерения скорости:

– не требует конструктивной доработки двигателя;
– малые габариты;
– погрешность не превышает 10 %;
– универсальность применения;
– устойчивость показаний на всем диапазоне регулирования.

Работа данной системы была исследована методом компьютерного моделирования в среде MATLAB 7.9/Simulink/simscape.

Результаты исследования на компьютерной модели подтвердили возможность применения метода. Разработка на основе данного метода параметрического датчика вращения для электроприводов на базе АД с ТРН. При этом практически все недостатки предыдущих методов устранены.

УДК 621.3

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ (ТРН)

О. Н. ПАРФЕНОВИЧ, Е. В. ЕФИМЕНКО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Существующие методы определения частоты вращения ротора асинхронного двигателя (АД) можно разделить на две группы.

1. Измерение частоты вращения использованием электромеханических датчиков (тахогенераторов);

2. Определение частоты вращения путём измерения параметров электродвигателя (ток, напряжение, поток, фаза тока и потока) и соответствующая аналитическая обработка этих параметров.

Достоинством методов первой группы является точность определения частоты вращения ротора.

Недостатки общеизвестны, в том числе в доработке конструкции двигателя, при встройке тахогенераторов.

Некоторые системы второй группы так же требуют вмешательства в конструкцию двигателя.

На данный момент можно выделить следующие параметрические методы измерения частоты вращения ротора:

1) метод, основанный на измерении сигналов, полученных на дополнительной измерительной обмотке, расположенной в статоре и датчика потока (датчика Холла), установленного в воздушном зазоре электродвигателя. Данный метод также требует конструктивной доработки АД;

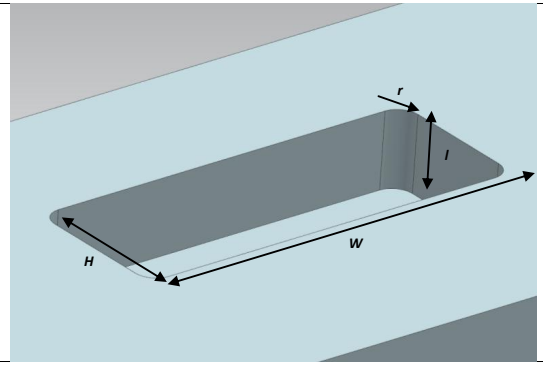
2) способ с использованием генератора переменного напряжения высокой частоты, подключённый к одной из обмоток статора;

3) измеряя токовый сигнал и сигнал напряжения между двумя фазами. Частота вращения ротора в данном методе измеряется по средствам определения фазового сдвига между первыми гармониками напряжения и тока статора. Этот способ применим только до критического скольжения;

4) метод использования зависимости полного сопротивления электродвигателя от скорости. Данный метод применим только для двигателей с повышенным скольжением, что является его недостатком;

5) измерение ЭДС, наводимое полем ротора в обмотках статора в бестоковую паузу. Недостаток данного метода – при полном открытии тири-

Рис. 1. Шаблон обработки

Входные данные:	**Эскиз типового элемента**
Ширина кармана: H Длина кармана: W Глубина кармана: l Радиус скругления стенок: r	

Таким образом, задача обучения нейронной сети определяется совокупностью пяти компонентов

$$< X, Y, g, G, E >.$$

Обучение заключается в поиске (синтезе) функции g, оптимальной по E, требует длительных вычислений и представляет собой итерационную процедуру. Число итераций может составлять от 10^3 до 10^8. На каждой итерации функции ошибки уменьшается.

Далее выбираем тип сети – многослойный персептрон. На следующем этапе производится обучение выбранной сети с учителем по алгоритму обратного распространения ошибки.

После многократного предъявления примеров веса сети стабилизируются, причём сеть даёт правильные ответы на все (или почти все) примеры из базы данных. В таком случае говорят, что сеть обучена. В программных реализациях можно видеть, что в процессе обучения величина ошибки (сумма квадратов ошибок по всем выходам) постепенно уменьшается. Когда величина ошибки достигает нуля или приемлемо малого уровня, обучение останавливают, и сеть готова к распознаванию.

Результат работы нейронной сети позволяет отказаться от ручного ввода последовательности обработки каждого конкретного изделия, делая этот процесс полностью автоматическим. САПР принимает решения самостоятельно, программисту необходимо лишь проверить правильность принятия нейронной сетью решения и внести коррективы в режимы обработки.

Данная разработка в разы снижает время на подготовку управляющих программ, и с течением времени позволяет сформировать базу знаний шаблонов обработки, что повышает производительность труда программиста для станков с ЧПУ.

УДК 621.9

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЦА НА ПОГРЕШНОСТЬ ПРИВЯЗКИ

А. А. ЖОЛОБОВ, А. В. КАЗАКОВ, А. В. ВАНЬКОВИЧ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилёв, Беларусь

При привязке режущего инструмента (токарного резца) к нулю детали не учитывается главный угол в плане φ и радиус при вершине резца. При привязке режущего инструмента точка, которая формирует контур обработанной поверхности, является точкой пересечения двух прямых. Одна из этих прямых параллельна координатной оси станка Z, и проходит через точку касания режущей кромки инструмента и торца заготовки, а другая – параллельна координатой оси станка X и проходит по касательной к вершине режущего инструмента. При обработке в направлении параллельном одной из осей станка такое расположение точки привязки не оказывает влияния на точность обработки. Однако при точении по дуге окружности возникает смещение точки привязки (ΔZ) в направлении параллельном оси станка Z, которое зависит от геометрических параметров и условия привязки режущего инструмента. Под условием привязки режущего инструмента подразумевается глубина резания $t_п$ при протачивании заготовки по диаметру с последующим измерением диаметра обработанной поверхности. Смещение точки привязки (ΔZ) возникает из-за того, что происходит смещение точки касания режущей кромки инструмента и торца обрабатываемой заготовки вследствие различия между значениями глубины резания при привязке($t_п$) и глубины резания рабочего хода (t_p). Такое смещение точки привязки назовём погрешность привязки.

Для определения величины погрешности привязки контур режущей части инструмента разделен на составляющие его геометрические примитивы и характерные точки. Контур режущей части инструмента разделён на два участка: прямолинейный, представленный прямой проходящей под углом φ к оси станка Z, и криволинейный, представляющий дугу окружности.

Таким образом, необходимо чтобы расстояние, от точки привязки до рассматриваемой точки на дуговом участке траектории движения режущего инструмента, было постоянным на протяжении всего рабочего хода, т.е. криволинейная часть контура профиля режущей части инструмента должна являться касательной к дуговому участку траектории движения режущего инструмента в рассматриваемой точке. За точку привязки необходимо принимать центр дуги при вершине резца.

УДК 621.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОТ ТРН АСИНХРОННОГО С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННОМ ИСПОЛНЕНИИ

О. Н. ПАРФЕНОВИЧ, О. А. КАПИТОНОВ, А. С. ТРЕТЬЯКОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Целью данной работы является исследование работы электродвигателей по конструктивному исполнению ДАС, специально предназначенных для регулирования скорости вращения ротора изменением напряжения на обмотке статора при работе с силовым электронным модулем, состоящим из малогабаритного, по размерам совместимого с клеммной коробкой электродвигателя регулятора напряжения.

В ходе анализа результатов компьютерного моделирования различных вариантов реализации силового модуля была выбрана для последующей конструктивной реализации система с фазовым регулированием напряжения на статоре электродвигателя, содержащая фильтр специальной конструкции для улучшения энергетических характеристик, уменьшения шумов и улучшения электромагнитной совместимости с сетью.

Были проведены экспериментальные исследования работы предлагаемой системы электропривода на физической модели. Стенд для проведения исследований содержит тиристорный регулятор напряжения, асинхронный электродвигатель стандартной серии, двухроторный асинхронный электродвигатель ДАС-12, фильтр, содержащий включенные по схеме «звезда» конденсаторы и дроссель для ограничения тока разряда конденсаторов фильтра.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что электродвигатель по конструктивному исполнению ДАС при питании от тиристорного регулятора напряжения работает устойчивее и с более низким уровнем шума, чем стандартный асинхронный электродвигатель, так как благодаря конструктивным особенностям электродвигателя ДАС осуществляется гашение гармонических составляющих токов.

Исследования работы данной системы электропривода с различными способами включения фильтра показали необходимость принятия дополнительных мер для предотвращения собственных колебаний, возникающих между конденсаторами фильтра и ограничивающими дросселями. Для этого необходимо оптимизировать параметры элементов фильтра.

ции в процессе обмена создают необходимые условия для кардинального решения вышеуказанной проблемы с учетом роста топологии, увеличения количества абонентов и их модернизации, а так же обеспечения заданной степени достоверности обмена. Блок аттестации канала, в отличие от известных, включает новые составляющие проверки на отсутствие параметрических отказов в линии связи и аттестации на достоверность работы.

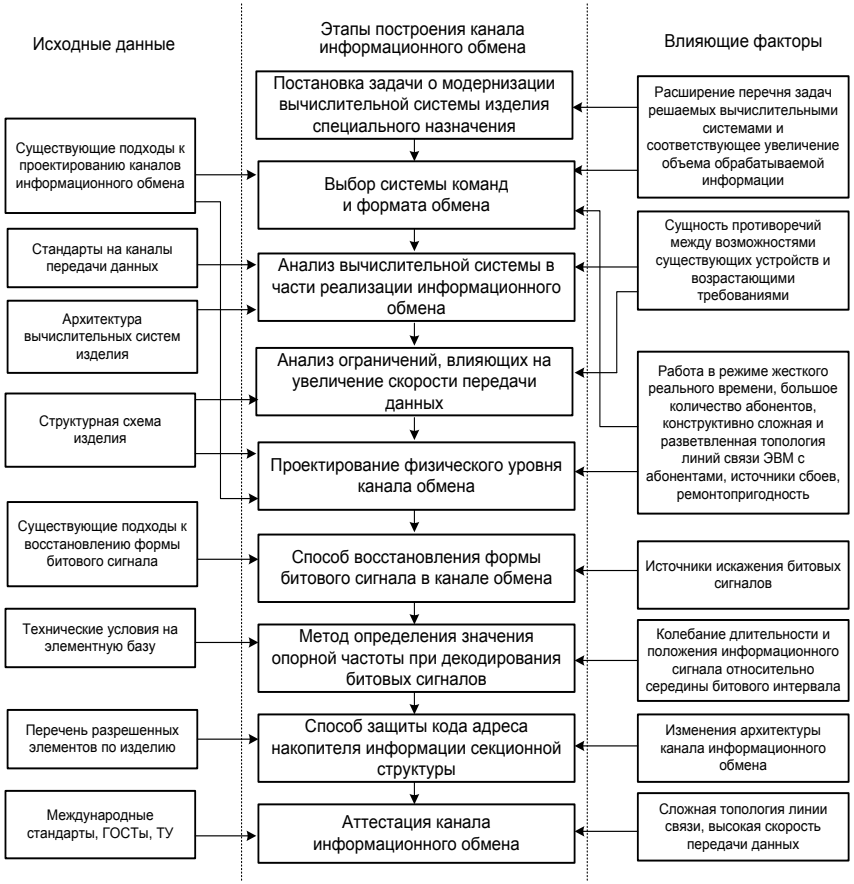


Рис. 1. Методика построения высокоскоростных каналов обмена вычислительной системы изделия специального назначения с абонентами

Следует отметить, что большинство полученных решений имеют универсальный характер и могут быть распространены на различные стандартизованные и нестандартизованные каналы информационного обмена в вычислительных системах реального времени.

УДК 621.9.06

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УСТАНОВКИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕКСТА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

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

Технологическим назначением станка с числовым программным управлением модели “GS/G-600” производства КНР является плазменная резка стальных труб диаметрами 60-600 мм. Он может быть использован для резки отверстий на линии пересечения труб при изготовлении патрубков. Станок снабжен шестью управляемыми осями две из которых являются угловыми: вращение трубы (угловая ось), наклона газового резака – предназначена для реза под углом; продольного перемещения режущей головки; ось вертикальных микроперемещений газового резака – используется для поддержания расстояния между режущей головкой и трубой в соответствии с углом скашивания кромки и имеет функцию контроля расстояния до режущей головки; ось вертикального пошагового перемещения режущей головки предназначенная для поддержания установленной высоты центра при изменении угла скоса кромки; ось поперечного перемещения режущей головки.

Процесс резки отверстий осуществляется согласованным перемещением резака вдоль оси трубы и одновременным вращением ее вокруг своей оси.

В процессе эксплуатации станка установлена невозможность выполнения угла разделки кромок под последующую сварку на линии пересечения патрубков для выполняемых отверстий с помощью поставленной в комплекте CAM-системы, а так же средствами визуального программирования. В связи с этим возникает необходимость в дополнительной операции обработки – формирование скоса кромки отверстия. Основным техническим ограничением выполнения скоса кромок непосредственно на станке является конструктивная реализация наклона резака только в одной плоскости проходящей через ось вращения заготовки.

Был предложен способ выполнения скоса кромки заключающийся в согласованном дополнительным перемещением резака поперек оси трубы и ее вращении вокруг оси.

В процессе реализации данного способа обработки установлена необходимость: в вертикальном смещении резака с целью поддержания постоянного зазора между резаком и заготовкой; в дополнительном довороте

трубы с целью обеспечения заданного угла скоса кромки, коррекции угла поворота резака с учетом его пространственного положения.

Конструктивные особенности станка, заключающееся в одновременном использовании двух систем координат (цилиндрической и прямоугольной декартовой), обусловленные попыткой производителя станка сэкономить на программном обеспечении устройства числового управления, большое количество одновременно управляемых координат (пять), большое количество опорных точек вследствие использования линейной аппроксимации контура отверстия, сложность в определении перемещений по каждой из координат, а так же необходимость в их согласованности, делает практически невозможным ручное программирование обработки на основе предложенного способа.

С целью решения поставленной задачи был разработан программный модуль в среде VBA пакета MS Excel основанный на средствах линейного программирования.

Исходными данными для работы модуля являются: диаметр трубы, диаметр вырезаемого отверстия, ширина реза, зазор между горелкой и заготовкой, угол выполняемого скоса.

Расчет координат опорных точек траектории горелки осуществляется в следующей последовательности: вводится дополнительная полярная система координат с центром совпадающем с осью вырезаемого отверстия; формируется последовательность обхода контура отверстия, задается шаг линейной аппроксимации, вычисляется угловой шаг; определяются текущие координаты резака в декартовой и полярной системах координат; определяются координаты проекции контура отверстия на цилиндрическую поверхность трубы; пересчитывается и распределяется заданный угловой скос кромки в плоскости нормальной к кромке в угол наклона резака в плоскости проходящей через ось трубы и в требуемый угол наклона резака в плоскости перпендикулярной оси трубы; рассчитывается угол поворота трубы с учетом обеспечения требуемого угла наклона резака в плоскости перпендикулярной оси трубы в цилиндрической системе координат; рассчитывается поперечное смещение резака; определяется величина вертикального перемещения горелки с целью поддержания постоянного расстояния между горелкой и заготовкой.

Результатом работы модуля является текст управляющей программы представленной в виде текстового файла который в дальнейшем используется для реализации обработки на станке.

Предложенный способ позволяет совместить резку отверстий в трубах при изготовлении патрубков с формированием требуемого углового скоса кромки под последующую сварку, что позволить исключить дополнительную механическую обработку кромок и соответственно снизить стоимость обработки.

УДК 004.71

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КАНАЛОВ ОБМЕНА С АБОНЕНТАМИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. В. МОРОЗОВ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ ВОЙСКОВОЙ ПВО ВС РФ
им. МАРШАЛА СОВЕТСКОГО СОЮЗА А.М. ВАСИЛЕВСКОГО»
Смоленск, Россия

Улучшение характеристик изделий специального назначения во многом предопределяется развитием вычислительных средств, и, в частности, параметрами каналов информационного обмена, которые имеют жесткую структуру и обеспечивают организацию обмена контроллера, привязанного к управляющей электронной вычислительной машине, и оконечного устройства – абонента.

Проведенный ретроспективный анализ состояния каналов информационного обмена показал, что в вычислительных системах изделий специального назначения присутствует большое разнообразие их номенклатур. Решение привести к единому типу канала не представляется возможным, так как каждый имеет свою нишу, определяемую разрядностью и требованиями к наличию гальванической развязки с некоторыми абонентами. Данные мероприятия требуют сложного согласования.

Параметры подсистемы информационного обмена (битовая скорость, длина линии связи, достоверность передачи информации, количество мультиплексированных абонентов) в значительной мере предопределяют характеристики и качество вычислительной системы в целом. Перечисленные выше параметры находятся в состоянии взаимного противоречия, то есть существенное повышение любого из них без специальных мер приводит к повышению частоты сбоев информации в канале. Поиск компромисса между этими параметрами при допустимой вероятности появления ошибок является актуальной задачей, в первую очередь – для изделий с большим набором дестабилизирующих факторов.

Проблема сопряжения вычислительной системы с абонентами посредством каналов информационного обмена заключается в том, что необходимо сохранив формат сообщения и программный драйвер управления каналом повысить битовую скорость обмена с новыми абонентами и обеспечить развитие топологии линии связи, не снижая при этом достоверности работы.

Предложенные в рамках методики построения высокоскоростных каналов обмена (рис. 1) способ восстановления формы битового сигнала, метод определения значения опорной частоты при амплитудно-временном декодировании битовых сигналов, способы контроля и защиты информа-

m_name и список объектов типа *Value*, который реализует двумерный массив значений параметра.

Структура *Value* состоит из трех полей: наименование ресурса *resourceType*, наименование продукта *productType*, значение *Value*.

Объекты класса *Response* используются для задания имен откликов при моделировании. Можно использовать объекты класса *Variable* без заполнения поля *m_Value* внутри объекта класса *Response*.

ББвД позволяет не только сохранять данные в файл данных модели (экспорт), но и загружать уже ранее подготовленные файлы данных модели для редактирования параметров (импорт). Для этого в программе используется объект класса *XMLReader*. Данный класс содержит поле для хранения имени файла данных модели *m_xmlFileName*, а также метод *ReadXMLElement* для чтения параметра модели из файла данных. В качестве переменных в этот метод передаются наименование параметра модели и форма представления этого параметра (множество *ElementType*). Для загрузки данных о наименованиях ресурсов и продуктов, используемых в модели, служат методы *ReadResoucresTypes* и *ReadProductsTypes* соответственно. Все эти методы используют возможности класса *XmlTextReader* из библиотеки *System.Xml* для быстрого доступа к данным *XML*-файла.

Блок обработки результатов эксперимента (БОРЭ) представляет собой приложение типа *Windows Forms Application*, созданное в среде *Visual Studio* 2008 (*C#*) на базе *.NET Framework* 3.5. После окончания имитационных экспериментов исполняемый файл модели формирует *XML*-файл с результатами эксперимента (откликами). Основная работа БОРЭ ведется с перечнем откликов, которые сгруппированы по номерам опытов, если экспериментом было предусмотрено проведение нескольких параллельных опытов. Каждый отклик представляет собой либо конечное значение, либо меняющуюся с течением времени величину. При параллельных опытах из множества откликов необходимо получить одну выборку. Далее производится анализ полученной выборки (находится среднее, среднеквадратическое отклонение и стандартная ошибка). На основе полученных данных по каждому отклику строятся графические зависимости.

БОРЭ представлен классами *Value*, *XMLReader*, *Variable*, *VariableArray*. Объекты класса *Value* предназначены для хранения значения времени *m_XValue* (если значения отклика меняется с течением времени) и для хранения списка значений отклика в каждом параллельном опыте в данный момент времени *m_YValue*. Для хранения среднего значения откликов, полученных во всех параллельным опытах в определенный момент времени используется поле *m_MeanValue*.

Разработана технология эксплуатации имитационных моделей, основанных на использовании ПТКИ *BelSim*, разработанного блока ввода данных в имитационную модель, блока обработки результатов эксперимента и построения графических зависимостей.

УДК 621.01:004:347.78

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

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

В условия завода РУП «Могилевлифтмаш» были проведены экспериментальные исследования по оценке точности изготовления и сборки червячных редукторов, используемых в составе лебедок пассажирских лифтов. Качество изготовления и сборки червячных передач отражается на плавности работы редуктора и, следовательно, на плавности перемещения кабины лифта. На заводе контроль качества сборки червячных передач осуществляется на основе показаний уровня шума данных редукторов. Предприятием установлено предельное значение уровня шума в 70 дБ.

Целью проводимых исследований было рассмотрение возможности контроля качества сборки червячных передач непосредственно на участке сборки редукторов с установлением погрешностей сборки и выявлением редукторов, которые будут иметь повышенный уровень шума по показаниям шумометрии. В качестве контроля точности сборки червячных редукторов был выбран кинематический контроль.

Для исследования зависимости между уровнем шума механической передачи и амплитудно-частотным спектром ее кинематической погрешности в условиях РУП «Могилевлифтмаш» были проведены испытания нескольких партий червячных редукторов, следующих модификаций: 0401 (43 шт.), Н0463Б (27 шт.), Н0401Б (19 шт.), 0501(18 шт.). Измерения кинематической погрешности редукторов производились на специальном испытательном стенде. В качестве первичного преобразователя использовался датчик углового положения ВЕ-178, а обработка его сигнала производились с помощью аппаратно-программного комплекса *KINEMATOMETER*.

Для выявления передач с повышенным уровнем шума был использован метод метрического распознавания. Обучение системы производилось по записям кинематических погрешностей 4-х партий червячных редукторов. После обучения система Kinematometer обеспечила распознавание червячных редукторов с уровнем шума, превышающим установленные предприятием технические нормы. Достоверность работы системы при оценке точности сборки червячных передач составила около 80 %. При этом наилучшие результаты функционирования системы были показаны для партии червячных редукторов с наибольшим объемом обучающих данных.

УДК 621.9

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ

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

Качество изготовления деталей, узлов машин, механизмов определяется совершенством технологической системы. Одним из важнейших элементов этой системы является приспособление. Точность, закладываемая на стадии проектирования приспособлений, в значительной степени влияет на точность обрабатываемых деталей. В современном производстве технологическая оснастка входит в систему автоматизированного проектирования (САПР). Для широкого внедрения САПР приспособлений необходимы разработки по их конструированию и расчету точности.

Для оценки точности приспособления необходимо установить, какую часть допуска выполняемого размера заготовки в данном приспособлении можно отнести на приспособление. При проектировании приспособлений в зависимости от их назначения, условий работы и характера выполняемой операции оценку точности проводят в основном по статическим показателям. К ним относятся погрешности, возникающие в момент базирования и закрепления заготовки до начала обработки, погрешность установки приспособления на станке, погрешность положения детали из-за износа установочных элементов приспособления, погрешность от перекоса и смещения инструмента и др. Большинство показателей носит вероятностный характер. Они определяются выбранной схемой и способом базирования, методом закрепления, силой зажима, точностью изготовления основных элементов приспособления.

Разработанная методика расчета приспособлений на точность включает: выбор расчетного параметра точности, расчет допуска на изготовление приспособления, установление допусков на звенья размерной цепи, установление технических требований к приспособлению по обеспечению его точности. При расчете случайных погрешностей, использовалась методика определения координат точек обрабатываемых поверхностей. При этом определялись координаты точек обрабатываемых поверхностей в системе координат станка и системе координат основных баз детали, построением матрицы преобразования пространства. Для расчета точности приспособлений разработаны базы данных в виде таблиц с численными значениями, формулами и схемами. Для автоматизации расчета разработана программа на языке Visual Basic.

УДК 004.8

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИМИТАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

И. И. МЕЛЬНИКОВ, К. В. ЗАХАРЧЕНКОВ,
Д. М. АЛБКЕИРАТ, А. И. ЯКИМОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Программно-технологический комплекс имитации сложных систем (ПТКИ) *BelSim* реализует процессно-событийный метод построения имитационной модели деятельности предприятия. На основе отдельных компонентов ПТКИ создан программный комплекс имитации производственно-экономической деятельности (ПКИПЭД) предприятия.

ПКИПЭД обеспечивает поддержку принятия решения конечному пользователю комплекса, позволяет исследовать характер изменения показателей (рентабельность, задолженность по кредитам и др.) производственно-экономической деятельности предприятия при изменениях структуры производства или отдельных компонентов производственно-экономической деятельности (стоимость ресурсов, трудоемкость продукции, переменные затраты и др.), выявить причины изменения этих показателей.

В ПКИПЭД блок ввода данных (БВвД) представляет собой приложение типа *Windows Forms Application*, созданное в среде *Visual Studio 2008* (*C#*) на базе *.NET Framework* 3.5. Основной задачей БВвД является предоставление графического интерфейса для ввода параметров модели и сохранения их в *XML*-файле для последующего использования.

Объектами класса *Parameter* являются параметры модели, которые могут быть представлены переменными (параметр-скаляр) или массивами переменных (параметр-вектор), причем как одномерными, так и двумерными. Поэтому класс *Parameter* содержит поля, позволяющие описать одну из возможных форм представления параметра: *m_variable, m_variable_array, m_variable2d_array*.

Объекты класса *Variable_Array* предназначены для описания параметра-вектора, в основе которого лежит одномерный массив значений (например, количество продукта каждого вида на складе). Данный класс содержит следующие поля: имя параметра *m_name* и список объектов типа *Value*.

Объекты класса *Variable2D_Array* предназначены для описания параметра-вектора, в основе которого лежит двумерный массив значений (например, количество ресурса, необходимого для изготовления единицы продукта). Данный класс содержит следующие поля: имя параметра

дельных участков сети, связанных между собой узловыми точками. Участком является элемент сети с постоянной скоростью теплоносителя в трубопроводе. Каждый участок описывался двумя нелинейными алгебраическими уравнениями. Первое уравнение определяет потерю давления жидкости на участке в зависимости от сопротивления и скоростью движения. Второе – определяет изменение температуры жидкости на участке в зависимости от параметров внешней среды, времени суток. Граничные условия на участках обеспечиваются условиями баланса расходов жидкости и равенства температур в узловых точках.

При определении параметров каждого участка сети использовались статистические и экспериментальные методы. Тепловая сеть оборудована большим набором датчиков, следящих за технологическим процессом. Это позволило определить свойства каждого из участков сети и подобрать коэффициенты диссипации и теплоотдачи.

Сложно было спрогнозировать количество тепловой энергии потребляемой потребителями. Для этого фиксировался ежедневное потребление тепловой энергии всеми потребителями за январь 2010 года. Удалось установить, что оно зависит от трех параметров: температуры окружающего воздуха, скорости ветра, влажности. Коэффициент корреляции для жилого фонда 0,85; для промышленных потребителей – 0,7. Очевидно, что САУ должно учитывать все эти параметры окружающей среды.

Вторым важным аспектом является постоянно меняющееся топология тепловой сети в следствии: действий крупных потребителей, аварий, подключение новых потребителей. Изменить математическую модель в ручном режиме и определить новые технологические режимы работы сети в режиме реального времени невозможно. Для решения задачи максимально быстрого формирования математической модели сети был разработан программный комплекс содержащий: графический редактор формирования тепловой сети, блок автоматического формирования системы уравнений, блок определения технологических параметров сети, блок принятия управленческого решения об изменении режимов работы насосных станций.

Графический редактор позволяет диспетчеру изменить топологию сети с помощью набора графических инструментов. Второй модуль сформирует топологическую матрицу, которая описывает узловые точки участков. Для решения уравнений используется прикладные библиотеки из математического пакета MATLAB. Четвертый модуль подбирает значения управляемых параметров технологического режима, соответствующего оптимальному значению целевой функции.

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

УДК 621.91.04 621.833:620.181(045)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

И. К. КАРАСЬ
Закрытое акционерное общество
«СОЛИГОРСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ С ОПЫТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ»
Солигорск, Беларусь

Деформация зависит от многих факторов, причем как от тех, которые влияют на них непосредственно (действуют на стадии механической и химико-термической обработки), так и от тех, что непосредственно не связаны с формированием размеров и формы. Анализ известных источников и проведённые нами исследования показали, что к указанным факторам относятся:

– конфигурация детали, её конструктивные элементы;
– марка стали и колебание её химического состава;
– условия изготовления заготовок;
– условия механической обработки заготовок [1];
– условия химико-термической обработки зубчатых колес.

Из этого следует, что склонность будущей детали к деформации формируется на протяжении всего производственного процесса.

Известно, что наибольшие деформации возникают при химико-термической обработке. Деформация при химико-термической обработке обусловлена как структурными превращениями, вызывающими изменения объема, так и тепловыми напряжениями, в результате образования которых возникают изменения формы изделия [2]. При химико-термической обработке возникают наибольшие напряжения, как в результате собственных напряжений (термических и структурных), так и за счет релаксации ранее имевшихся в изделии напряжений, возникших на различных технологических этапах при изготовлении детали до выполнения термической обработки. Наиболее опасными напряжениями, приводящими к деформациям, являются структурные напряжения, возникающие в процессе фазовых превращений. Эти напряжения образуются вследствие разных удельных объемов исходных и образующихся фаз [3].

Деформации зубьев при химико-термической обработке искажают их геометрические параметры, полученные при зубофрезеровании, и являются причиной увеличения припуска на шлифовку. Поэтому исследование деформации зубчатых колёс с целью управления ими имеет важное практическое значение.

Для подробного изучения деформации было проведено экспериментальное исследование на партии крупномодульных зубчатых колёс. Экспе-

риментальное исследование проводилось в два этапа. На первом этапе был проведён контроль геометрических параметров и погрешностей после зубофрезерной обработки. На втором этапе экспериментального исследования был осуществлён контроль тех же самых параметров, но уже после химико-термической обработки. Контроль погрешностей после зубофрезерной и химико-термической обработке был осуществлён на контрольно-измерительной машине PFS-62 «KLINGELNBERG».

По результатам исследования, было установлено, что при нарезке зубьев погрешность профиля зуба соответствует 7–8 степени точности. Погрешность угла наклона зубьев соответствует 8–9 степени точности. Радиальное и торцовое биение исследуемых зубчатых колес по результатам данных не превышают допустимые значения, указанные в конструкторской документации. После химико-термической обработки точность параметров зубчатых колёс находиться в пределах 9–12 квалитета:

– по наружному и посадочному диаметрам – 11–12 квалитет;

– по профилю зубьев 9–11 квалитет;

– по углу наклона зубьев 10–11 квалитет.

По полученным данным экспериментального исследования, мы также определили среднее и максимальное значение отклонения угла наклона.

На основании проведенного экспериментального исследования деформации крупномодульных зубчатых колёс можно сделать следующие выводы.

1. Деформация крупномодульных зубчатых колёс после химико-термической обработки характеризуется неплоскостностью торцов, некруглостью и конусностью посадочного и наружного диаметра, изменением геометрии зубьев колеса.

2. Зубья при зубофрезеровании должны нарезаться с учётом полученных данных, что позволяет уменьшить припуск под последующую шлифовку.

3. Определив среднее и максимальное значение отклонения угла наклона зубьев, возможно, вводить коррекцию при зубообработке зубчатых колёс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Калашников, С.Н.** Зубчатые колеса и их изготовление / С.Н. Калашников. А.С. Калашников. − М.: Машиностроение, 1983. − 264 с.

2. **Зинченко, В.М.** Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки / В.М. Зинченко. − М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. − 303 с.

3. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач: учебное пособие / Под. общ. ред. В.Е. Старжинского, М.М. Канне. − СПб. : Профессия, 2007. − 823 с.

УДК 621.05

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

С. К. КРУТОЛЕВИЧ, А. Е. МИСНИК, К. А. ДЕМИДЕНКОВ, И. И. МЕЛЬНИКОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

В современных городах тепловые сети представляют собой сложную структуру трубопроводов, регулирующих элементов, теплообменников и других элементов. В данной работе рассматривалась сеть от ТЭЦ 2 до теплообменных пунктов потребителей. Управление технологическим режимом работы сети обеспечивается с центрального диспетчерского пункта. Диспетчер постоянно контролирует технологические параметры функционирования сети: температуру, давление и расход теплоносителя в отдельных точках сети и поддерживает эти показатели в определенном коридоре возможных значений. Неожиданное изменение режимов работы связано с аварийными ситуациями и несанкционированными действиями крупных потребителей. Управляемыми параметрами являются: температура теплоносителя на входе в сеть, расход теплоносителя (режим работы электромоторов подкачки), дросселирование отдельных участков сети.

Задача разработки системы автоматического управления (САУ) технологическими режимами тепловых сетей является актуальной, так как позволяет снизить себестоимость доставки тепловой энергии потребителям.

Разработка САУ включает ряд последовательных этапов: выбор целевой функции управления и набора ограничений, разработка математической модели объекта управления, разработка алгоритма управления, обеспечивающей оптимальное значение целевой функции, разработка программно-аппаратного комплекса и подключение его к объекту управления.

Цель тепловой сети – доставить каждому потребителю необходимое количество тепловой энергии. Критерий целевой функции – минимальные экономические затраты на доставку тепловой энергии потребителям. Долговечность работы отдельных узлов сети и затраты на ремонт и обслуживание учитывалась в системе ограничений на возможные значения технологических параметров.

Математическая модель тепловой сети строилась на основе уравнения Навье-Стокса, описывающего динамику движения жидкости. Учитывались только стационарные режимы работы сети, так как переходные процессы изменения расходов подающих насосов составляют не более 8 % времени работы. Математическое модель представляет собой набор описаний от-

УДК 621.05

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РТК ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

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

Разработка и исследование микропроцессорных устройств управления была проведена для РТК состоящего из трех роботов ПРАСС-500 и трех роботов ПР5-2Э.

Система управления состоит из персонального компьютера и пяти пультов. Необходимый алгоритм работы роботов задается программно оператором на компьютере. Для простоты программирования разработаны специальные библиотеки функций робота. Далее программа, посредством адаптера интерфейсов подключенного к USB выходу компьютера, передается по CAN интерфейсу на пульты. Пульт включает в себя: печатную плату и ряд кнопочных переключателей.

Печатная плата содержит в своем составе:

– микропроцессор;

– пять оптопар, посредством которых реализуется десять дискретных входов;

– две микросхемы силовых интеллектуальных ключей, посредством которых реализуются десять дискретных выходов. Данная микросхема также имеет обратную связь по току.

Управление роботом осуществляется микропроцессором, который, согласно полученной от персонального компьютера программе, подключает к цепи питания, в необходимой последовательности и с требуемой выдержкой времени, электромагнитные клапаны робота. Электромагнитные клапаны осуществляют подачу сжатого воздуха в полости пневмоцилиндров, которые приводят в движение звенья робота.

Кнопочными переключателями можно моделировать следующее:

– обрыв проводов управления, идущих к роботу;

– короткое замыкание проводов управления;

– сигналы о положении рабочего органа робота.

Данная система управления позволяет управлять, как одним роботом в отдельности, так и всеми шестью одновременно. При этом можно добиться согласованной работы между всеми роботами, тем самым моделируя технологическую линию. Также данная система управления позволяет моделировать типичные аварийные ситуации, которые могут возникнуть в процессе работы.

УДК 621.9.192

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

Л. В. КАСЬЯН, В. П. ГОРБУНОВ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Современное производство требует получения все более точных изделий с использованием экономически приемлемого оборудования и методов обработки. Проблема получения заданной точности деталей имеет комплексный характер и должна учитывать ряд показателей, таких как тип станка, его начальная точность и её изменение во времени, серийность производства, номенклатура обрабатываемых поверхностей и пр.

Технологическое оборудование имеет решающее значение при формировании точности обработки. При этом каждый узел станка в той или иной степени участвует в достижении требуемой точности изделия.

Одним из наиболее ответственных узлов любого станка является шпиндельный узел (ШУ), всегда и непосредственно участвующий в процессе формообразования. На его долю приходится от 50 до 80 % погрешностей в общем балансе точности станка [1]. ШУ в первую очередь воспринимает эксплуатационные нагрузки и подвергается воздействию факторов различной природы, скорости и интенсивности, основные из которых приведены на рис.1.

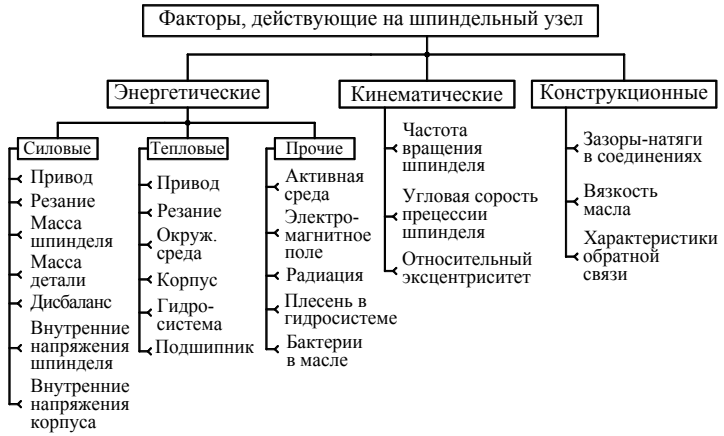


Рис.1. Основные факторы воздействия на ШУ

Наиболее рациональным способом оценки точности ШУ является изучение поведения в пространстве характеристического вектора R [2], положение которого определяется в зависимости от способа крепления заготовки и инструмента, типа формообразующего движения шпинделя (вращательное, вращательно-поступательное). Вектор R является интегральным показателем и в перпендикулярной ему плоскости проявляются все погрешности, связанные с погрешностями опор, с деформацией тела шпинделя, со смещением шпинделя в пространстве под действием тепловых процессов, с погрешностями линейных и круговых траекторий движения исполнительных механизмов.

Для оценки поведения в пространстве вектора R необходимо исследовать статистические характеристики параметров пространственных траекторий опорных точек (ансамбль траекторий), которые являются результатом накопления отдельных погрешностей. Анализ ансамбля позволяет выявить ожидаемые точностные характеристики и их изменение под действием практически каждого из факторов. Однако для получения статистических характеристик требуется сложное и дорогостоящее оборудование, использование которого не всегда оправдано.

Для упрощения оценки точности ШУ с сохранением адекватности полученных результатов возможно исследование не самого вектора R, а его проекций ΔX, ΔY, ΔZ математическим моделированием воздействия силовых факторов. В приложении AutoCAD Mechanical была построена математическая модель для анализа точности ШУ широкоуниверсального фрезерного станка ОРША Ф32Ш: материал шпинделя – Сталь 20Х; тип опор – шариковые радиальноупорные и роликовый двухрядный подшипники; схема установки подшипников – враспор; приложенные силовые факторы – составляющая P_Z силы резания и крутящий момент Т от приводного элемента, приняты исходя из допустимых значений режимов резания при обработке торцевыми фрезами. Силовой анализ ШУ показал, что максимальный прогиб консоли шпинделя составляет 3,9 мкм.

Результаты моделирования позволяют осуществить выбор оптимальной схемы шпиндельного узла для достижения требуемой точности обработки, а также контролируя внешнее воздействие при работе станка прогнозировать возможные отклонения получаемых размеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник в 3-х т. Т. 1. Проектирование станков / А. С. Проников [и др.] ; под общ. ред. А. С. Проникова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – 444 с.

2. **Пуш, А. В.** Шпиндельные узлы: качество и надежность. – М. : Машиностроение, 1992. – 288 с.

УДК 621.05

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ

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

Микропроцессорное устройство управления представляет собой пульт, который включает в себя: печатную плату и ряд кнопочных переключателей.

Печатная плата содержит в своем составе:

– микропроцессор;

– пять оптопар, посредством которых реализуется десять дискретных входов;

– две микросхемы силовых интеллектуальных ключей, посредством которых реализуются десять дискретных выходов. Данная микросхема также имеет обратную связь по току.

Микропроцессорное устройство управления можно использовать для управления двумя роботами ПР5-2Э или одним роботом ПРАСС-500.

Управление роботом осуществляется микропроцессором, который, согласно полученной от персонального компьютера программе, подключает к цепи питания, в необходимой последовательности и с требуемой выдержкой времени, электромагнитные клапаны робота. Электромагнитные клапаны осуществляют подачу сжатого воздуха в полости пневмоцилиндров, которые приводят в движение звенья робота.

Подключение микропроцессорного устройства управления к компьютеру, для получения необходимого алгоритма работы роботов, происходит посредством адаптера интерфейсов. Адаптер интерфейсов подключен к USB выходу компьютера и передает программу по CAN интерфейсу на пульт.

Кнопочными переключателями расположенными на корпусе микропроцессорного устройства управления можно моделировать следующее:

– обрыв проводов управления, идущих к роботу;

– короткое замыкание проводов управления;

– сигналы о положении рабочего органа робота.

Несколько микропроцессорных устройств управления могут использоваться для создания системы управления, которая позволит управлять, как одним роботом в отдельности, так и всеми шестью одновременно. При этом можно добиться согласованной работы между всеми роботами, тем самым моделируя технологическую линию. Также данная система управления позволяет моделировать типичные аварийные ситуации, которые могут возникнуть в процессе работы.

УДК 62-83

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО–ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ СИСТЕМ ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ ПРИ ПОМОЩИ П–Д РЕГУЛЯТОРА

С. В. КОЛЬЦОВ, К. В. ОВСЯННИКОВ, О. П. РОСЛОВЦЕВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО–РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

К электроприводам механизмов повторно-кратковременного режима работы в ряде случаев предъявляются требования быстрого времени протекания переходных процессов при ограниченном перерегулировании. В ряде механизмов имеет место ограниченная жесткость связи между двигателем и рабочим органом механизма, или между составными частями рабочего органа. При настройке регуляторов стандартными способами возникают колебания в механической части и это приводит к повышенному износу установки, ухудшению энергетических показателей электропривода, а иногда и вовсе делает систему неустойчивой.

С целью подавления негативных колебаний были предложены новые методики настройки контуров, в частности последовательно-параллельный метод. Суть данного метода заключается в том, что в стандартную многоконтурную систему вводятся дополнительные корректирующие устройства, связывающие внутреннюю обратную связь с входом регулятора внешнего контура. Как показали исследования, это улучшает динамику переходных процессов.

Рассмотрим настройку корректирующего устройства по П–Д схеме. Следует заметить, что настройка таких устройств сложна, и существует ограниченное количество способов синтеза таких корректирующих устройств. В данном случае можно применить модальный метод и качество настройки оценивать по колебательности замкнутой системы. Для нахождения колебательности двухконтурной системы автоматического регулирования скорости необходимо исследовать передаточную функцию, которая содержит 4 независимые переменные в неявной форме. В данном случае необходимо применить приближенные методы расчета и в первую очередь ограничить коэффициенты регулятора. Далее методом последовательного перебора находятся параметры корректирующего устройства, при которых получается наибольшая степень устойчивости системы. В результате получили удовлетворительный переходный процесс с быстродействием порядка 3 с и перерегулированием менее 10 %.

Таким образом, регулятор, построенный по П–Д схеме, может в ряде случаев заменить ПИД регулятор, что не влечет за собой значительного изменения времени регулирования.

УДК 681.5.015

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

М. М. КОЖЕВНИКОВ
Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»
Могилев, Беларусь

Высокая эффективность применения искусственных нейронных сетей для решения задач мониторинга состояния сборочно-сварочных роботов-манипуляторов показана в ряде работ отечественных и зарубежных исследователей. Большинство алгоритмов адаптации параметров нейронных сетей, предложенных в этих работах, основаны на градиентных процедурах поиска. Такой подход не учитывает специфику динамики современных роботизированных технологических комплексов сборки и сварки, а именно устойчивость замкнутой процедуры адаптации и сходимость идентификационных алгоритмов. В данной работе предложен новый неросетевой подход к решению задачи мониторинга переменных состояния сборочно-сварочного робота, который в отличие от известных, гарантирует асимптотическую устойчивость схемы идентификации робота в целом, а также сходимость алгоритма настройки параметров нейронной сети. Рассмотрены две реализации предложенного метода с использованием многослойной нейронной сети с сигмоидальными функциями и двухслойной нейронной сети с радиальными базисными функциями. Эти нейросетевые структуры комбинируются с динамическими элементами, в форме устойчивых фильтров, для получения рекуррентных процедур идентификации законов изменения скорости движения сочленений робота-манипулятора. Показано что предложенный метод гарантирует устойчивость системы при наличии измерительного шума от датчиков скорости. Исследовано свойство работоспособности разработанной модели. Представлены результаты моделирования, иллюстрирующие возможности предложенного метода для мониторинга и диагностики состояния робота манипулятора типа SCARA в реальном режиме времени. Показано, что предложенный метод позволяет эффективно идентифицировать, как номинальную динамическую модель робота, при наличии измерительного шума, так следующие виды неисправностей робота-манипулятора: остановка звена, свободные колебания звена, насыщение и не аддитивные изменения в динамике звеньев робота.

Для обнаружения отклонений в динамике сборочно-сварочного робота использованы контрольные карты типа X, R, S, которые, как показал проведенный анализ, позволяют достичь наилучшей достоверности при

мониторинге состояния. При этом диапазон изменения анализируемых параметров разделен на три равные зоны и применено 10 правил, нарушение которых в режиме нормальной эксплуатации маловероятно. К числу этих правил относятся: «Выход за контрольные границы», «Выход ниже/выше центральной линии» (7 из 7, 10 из 11, 12 из 14, и 14 из 16 точек), «Попадание в зону С» (15 из 15 точек), «Избежание зоны С» (4 из 5точек), «Точки в зоне А или вне зоны А» (2 из 3 точек), «Линейный тренд» (7 точек), «Колебательный тренд». При этом, для снижения вероятности ошибок диагностики, эти правила применяются совместно.

Для дальнейшего повышения достоверности мониторинга использована модификация нейронной сети обратного распространения (FFN). Эта сеть представляет собой четырехслойную структуру, содержащую 21 нейрон во входном слое. Входной слой используется для ввода данных от контрольных карт (20 последовательных точек и математическое ожидание *M*). Выходной слой сети состоит из одного нейрона, а его выход принимает значения 1 или 0 (соответственно для нормального и аварийного состояния робота-манипулятора). Два скрытых слоя сети содержат 40 и 60 нейронов соответственно. Для активации нейронов в скрытых и выходном слоях используется функция гиперболического тангенса.

Для обучения сети применялся алгоритм обратного распространения, с параметром скорости обучения 0,5. В процессе обучения весовые коэффициенты настраивались таким образом, чтобы минимизировать, среднеквадратичную ошибку (*MSE*), между вектором состояния сети и обучающим множеством. Для обучения было сгенерировано 3800 наборов данных (1000 для нормального функционирования робота и 2800 для различных типов аварийных ситуаций). Веса нейронной сети модифицируются до тех пор, пока не выполнятся условия $\varepsilon \le \varepsilon_{max}$ или $i \le i_{max}$, где ε – величина *MSE*, i – количество итераций.

В процессе исследования рассмотрен ряд четырехслойных сетей обратного распространения, отличающихся значениями размерности скрытых слоев h_1 и h_2, а обучение проводилось до достижения значений $\varepsilon_{max}=10^{-5}$ или $i_{max}=3000$. Для тестирования этих сетей использовано 140 наборов данных для аварийных режимов и 50 наборов данных для режима нормального функционирования. По результатам моделирования показало, что минимальная величина ε=0,00015 достигается при размерности скрытых слоев $h_1=50$ и $h_2=40$. Однако для случая $h_1=60$ и $h_2=40$, получено большее число корректно распознанных ситуаций (94 %).

Эффективность предложенного подхода к мониторингу состояния подтверждается примерами практического применения в системах управления промышленными роботами-манипуляторами SCARA и РМ-01.

УДК 681.35

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Е. А. ЗАЙЧЕНКО, Н. М. ЩЕРБО, Т. Л. ШЕБАН
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Повышение уровня информатизации в сфере образования изначально требует построения оптимизированной ИТ-инфраструктуры, не требующей высоких затрат на ее содержание. Очень важно овладение студентами навыками работы с различными операционными системами и их сетевыми возможностями в рамках специальных дисциплин. Однако в целях безопасности студентам предоставляется доступ к компьютеру из- под учетной записи с ограниченными правами и возможностями. С другой стороны, в подавляющем большинстве учебных заведений компьютеры работают под управлением операционных систем семейства Windows. В большинстве компьютерных классов Белорусско-Российского университета в настоящее время установлена операционная система Windows XP. У данной системы имеется много недостатков.

Сегодня наряду с Windows существует альтернативная полноценная операционная система Linux, отвечающая всем современным требованиям. Linux представляет собой быстро развивающееся ПО, распространяемое на условиях лицензии GNU GPL, т.е. она бесплатна и общедоступна, имеет графический интерфейс. Linux можно интегрировать в любую локальную сеть, поддерживаются все сетевые протоколы и службы, работа в TCP/IP-сетях. Использование этой операционной системы в учебных заведениях могло бы существенно снизить затраты на приобретение программного обеспечения. Однако, на сегодняшний день среди преподавателей и студентов вузов очень мало тех, кто знаком с этой операционной системой.

Значительную помощь преподавателям и студентам при изучении операционных систем и компьютерных сетей могут оказать так называемые виртуальные машины. Под виртуальной машиной понимается программная среда, позволяющая запускать на компьютере одновременно несколько разных операционных систем и переключаться из одной ОС в другую без перезапуска компьютера. Виртуальная машина в точности эмулирует работу полноценного компьютера. Среди средств для создания виртуальных машин наиболее популярны программы фирмы VMware. Система виртуальных машин VMware позволяет совместно использовать файлы и приложения разными виртуальными машинами за счет использования виртуальной сети (даже в пределах одного компьютера). Все это открывает широкие возможности для изучения компьютерных сетей и серверных технологий.

УДК 621.05

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПРОФИЛЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В МЕТОДИКЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

П. Ю. ЕВДОКИМОВИЧ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Методика виртуальных испытаний, базирующаяся на имитационном математическом моделировании, предполагает задание внешних воздействий на колесную машину в виде конкретных функциональных зависимостей параметров возмущений по пути. Поэтому, для того, чтобы описать возмущения со стороны опорной поверхности (сцепные свойства грунта, профиль трассы в вертикальной плоскости, сопротивление движению), необходимы методы моделирования реализаций случайных функций.

Существует два метода использования вероятностных характеристик микропрофиля пути (опорной поверхности). Первый представляет микропрофиль пути в виде непрерывного случайного процесса изменения ординат с известной спектральной плотностью распределения дисперсий или корреляционной функцией. При этом полагается, что случайный процесс изменения ординат по пути в рассматриваемых условиях является гауссовским, стационарным, эргодическим и центрированным. Второй метод предоставляет информацию по опорной поверхности в виде функций распределения длин и высот (размахов) неровностей. Для проведения расчетных исследований динамического движения колесных машин удобнее использовать первый метод.

Движение колесной машины по дороге сопровождается воздействиями от ее неровностей на подрессоренные и неподрессоренные массы, что, конечно же, вызывает вертикальные, продольные, поперечные и угловые колебания этих масс. Также, движение колесного транспортного средства характеризуется непрерывным изменением сил взаимодействия шины в площадке контакта с микропрофилем опорной поверхности. Величина этих сил в значительной степени зависит от характеристик неровностей и упруго-демпфирующих свойств подвески и ходовой системы.

Фактором, определяющим нагрузки в трансмиссии и динамические качества колесной машины, является момент сил сопротивления движению. Его точная количественная оценка необходима при анализе динамики трансмиссии и ее элементов в процессе проектирования машины.

УДК 681.5.015

МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ СВАРОЧНЫХ РОБОТОВ ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ОРИЕНТАЦИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

М. М. КОЖЕВНИКОВ, Н. И УЛЬЯНОВ
Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»
Могилев, Беларусь

Одной из наиболее трудоемких задач при создании роботизированных технологических комплексов (РТК) сварки является задача планирования траекторий роботов-манипуляторов в среде с препятствиями. Такие проблемы возникают на производствах, где сварочные операции составляют 40–50 % в объёме общей трудоемкости, поэтому создание легко переналаживаемого оборудования на базе промышленных роботов-манипуляторов является экономически целесообразным. Актуальность этой проблемы для Республики Беларусь обусловлена необходимостью в техническом переоснащении сварочных технологических процессов с целью повышения их эффективности, что включает в себя улучшение качества сварных конструкций, рост производительности и гибкости производства.

Большинство известных алгоритмов планирования траектории сварочных роботов, основаны на модели его конфигурационного пространства, заданной в виде дискретного множества свободных от столкновений локаций технологического инструмента. Эти локации генерируются, как правило, случайным способом. Общим недостатком 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 сварочного 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 позволяют обойти проблему размерности, но не учитывают форму препятствий, звеньев манипулятора и ограничения на ориентацию технологического инструмента, что приводит к реализации траекторий крайне низкого «качества» с большим объемом движений, причем сходимость достигается, только с некоторой вероятностью.

В данной работе предложен новый метод планирования траекторий сварочных 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 сварных конструкций и технологические ограничения на ориентацию технологического инструмента. Предложенный подход основан на топологически упорядоченной нейронной сети, которая моделирует весовую функцию, характеризующую расположение сварочного робота-манипулятора относительно препятствий и технологических ограничений. 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 зафиксирован выход за технологические ограничения, либо столкновение, то матрица связей в нейронной сети модифицируется и генерируется новая траектория при неизменном разрешении сетки дискретизации. Такой процесс повторяется до тех пор, пока траектория сварочного робота 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 и проверки выхода за технологические ограничения, что обеспечивает приемлемое практики количество тестов столкновения при сохранении свойства «полноты» при фиксированном шаге дискретизации.

Разработанный алгоритм реализован программно и тестировался в экспериментальной системе автономного планирования траекторий сварочных роботов. На основе моделирования выполнена оценка показателей эффективности работы предложенного алгоритма и его сравнение с известными алгоритмами планирования. В докладе приведены результаты сравнительной оценки эффективности.

Эффективность предложенного алгоритма подтверждается примерами практического применения при планировании траекторий промышленных роботов-манипуляторов PM-01 и KR-125 в системе автономного программирования сварочных РТК.

УДК 629.113.004.5

СТЕНД ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. В. ГЕРАЩЕНКО, К. Д. МИРОНОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Потребление электрической энергии на предприятиях Республики Беларусь остается достаточно высоким. Объясняется это многими причинами, в том числе и тем, в процессе эксплуатации электродвигателей электроприводов различного технологического оборудования появляются неисправности и разрегулировки, коэффициент полезного действия электродвигателей из-за этого снижается, расход энергии на выполнение одной и той же работы растет. Поэтому обеспечение снижения расхода электрической энергии на предприятиях является актуальной проблемой, решению которой будет способствовать внедрение методов и средств диагностирования электродвигателей.

В результате проведенных научно-исследовательских работ был разработан стенд для диагностирования асинхронных трехфазных электродвигателей переменного тока. Снятый с рабочего места электродвигатель устанавливается на стенд, оборудованный электрическим тормозом с обмоткой возбуждения, вал которого соединяется с одним из концов упругого вала, второй конец которого соединяется с валом электродвигателя.

На валу стенда установлены бесконтактные датчики крутящего момента и частоты вращения, выходы которых соединены с первым и вторым измерительными приборами постоянного тока.

Питание электрической энергией диагностируемого электродвигателя осуществляется посредством автотрансформатора с измерительным вольтметром переменного тока. Обмотка возбуждения электрического тока соединена со схемой нагружения, включающей в себя однофазный автотрансформатор, выпрямитель, сглаживающий конденсатор.

После пуска диагностируемого электродвигателя устанавливается напряжение по вольтметру переменного тока, равное 380 В. С помощью системы нагружения на валу стенда воспроизводится номинальный крутящий момент электродвигателя, отсчитываемый по первому прибору постоянного тока. Если при этом частота вращения вала двигателя, отсчитываемая по второму прибору, является номинальной или близка к номинальной, электродвигатель не имеет разрегулировок и неисправностей.

Полученные выражения передаточных функций позволяют сделать вывод о том, что использование методов прямого анализа и синтеза автоматизированного электропривода с подобными элементами представляется весьма затруднительным из-за наличия гиперболических функций.

Существует два основных метода аппроксимации подобных передаточных функций.

Суть первого метода заключается в замене системы с распределенными параметрами системой конечной размерности с сосредоточенными параметрами. При использовании этого метода аппроксимация системы недостаточным количеством сосредоточенных элементов дает неудовлетворительный результат, а увеличение их числа ведет к неоправданному усложнению расчетной модели и значительному повышению порядка дифференциального уравнения системы в целом.

Второй метод подразумевает аппроксимацию системы с распределенными параметрами с использованием способов приближенного вычисления значений гиперболических функций.

Известен способ аппроксимации передаточных функций путем разложения на простейшие дроби. Получаемые передаточные функции описывают поведение объекта с достаточной степенью адекватности реальному объекту.

В настоящее время с учетом развития вычислительной техники и расширения области применения различных математических пакетов можно легко получить требуемые передаточные функции путем разложения трансцендентных выражений на простейшие дроби. При использовании данного метода аппроксимации учитываются полюса исходной передаточной функции и значения вычетов в найденных полюсах

В ходе расчетов получены передаточные функции объекта с распределенными параметрами от изображения движущего усилия к линейной скорости в начале и в конце упругого элемента.

Исследование полученных моделей в частотной области показало, что передаточные функции дают представление о всех резонансах и антирезонансах в рабочем диапазоне изменения частот входного воздействия.

Полученные передаточные функции предназначены для математического описания механической части исследуемого электропривода.

Передаточная функция от изображения движущего усилия к линейной скорости в начале упругого элемента необходима для осуществления отрицательной обратной связи по противо-ЭДС двигателя. Таким образом в модели создается возможность оценки влияния механической части на электромагнитные процессы в управляемом выпрямителе и работу привода в целом.

УДК 621.92

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛЕГКОПЛАВКОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКИ ДЛЯ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

М. П. КУПРЕЕВ, Е. Н. ЛЕОНОВИЧ
Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТ им.Ф. Скорины»
Гомель, Беларусь

Исследовались керамические связки, содержащие в шихте в виде порошков различной дисперсности (по массе): оксид кремния (63...71 %) и оксид алюминия (14 …21 %), а также борную кислоту – 6...30 %, фтористый натрий – 3...10 %, соли натрия, калия, лития – в количестве 3...8 % каждой. В качестве оксида кремния использовался бой кварцевого стекла и аэросил технический.

Цель исследования – изучение влияния содержания в шихте легкоплавкой связки оксидов кремния и алюминия на ее физико-механические свойства.

Наибольшее значение для производства абразивного инструмента имеют такие физико-механические свойства керамической связки, как вязкость, термическое расширение, твердость, прочность на изгиб.

Для определения текучести связки воспользовались методом растекания расплава по горизонтальной поверхности. За растекаемость (текучесть) связки принимается величина $\mu = D/D_0 * 100\%$, где D и D_0 – диаметры основания образца таблетки при заданной и комнатной температуре соответственно. Эксперименты проводились на цилиндрических образцах (таблетках) диаметром 16 мм и высотою 16 мм.

Определение предела прочности связки на изгиб проводилось на малогабаритных образцах размером 5х5х50 мм по схеме, реализующей чистый изгиб в рабочей части образца (диапазон нагрузок от 0 до 980 Н).

Проведя измерения диаметров растекшихся цилиндриков, было определено влияние содержание в связке A12O3 и SiO2 на ее текучесть при различных температурах обжига образцов (табл. 1).

Табл. 1. Влияние содержания в связке A12O3 и SiO2 (масс. %) на ее растекаемость при повышении температуры в печи

Содержание в связке оксидов кремния и алюминия	Растекаемость связки при различных температурах обжига, %					
	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C	1100 °C
A12O3–21,0%; SiO2– 63,6%	0	0	6	12	31	78
A12O3 – 17,4%; SiO2 – 67,2%	0	0	9	18	41	100
A12O3–14,4%; SiO2 – 70,6%	5	18	31	34	50	113

Из табл. 1видно, что растекаемость связки, содержащей A12O3 – 14,4 % и SiO2 – 70,6 %, составляет более 50 % при температуре обжига 1000 ^{0}C. Для связок с большим содержанием оксида алюминия 50 % растекаемость достигается при температуре 1050 ^{0}C. Поэтому минимальная температура исследуемой связке, содержащей более 17 % оксида алюминия, должна составлять не менее 1050 ^{0}C.

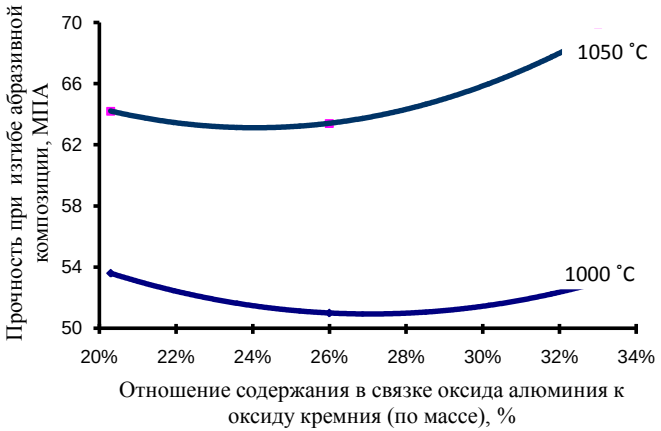


Рис. 1. Зависимость прочности на изгиб абразивных композиций, обожженных при 1000 °C и 1050 °C, от содержания в керамической связке оксидов алюминия и кремния

Данные рис. 1 подтверждают сделанные предположения. Наибольшее значение прочности на изгиб наблюдается для абразивной композиции, изготовленной на связке с повышенным содержанием оксида алюминия. Повышения прочности самой связки достигается при этом за счет увеличения в ней содержания оксида алюминия. Оплавление зерен электрокорунда в этом случае идет менее интенсивно и не оказывает значительного влияния на режущую способность абразивного зерна.

Таким образом, на основе проведенных исследований установлено, что легкоплавкая керамическая связка, содержащая A12O3 – 14,4 % и SiO2 – 70,6 % может быть использована для изготовления абразивного инструмента с температурой обжига изделий не ниже 1000 ^{0}C. Для изготовления абразивных изделий повышенной прочности следует использовать легкоплавкую керамическую связку, содержащую A12O3 – 21,0 %; SiO2 – 63,6 %. Обжиг изделий в этом случае следует производить при температуре не ниже 1050 ^{0}C.

УДК 62-83

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ ОБЪЕКТОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ СЛУЧАЯ ПРОДОЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

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

Проектирование и создание быстродействующих и высокоточных электроприводов с широким диапазоном регулирования скорости немыслимо в настоящее время без учета механических характеристик рабочих органов и объектов управления.

Большое влияние на работу электроприводов оказывают упругие деформации различных механических элементов оборудования, содержащих звенья с распределенными параметрами. Наличие таких элементов в манипуляторах и роботах, протяженных рамных конструкциях и в другом оборудовании обусловливает (вследствие запаздывания поступления входного воздействия на объект управления) значительное отличие возникающих в этом оборудовании переходных процессов от процессов в электроприводах с сосредоточенными параметрами. Недостаточно точное математическое описание такого оборудования приводит к большим погрешностям при анализе и синтезе автоматизированных электроприводов, к уменьшению точности их работы, а в наиболее неблагоприятных случаях – к потере устойчивости электропривода и возникновению незатухающих колебаний.

Целью работы является получение и исследование математического описания линейных и кольцевых объектов с распределенными параметрами.

В работе описываются выведенные передаточные функции, пригодные для исследования в частотной области. Исследуется адекватность аппроксимированной модели реальному объекту. Оценивается абсолютная и относительная погрешности математического описания аппроксимированной модели.

Динамические процессы объектов управления в соответствии с их расчетными схемами описываются системой уравнений, содержащих частные производные по двум независимым переменным.

В результате решения данной системы уравнений путем применения двух преобразований Лапласа (по относительному времени, а затем по относительному удлинению) получаются передаточные функции объекта управления от изображения движущего усилия к скорости в любом сечении элемента с распределенными параметрами.

Роль преподавателя должна сместиться в сторону большего участия в управлении познавательным процессом, своевременной модернизации преподаваемого курса, дистанционному консультированию самостоятельных работ обучаемых и др.

Управление включает интерактивное взаимодействие обучаемых и преподавателя, предполагающего обмен информацией всеми подходящими для данных условий современными средствами.

Интерактивное взаимодействие мотивирует активную работу, направленную на получение знаний, желание самореализации и состязательности каждого проявляется в группе всех участников образовательного процесса.

2**. Компьютерные обучающие и контролирующие программы.**

Одно из интенсивно развивающихся направлений разработка ПО, сайтов и порталов в которых наряду с информационной составляющей, практикумами содержатся сервисы проверки усвояемости теоретического материала и решения практических заданий.

При этом можно не только проверить правильный ответ, но и проследить ход решения задачи. Это помогает студенту самостоятельно найти ошибку, уяснить причину ее появления и исправить.

3. **Интернет-технологии.**

Образовательные Интернет-ресурсы становятся составной часть системы образования, и всё меньше остаётся сомневающихся в эффективности электронных учебных Интернет-ресурсов.

4. **Инновационные формы активизации познавательной деятельности студентов.**

Основными возможностями, которые в этом контексте предоставляются информационными технологиями, являются:

– доступность учебных материалов и консультационно-информационных ресурсов для всех заинтересованных лиц независимо от временного промежутка и местонахождения;

– возможность создания элементов информационно-коммуникативной среды образовательного учреждения;

– создание комфортной среды обучения, как для преподавателя, так и для студента одним из условий которой является оперативный доступ к новейшим учебным материалам.

Дополнительно усилить эффективность обучения можно с помощью раздаточного материала, связанного с компьютерными иллюстрациями. Раздаточный материал, содержащий рисунки, формулы, другие материалы и обязательно свободные места для записи обозначений, определений, формулировок законов и др., не должен быть полностью готовым конспектом лекций, а некоторым его “полуфабрикатом” с последующим доведением его слушателями до кондиции в процессе чтения лекций. Использование такого раздаточного материала позволяет получать более качественные лекционные конспекты, экономно расходовать время лекций, сосредоточить внимание студентов на содержательной стороне излагаемого материала.

УДК 517.927.4:536.24+66.015.23

К РАСЧЕТУ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТРУЙНОГО КРИСТАЛЛИЗАТОРА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ

В. Н. ЛАПТИНСКИЙ, А. А. РОМАНЕНКО, В. Ю. СТЕЦЕНКО
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН БЕЛАРУСИ»
Могилев, Беларусь

Как показывают исследования, именно пограничный слой охлаждающей жидкости во многом определяет охлаждающую способность кристаллизатора. В данной работе формула для локального коэффициента теплоотдачи в автомодельном случае представлена в виде

$$\alpha_x = \lambda_0 \left(\frac{U(x)}{x\nu} \right)^{0,5} \left(\int_0^\infty \exp\left[-\Pr \cdot \frac{m+1}{2} G(\xi) \right] d\xi \right)^{-1}, \qquad (1)$$

где $\lambda_0, U(x) = Cx^m, \nu, \Pr$ – коэффициент теплопроводности, скорость невозмущенного потока, коэффициент кинематический вязкости, число Прандтля охладителя. Здесь функция $G(\xi)$ определена как решение задачи

$$G^{(IV)} + \frac{m+1}{2} G'G''' + m\left(1 - G''^2\right) = 0 \ , \quad G(0) = G'(0) = G''(0) = 0, \ G''(\infty) = 1 \ ,$$

полученное на основе применения метода [1,2].

Для α_x выведены удобные для практических расчетов оценки. В частности, при $\Pr = 1$ имеет место следующая оценка:

$$\alpha_x \le \lambda_0 \left(\frac{C}{\nu} \right)^{0,5} \left[G'''(0) \right] x^{\frac{m-1}{2}}. \qquad (2)$$

Расчеты на ПЭВМ показали эффективность развиваемого подхода. Соотношения (1), (2) могут быть использованы при разработке инженерных методов расчета оптимальных конструкционных параметров кристаллизаторов и рациональных технологических режимов их работы. Для определения коэффициента теплоотдачи в струйном кристаллизаторе при различных углах обтекания охладителя был изготовлен измерительный комплекс, с помощью которого установлена приемлемость полученных расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лаптинский, В. Н.** Анализ охлаждающей способности струйного кристаллизатора / В. Н. Лаптинский, В. Ю. Стеценко // Технологии литья и металлургии. – Минск: Беларус. навука, 2010. – С. 98–106.

2. **Лаптинский, В. Н.** Расчет динамического и теплового пограничных слоев для оценки охлаждающей способности кристаллизаторов / В. Н. Лаптинский, А. А. Романенко, В. Ю. Стеценко, Р. В. Коновалов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 4 (29). – С. 75–83.

УДК 621.9.025.7

КОНСТРУКЦИЯ РЕЗЦА С МЕХАНИЧЕСКИМ КРЕПЛЕНИЕМ ВСТАВОК ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИЛОВ

А. М. ЛЕВДАНСКИЙ, И. А. ЛЕВДАНСКИЙ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Предложенный сборный резец, учитывает недостатки существующих конструкций. За основу была принята похожая конструкция с креплением пластины «косым» винтом, применяемая для твердосплавных и минералокерамических пластин. Она не обеспечивает надежного крепления и правильного распределения сил зажима и поэтому используется ограниченно при работе с небольшими нагрузками. Для крепления хрупких режущих материалов, к которым относятся искусственные алмазы, использоваться она не может в виду точечного характера контакта зажимного винта с пластиной при использовании крепления без стружколома. В качестве режущей вставки в резце используется поликристаллический алмаз поз. 1.

Особенностью предложенной конструкции (рис. 1) является наличие многогранной прижимной шайбы 2, которая может быть выполненная мягкой (как в данном случае при креплении алмаза) – из латуни и твердой (в случаях крепления более прочных пластин) – из закаленной стали. В первом случае это обеспечивает бережный прижим, во втором – более надежный прижим, необходимый при обработке проблемных материалов. При использовании многогранной шайбы отпадает необходимость в накладном стружколоме. Это снижает стоимость конструкции и упрощает её эксплуатацию. Для исключения изгиба винта 3 многогранная шайба установлена в клиновой паз, что увеличивает надежность прижима без увеличения сил зажима. Отдельно от державочной части выполненная рабочая головка 4 имеет возможность поворота в отверстии. При этом обеспечивается возможность изменения геометрии режущей части пластины 1 и быстрая замена на другую, более подходящую по условиям обработки, головку.

Данный способ механического крепления цельного алмаза, в конструкциях резцов позволит обеспечить следующие преимущества по сравнению с существующими способами:

– компактность узла крепления позволяет использовать метод крепления для многолезвийного инструмента. Простота конструкции снизит стоимость инструмента в целом. Обеспечена большая жесткость конструкции за счет нахождения многогранной шайбы в пазу;

УДК 371.64

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

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

Поиск и обобщение информации об инновационных технологиях в образовании, прежде всего в Интернет, позволяет сделать следующие предварительные выводы:

– тема актуальна, количество ссылок в ответ на запрос десятки миллионов, поэтому можно затеряться в этом море информации;

– терминология в этой области разнородна, трактовка терминов неоднозначна;

– количество направлений, которые соотносятся с этой темой обширно.

Тем не менее, можно выделить некоторые общие для всех подходов положения.

Центральное место в инновациях занимают информационные технологии, основанные на использовании ЭВМ, среди которых в образовании можно выделить следующие.

1. Информационные методы преподавания, способствующие повышению качества и эффективности образования.

Очевидно, что классическая лекция (монолог преподавателя, который не сопровождается слайдами и другими иллюстрациями) — наименее эффективный метод обучения: он обеспечивает освоение в среднем около 5 % содержания. В то же время «активное обучение» (вовлечение участников образовательного процесса в различные виды активной деятельности) позволяет добиться значительно лучших результатов

На наш взгляд в настоящее время наибольшего эффекта можно достичь сопровождением чтения лекций компьютерным иллюстрационным материалом. Речь идет не только об отдельных лекционных темах с демонстрацией изучаемых процессов и явлений, а и о практически постоянном использовании динамических и статических иллюстраций.

Использование мультимедийных технологий в процессе обучения позволяет представить учебный материал не только в традиционном, но и в более доступном для восприятия студентами визуально-вербальном виде. Использование таких технологий в сочетании с традиционными видами учебной работы позволяет более эффективно готовить специалистов.

Изменяется роль преподавателя в учебном процессе, повышается эффективность взаимодействия с аудиторией, что способствует лучшему восприятию переданной информации и трансформированию её в знания, понимание, умение, навыки.

УДК 378: 65-519

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПАССИВНОСТИ СТУДЕНТОВ-ЗАОЧНИКОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ

Ю. В. ВАЙНИЛОВИЧ, О. В.СЕРГИНКО, А. И. КАШПАР
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Проблема активизации учебно-познавательной деятельности студентов была актуальной в прошлом и остается актуальной в настоящее время.

Изучение особенностей проявления пассивности в процессе профессиональной подготовки студентов-заочников позволяет углубить знания о ряде феноменов профессионализма, раскрыть возможности личности, а также выработать научно обоснованные рекомендации по обеспечению необходимых условий профессионального развития студента.

Понимание данного аспекта выступает как основа исследования, направленного на выявление педагогических условий преодоления пассивности студентов-заочников при овладении профессией.

Анализ исследований по проблематике профессионального развития личности позволяет выделить три основных направления в ее разработке.

Первое направление – исследуется профессионализм в рамках отдельной отрасли науки с построением теории соответствующего вида деятельности человека. Второе – научные разработки различных видов профессиональной подготовки. Третье (наименее изученное) – поиск путей развития профессионализма специалиста, в том числе изучение проблемы преодоления пассивности студентов вуза.

Анализ трудов, посвященных исследованию разных уровней и критериев успешности профессиональной подготовки и профессионального развития, форм проявления активности и пассивности показал, что проблема преодоления пассивности студентов-заочников в процессе профессиональной подготовки в вузе не имеет должного теоретического осмысления и практико-ориентированных подходов.

Объектом исследования научной работы является профессиональная подготовка специалистов в системе высшего образования в условиях заочного обучения.

Предметом исследования является процесс преодоления пассивности студентов-заочников в ходе профессиональной подготовки в вузе.

– за счет конфигурации многогранной (мягкой при креплении алмаза) шайбы обеспечивается правильное распределение составляющих сил прижима: нормальное направление на опорную (опять мягкую при алмазе пластину); и в угол паза режущего элемента, что особенно важно для хрупкого режущего материала.;

– сила зажима от шайбы на алмазную вставку передается по плоскости с прижимом по направлению совпадающему с главной составляющей силы резания Pz, что увеличивает надежность узла крепления и снижает риск хрупкого разрушения режущей пластины;

– многогранность шайбы увеличивает ресурс её использования, тем самым увеличивая число переустановок сменных пластин и, следовательно увеличивает ресурс эксплуатации конструкции в целом;

– шайба, изготовленная из мягкого материала обладает тормозящим эффектом, что в свою очередь способствует повышению надёжности крепления и ведет к возможности уменьшения сил зажима винта, что важно учитывая его небольшие размеры и хрупкость зажимаемой режущей пластины.

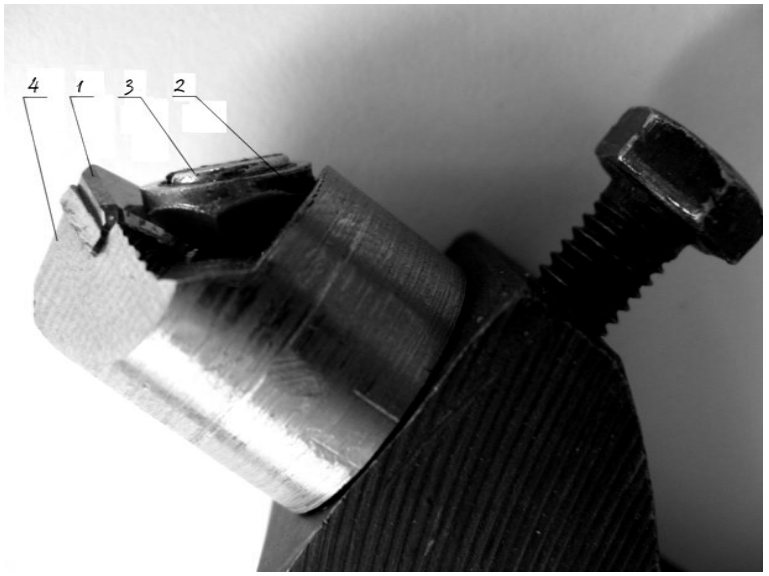


Рис. 1. Предлагаемая конструкция алмазного резца

Предварительные испытания проводились на токарных станках нормальной точности и показали работоспособность конструкции при обработке цветных сплавов на основе алюминия, в том числе на режимах в разы превышающие рекомендуемые ведущими производителями алмазного инструмента.

УДК 62.529

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ПОСТПРОЦЕССОРОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Л. Б. ЛЕВКИНА, М. В. ТЕРЕХОВ, А. В. АВЕРЧЕНКОВ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брянск, Россия

Сегодня значительная доля всех управляющих программ для оборудования с ЧПУ написана с использованием CAM систем. Использование этих систем позволяет в разы уменьшить время написания управляющих программ, как для сложных деталей, так и для относительно простых. Написание управляющей программы в CAM модуле не является трудоемкой задачей, сложно получить программу для конкретной стойки ЧПУ. Основные проблемы возникают при постпроцессировании созданной управляющей программы.

Постпроцессор является транслятором, преобразующим CL-файл CAD/CAM-системы в формат, особенный для каждой отдельно взятой системы с ЧПУ. Он преобразует данные о положении режущего инструмента рассчитанные в CAM-системе (формат APT/CL) в коды конкретного станка (G/M-коды), с учетом особенностей его кинематики. На сегодняшний день распространено 3 способа создания постпроцессоров:

– индивидуальный – это самый старый способ написания постпроцессоров, когда с помощью специальных языков программирования (чаще всего это C++) пишется постпроцессор для определенного станка, процесс очень дорогой, долгий и не гибкий, поэтому мало приемлем;

– обобщенный – данный метод заключается в обобщении однотипных стоек ЧПУ, позволяя вносить в постпроцессор небольшие поправки, данный метод так же не может охватить уникальное оборудование;

– метод генератора – заключается в создании алгоритмов обработки записей полученных из CAM модуля, в последствии из набора этих алгоритмов и получается постпроцессор.

Наиболее актуальным, рациональным и действенным методом является использование смешанной схемы создания постпроцессора. При данном подходе основные функции постпроцессора создаются заполнением типовых таблиц, а специфические составляются с помощью языкового генератора. При разработке постпроцессора данным методом, технолог или программист должен знать и иметь: руководство станка, перемещение осей, референтную позицию станка, пределы подачи по осям, ограничения и диапазоны шпинделя, контроллер станка или руководство программиста, G и M коды станка, регистр адреса его формат и пределы, требования кругового движения, макроязык для разработки постпроцессоров.

Используя описанный подход были разработаны и внедрены для использования постпроцессоры для станков Takisava EX 308, 310, 508, 510. Применение данной технологии позволяет существенно сократить временные и финансовые затраты на разработку постпроцессора.

Исследования проводились в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-417.2010.8.

***Определение* 1.** Объект $ob_t \in Ob$ является элементом кластера K_j, $j \in 1,...,k$ тогда и только тогда, когда он отнесен к данному кластеру, по крайней мере, двумя из трех выбранных методов кластеризации.

***Утверждение* 2.** Пусть P_1, P_2, P_3 – матрицы вида (1) вероятностей принадлежности объектов $ob_t, t = 1,...,N$ определенным кластерам в соответствии с методами кластерного анализа K-Means , Tree, FRC соответственно. Тогда элементы $p_{tj} \in [0,1]$ обобщенной (в смысле Определения 1) матрицы P могут быть получены посредством применения теорем сложения/умножения вероятностей к элементам p_{ltj}, $l = 1, 2, 3$ матриц P_1, P_2, P_3:

$$p_{tj} = (1 - p_{1tj})\,p_{2tj}\,p_{3tj} + p_{1tj}\,(1 - p_{2tj})\,p_{3tj} + p_{1tj}\,p_{2tj}\,(1 - p_{3tj}) + p_{1tj}\,p_{2tj}\,p_{3tj}.$$

Обобщаемые матрицы P_1, P_2, P_3 должны иметь одну размерность. В случае разбиения множества X на разное количество кластеров, необходимо предварительно привести матрицы P_1, P_2, P_3 к одной размерности $k = \max\{k_1, k_2, k_3\}$. Приведение матрицы к необходимой размерности возможно за счет ее дополнения столбцами с нулевыми вероятностями попадания объекта в добавленные кластеры.

Проведено сравнение методов кластерного анализа на множестве X двумерных наблюдений, причем X составлено из нескольких подмножеств $X = A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4 \cup A_5 \cup A_6$ таким образом, что кластеры выделяются визуально. Области $A_1, ..., A_6$ заполнены одинаковым количеством равномерно распределенных на интервале $[0,1]$ значений, полученных в MS Excel с использованием функции СЛЧИС().

Метод K-Means разделил множество X на 3 кластера таким образом, что в кластер K_1 попала большая часть элементов множеств A_1, A_4; в кластер K_2 – большая часть элементов множеств A_2, A_3; к кластеру K_3 отнесено 50 % элементов множества A_5.

Методом Tree множество X разделено на 3 кластера. Кластер K_1 полностью состоит из элементов множества A_1, кластер K_2 включает элементы $A_2 - A_5$, кластер K_3 полностью состоит из элементов множества A_6.

Поскольку разбиения исходного множества X методами K-Means и Tree различны, то для уточнения результатов применяется метод кластерного анализа FRC. Алгоритм FRC при значении параметра $\alpha = 0{,}85$ разделил множество X на 3 кластера.

Анализ обобщенного результата кластеризации позволяет выделить 3 кластера: $K_1 = A_1$, $K_2 = A_2 \cup, ..., \cup A_5$ и $K_3 = A_6$. Таким образом, ожидаемый результат кластеризации исходного множества со специально заданной структурой подтвердился.

УДК 004.8

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ В ХОДЕ ИМИТАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Е. М. БОРЧИК, В. В. БАШАРИМОВ, А. И. ЯКИМОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Пусть при имитационных экспериментах задано множество наблюдений $X = \{x_1, .., x_m\}, x_i \in R^n$, которое необходимо разбить на непересекающиеся подмножества (кластеры). Для решения данной задачи используются методы кластерного анализа, например, K-Means, Tree и Fuzzy Relation Clustering (FRC). Метод K-Means строит *заданное* количество кластеров, но требует охвата каждого кластера отдельным *выпуклым множеством*. Методы Tree и FRC не имеют этого ограничения, но не гарантируют построения *заданного* количества кластеров. Следует отметить, что метод FRC наиболее точен, но характеризуется трудоемкостью $O(n^4)$ от числа элементов.

Гарантированное разбиение множества X на кластеры предполагает использование нескольких методов кластеризации для проверки и уточнения результатов. Вначале разбиение производится методами K-Means и Tree. Если результаты разбиений не совпадают, то применяется метод FRC. В результате разбиения множества X на кластеры каждый из методов ставит в соответствие номерам $i = 1, ..., m$ элементов $x_i \in X$ соответствующие им номера кластеров K_j, $j \in 1, ..., k$. При этом требуется обобщение полученных результатов кластеризации X несколькими методами.

***Утверждение* 1.** Если элементы $x_i \in X$, $i = 1, ..., m$ представляют собой наблюдения n параметров N объектов $Ob = \{ob_t\}, t = 1, ..., N$, $N < m$, то результат кластеризации множества X можно представить в виде матрицы вероятностей принадлежности объектов $ob_t \in Ob$ определенным кластерам

$$P = \left\| p_{tj} \right\|, t = 1, ..., N, \; j = 1, ..., k, \qquad (1)$$

где t – номер объекта, j – номер кластера, k – количество кластеров, $p_{tj} \in [0, 1]$ – вероятность принадлежности t-го объекта кластеру K_j.

Вероятности p_{tj} в (1) рассчитываются на основе определения вероятности, как отношения количества случаев попадания объекта ob_t в кластер K_j к общему количеству наблюдений, выполненных над объектом ob_t.

УДК 621. 937:621.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ОБНОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ЧАШЕЧНОГО РЕЗЦА

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

Современные рыночные отношения вынуждают машиностроительные предприятия нашей страны решать задачи связанные с повышением производительности, снижению себестоимости и улучшению качества выпускаемой продукции. Повышение производительности обработки с одновременным улучшением эксплуатационных показателей обработанных деталей обеспечивает ротационное резание как один из методов высокопроизводительной обработки материалов.

Переход от обычного резания к ротационному связан с коренным изменением характера взаимодействия рабочих поверхностей инструмента с обрабатываемым материалом, заключающийся в непрерывном обновлении в процессе резания контактных поверхностей как обрабатываемой детали, так и инструмента; непрерывном обновлении в процессе резания активного участка режущего лезвия одновременно для всех рабочих поверхностей инструмента; резким снижением скорости относительного скольжения в контактных зонах.

Наибольшее распространение получил метод обновления рабочих поверхностей режущего лезвия, при котором последнему сообщается дополнительное перемещение относительно зоны резания. Технологические возможности ротационных инструментов, их конструкция и геометрические параметры в значительной мере зависят от способа приведения режущей части во вращение, а также от схемы расположения ее по отношению к обрабатываемой детали и направления вращения.

По способу приведения режущей части во вращение ротационные инструменты делятся на два вида:

– принудительно-вращающиеся инструменты (с приводом от отдельного источника),

– самовращающиеся инструменты под действием сил трения, возникающих между рабочими поверхностями инструмента и обрабатываемым материалом.

Однако, для осуществления принципа самовращения необходима определенная установка режущей чашки относительно векторов главного движения и подачи, при которой на его рабочих поверхностях возникают касательные составляющие силы трения. Величина их момента должна быть доста-

точной для преодоления момента сил трения в опорах шпиндельного узла резца. Наличие дополнительного привода для осуществления вращения резца усложняет конструкцию, но позволяет устойчиво работать с малыми или равными нулю углами скрещивания оси режущей части резца и вектором его движения, обеспечивая при этом непрерывное и равномерное перемещение лезвия и полностью исключая вероятность кратковременного замедления или его остановки. Возможно также обеспечение оптимальности направления и скорости перемещения лезвия независимо от условий обработки, геометрической формы и размеров режущей чашки.

В предлагаемой конструкции режущая часть инструмента выполнена в виде диска с режущей кромкой на переднем торце. Режущая часть медленно вращается вокруг собственной оси, таким образом, постоянно обновляя режущую кромку. Для осуществления периодизации процесса резания и одновременного перемещения лезвия без нарушения непрерывности стружкообразования в механизме перемещения необходимо предусмотреть возможность его реверсирования или придать замкнутость траектории, по которой перемещается точка режущего лезвия посредством наложения дополнительного перемещения. Особенностью динамики процесса резания с непрерывным обновлением режущей кромки является возможность стабилизации силы резания на протяжении всего периода стойкости инструмента, обусловленная постоянной величиной износа рабочих поверхностей режущего клина.

Установлено что оптимальными параметрами технологических режимов процесса обработки чашечными резцами с непрерывным обновлением режущей кромки являются: скорость обновления режущей кромки из интервала $V=10^{-6}…10^{-5}$ м/с, подача S = 0,25…0,5 мм/об для чистовой обработки и 0,5…0,8 мм/об для черновой обработки, глубины резания t = 0,2…0,5 мм для чистовой обработки и более 0,5 мм для черновой при этом должна учитываться жесткость технологической системы, скорость резания V = 2…4 м/с. Необходимая скорость обновления режущей кромки обеспечивается использованием в качестве привода реечной передачи, которая преобразует поступательное движение рейки во вращательное движение режущего элемента. Рейка, находящаяся в зацеплении с колесом, приводящим в движение чашечный резец, получает движение от двуполостного гидроцилиндра. Применение гидравлического привода в конструкции позволит повысить силовые характеристики привода и упростить контроль за скоростью обновления режущей кромки.

УДК 621.9

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА ШВА ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ

Д. И. ЯКУБОВИЧ, А. В. ШАБЛОВСКИЙ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Добавление разнообразных порошковых материалов при дуговых способах сварки и наплавки получило широкое применение в промышленности. Основное свое применение они находят как легирующие и модифицирующие добавки. Применяются при изготовлении порошковых проволок, наплавочных паст, а так же в качестве добавок к порошковым флюсам и в покрытия электродов.

Классическое материаловедение и теория сварочных процессов достаточно подробно описывает происходящие процессы плавления и кристаллизации сварочной ванны, а также получаемые свойства наплавленного металла с добавлением разнообразных порошкообразных материалов из известных сплавов. Но на сегодняшний день практически исчерпаны все возможности повышения прочности и износостойкости наплавленного металла традиционными технологиями. Повышение данных свойств возможно при создании новых композиционных порошковых материалов, среди которых наиболее перспективными видятся порошки, получаемые методом механического легирования.

Данный метод заключается в интенсивном смешивании порошков в энергонапряженных мельницах, и позволяет получать композиции, практически без каких либо ограничений по составу и числу компонентов. При данном способе получения порошка образуются новые фазы и соединения, в том числе и те, которые при литье получить не возможно. В результате введения таких соединений в сварочную ванну, образуются наплавочные слои, безусловно, отличающиеся новыми свойствами.

Авторами проводились экспериментальные исследования по дуговой наплавке на стальные пластины двух видов порошков с одинаковым химическим составом. Основными легирующими элементами являлись Cr, Si, Mn остальное Fe. Первый состав использовался в состоянии поставки, без каких либо способов обработки. Второй состав композиционного порошка подвергался методу механического легирования.

Наплавленные швы резко отличались по структуре, размеру зерна и твердости. Использование механически легированных порошков привело к измельчению зерна с 10–50 мкм до 1–10 мкм и увеличению твердость с 30 до 45 HRC.

УДК 621.791.35

РАЦИОНАЛЬНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С НАКЛАДКАМИ

Ю. А. ЦУМАРЕВ, Е. В. ИГНАТОВА, Т. С. ЛАТУН
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Пайка в современной промышленности является важным технологическим процессом, который обладает рядом преимуществ, при соединении цветных металлов и сплавов, разнородных материалов, а также заготовок различной толщин. При этом используется большое разнообразие типов паяных соединений, в том числе, соединения с накладками. В литературных данных рекомендуются паяные соединения с односторонней накладкой и отмечается, что такое конструктивное решение обеспечивает повышение прочности стыкового соединения, не имеющего накладки. Однако такие оценки работоспособности стыковых паяных соединений с накладкой нельзя признать полностью обоснованными и корректными, т.к. при таком подходе к конструированию не учитывается, что дополнение паяного соединения односторонней накладкой лишает его симметрии и коренным образом изменяет характер напряженного состояния. При этом однородное поле напряжений, обусловленное продольной растягивающей нагрузкой, дополняется неравномерным полем напряжений от изгибающего момента, который создается в соединении из-за несовпадения линии действия продольной силы с центром тяжести составного сечения, включающего накладку и соединяемые пластины. Внецентренное растяжения может оказать заметное влияние на несущую способность паяных соединений, но в практике пайки до настоящего времени не рассматривалось. Поэтому целью данной работы является анализ напряженно-деформированного состояния паяного.

В результате такого анализа было установлено, что установка односторонней накладки снижает несущую способность паяного соединения примерно на 30 %. Для повышения несущей способности следует применять симметричные соединения с двусторонними накладками. Степень упрочнения, которую они обеспечивают не зависит от площади спая, а определяется общей толщиной используемых накладок. При этом уровень напряжений в накладках всегда значительно меньше величины приложенных напряжений, что позволяет использовать для изготовления накладок материалы, менее прочные, чем основной металл. Стыковой паяный шов в таком соединении является важным конструктивным и его отсутствие резко снижает несущую способность.

УДК 621.77.016:62178.061

ИОННО-ЛУЧЕВАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ

В. А. ЛОГВИН, А. С. ЧЕРНОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В последнее время возрастающее внимание получило легирование конструкционных металлических материалов примесями внедрения (N, C, B, O). Основными предпосылками такой тенденции стали простота получения соответствующих ионных потоков высокой плотности, сравнительно большая глубина их проникновения в материал образца-мишени, высокая химическая активность и возможность образования высокопрочных включений в поверхностных слоях обрабатываемых металлических материалов. Вместе с тем многие исследования по использованию имплантации ионов различных металлов в поверхностные слои изделий базируются на изменении фазового состояния приповерхностного слоя и полиморфизма. Область исследований данного научно-технического направления получила название «ионно-лучевой металлургии».

Ионная имплантация (ионное внедрение, ионное легирование) – введение примесных ионов (атомов) в твёрдое тело бомбардировкой его поверхности ускоренными частицами, приводящее к проникновению их вглубь мишени. Внедрение становится существенным при энергии более одного кэВ. Движущиеся частицы в результате многократных столкновений постепенно теряют энергию (тормозятся), рассеиваются и в конечном итоги либо отражаются, либо останавливаются, распределяясь в объеме поверхностного слоя по глубине (рис.1).

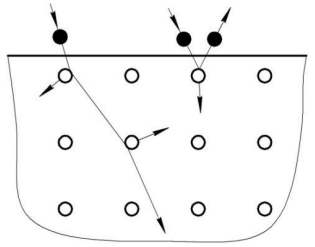


Рис.1. Схема потерь энергии внедряющимся ускоренным ионом

Ионная имплантация имеет ряд преимуществ:
– возможность вводить любой элемент и легировать любой материал;

– легкость локального легирования применяя маскирование или другие доступные методы;

– большие градиенты концентрации примеси по глубине слоя, недостижимые при традиционных методах с неизбежным диффузионным размыванием границы;

– легкость контроля и автоматизации технологического процесса.

Однако существует ряд ограничений, лимитирующих возможности ионной имплантации:

– возможность вводить любую примесь иногда ограничена свойствами рабочего вещества ионного источника (слишком высокая рабочая температура, химическая или температурная нестойкость, чрезмерная токсичность, коррозионная активность);

– локальность легирования при имплантации возможна применением дополнительных устройств виде масок, ионы материала которых могут испаряться в межкатодное пространство;

– снижение концентрации примеси по глубине вследствие радиационно-стимулированной диффузии примеси.

Легирование металлов при облучении их ионами с энергией до и более 10 кэВ имеет ряд характерных особенностей, отличающих его от других способов приготовления сплавов:

– легирование приводит к образованию в приповерхностной области материала атомных смесей, состав которых не лимитируется принципами термодинамики;

– одновременно с ионно-лучевым легированием генерируется большое количество дефектов структуры, которые сильно влияют на расположение вводимых атомов в решетку кристалла и могут вызывать перемещения атомов как на малые, так и на большие расстояния.

Изменяя сорт внедряемых ионов, дозу ионного облучения, температуру образца-мишени, скорость набора дозы, удается получать насыщенные и пересыщенные твердые растворы, метастабильные или аморфные состояния материалов поверхностного слоя.

Часто прибегают к одновременной имплантации ионов различных элементов периодической таблицы. Это связано с повышением адгезии между слоями материалов, которые в природе плохо взаимодействуют в чистом виде. При этом в подслое ионно-имплантированных металлических образцов формируется дислокационная структура как результат деформационных процессов, протекающих в ходе ионной имплантации и в последующий за ионной имплантацией промежуток времени. Подобные процессы вызываются напряжениями, которые генерируются как в самом приповерхностном слое, так и инжектироваться из поверхностного слоя, вследствие релаксации как статических напряжений, связанных с изменением объема поверхностного слоя, так и динамических напряжений, инициируемых при внедрении ионов в образец-мишень.

С целью изучения процессов, протекающих при данном способе сварки была построена математическая модель процесса сварки с применением электрода с увеличенной площадью контакта. Получена деформационная картина точечного соединения при сварке деталей из низкоуглеродистой стали 08пс толщиной 1,5 + 1,5 мм. Основные параметры режима: величина сварочного тока $I_{СВ}$ = 13 кА, время протекания тока $\tau_{СВ}$ = 0,2 с, диаметр контактной поверхности электрода $d_Э$ = 6 мм, усилие сжатия электродов $F_{СВ}$ = 3,5 кН.

Во время пропускания сварочного тока происходит интенсивное тепловое расширение как центральной части электрода с увеличенной рабочей поверхностью, так и детали в зоне контакта. При этом температура поверхностных слоев свариваемого металла обычно на 150…200 °С выше, чем температура поверхности электрода. В связи со значительным повышением пластичности металла происходит его вдавливание и образование углубления на лицевой поверхности соединения. После выключения тока происходит усадка металла под действием ковочного усилия. После полного остывания соединения на лицевой поверхности изделия остается углубление, равное 1…2 % от толщины детали, с обратной стороны глубина вмятины может достигать до 20…25 % от толщины детали.

Стабилизировать деформации лицевых поверхностей изделий и снизить износ указанного электрода можно за счет улучшения условий его охлаждения, что приводит к уменьшению величины максимального температурного расширения материала электрода в его центральной части

Экспериментальная проверка результатов математического моделирования осуществлялась на контактных машинах двух типов: однофазной машине переменного тока МТ-1617 и в заводских условиях на инверторной установке для контактной точечной и рельефной сварки CEMSA ROOF. При точечной сварке по инверторной технологии в качестве электрода со стороны лицевой поверхности изделия применялся большой медный рабочий стол с регулированием температуры его охлаждения специальной холодильной установкой.

Исследования были проведены при температурах охлаждения электродов 8 °С и 22 °С. Глубина вмятины со стороны обычного электрода при этом составила соответственно 5 % и 10 % от толщины детали. Со стороны электрода с увеличенной площадью контакта на лицевой поверхности детали при этом образовывалась выпуклость высотой от 0,015 до 0,03 мм, которая не требовала применения дополнительных операций шлифовки.

Таким образом, широкая охлаждаемая поверхность контакта электрода, по которой распределяется ток, позволяет производить высококачественную точечную сварку без отпечатков от электродов на лицевых поверхностях изделий, недостижимую на стандартных машинах точечной сварки.

УДК 621.791.763.1

О ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОДА С УВЕЛИЧЕННОЙ ПЛОЩАДЬЮ КОНТАКТА

С. М. ФУРМАНОВ, А. Ю. ПОЛЯКОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

При контактной точечной сварке в местах постановки сварных точек образуются вмятины от токоподводящих электродов. Глубина вмятин может достигать 15…30 %, а при нарушениях технологического процесса и появлении выплесков расплавленного металла – до 30…50 % от толщины детали. Деформации лицевых поверхностей ухудшают товарный вид изделий и требуют применения таких технологических приемов как шлифовка, шпатлевка для устранения вмятин, что повышает материальные затраты и снижает производительность труда.

В сварочных машинах с распорными пистолетами и в многоэлектродных машинах часто применяют один из электродов с увеличенной площадью контакта. Однако применение данного электрода не позволяет полностью устранить вмятину с лицевой стороны изделия и не исключает появления глубокой вмятины от электрода с нормальной площадью контакта с другой стороны детали.

В процессе сварки происходит также износ центральной части электрода с увеличенной площадью контакта и образование на нем углубления, что является причиной уменьшения его фактической площади контактирования с поверхностью изделия, перераспределения плотности электрического тока в зоне контакта электрод-деталь, увеличения контактного сопротивления и повышения сварочного усилия для обеспечения качественного соединения.

Глубокие односторонние вмятины приводят не только к ухудшению прочностных свойств соединения из-за сильного утонения одной из деталей в месте постановки сварных точек, но и способствуют образованию общих деформаций свариваемых деталей, таких как коробление и изгиб.

Поэтому в процессе сварки необходимо постоянно следить за состоянием электрода с увеличенной площадью контакта. При его износе и появлении на нем углубления изменяются условия теплоотвода, что приводит к смещению литого ядра относительно плоскости соединения листов и существенному снижению прочности. Это особенно сказывается при сварке деталей разной толщины.

УДК 621.9.01

НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОНУСНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

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

Размеры конусных поверхностей определяются четырьмя параметрами: диаметрами в двух сечениях, расстоянием между этими сечениями и углом конуса. При этом любые три из названных параметров являются независимыми, а четвертый – производным от них. Из этого следует, что для полной оценки точности конусных поверхностей необходимо определить точность, как минимум, трех параметров.

Наиболее распространенным методом контроля конусных поверхностей в производственных условиях является контроль конусными калибрами. Калибр является специальным контрольным инструментом, предназначенным для контроля конусной поверхности только одного номинального размера и одной степени точности.

На кафедре «Технология машиностроения» университета разработан универсальный конусный калибр, позволяющий контролировать конусные поверхности от шестой до двенадцатой степени точности. Для этого контрольные риски нанесены не на конусной поверхности калибра, а на торцовой, расположенной под углом к оси конуса.

Однако контроль угла конусной поверхности калибром является субъективным, так как оценка делается по плотности прилегания калибра к проверяемой поверхности – по следам краски.

Контроль конусных поверхностей является достаточно сложной задачей. Существующие приборы для измерения углов конусных поверхностей являются достаточно сложными и относятся к приборам лабораторного типа. Разработан и запатентован конусомер сравнительно простой конструкции, позволяющий измерять углы внутренних конусных поверхностей косвенным методом.

Конусомер состоит из втулки с внутренней резьбой, через которую проходит винт, на котором параллельно оси нанесена миллиметровая шкала. На конце втулки закреплен диск большого диаметра, а на конце винта – диск малого диаметра. При контроле конусомер устанавливают в конусное отверстие, вращением винта изменяют расстояние между дисками до их касания конусной поверхности.

По линейной шкале отсчитывают указанное расстояние и по известной формуле определяют угол конуса.

УДК 621.91.002

ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ КОМПЕНСАТОРОВ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МЕТОДОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

О. А. МЕДВЕДЕВ, Ю. В. РОЖКОВ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

В основе предлагаемой методики расчета лежат две типовые схемы компенсации суммарных допусков составляющих звеньев линейных конструкторских сборочных размерных цепей. Каждая схема является сочетанием конструкторской и технологической сборочных размерных цепей. Реальная конструкторская цепь представлена в схеме компенсации математически тождественной трехзвенной цепью, состоящей из суммарного составляющего звена, компенсатора и замыкающего звена. При этом все многообразие реальных конструкторских цепей может быть сведено к двум вариантам математически тождественных трехзвенных цепей, отличающихся по влиянию компенсатора на замыкающее звено (уменьшающий или увеличивающий компенсатор).

Технологическая сборочная размерная цепь формируется на этапе предварительной сборки изделия. Замыкающим звеном в ней является полость под компенсатор, а составляющими звеньями – размеры деталей изделия, размеры используемой сборочной оснастки и погрешности определения размера полости. При окончательной сборке изделия из комплектующих деталей и выбранного компенсатора, отклонение замыкающего звена конструкторской цепи от эталона будет равно отклонению размера выбранного компенсатора от размера полости, сформированной при предварительной сборке. Поле рассеяния этого отклонения складывается из погрешностей изготовления и установки эталона, погрешности измерения полости под компенсатор, погрешности изготовления компенсаторов, погрешности выбора компенсатора (ступени компенсации), которые являются случайными величинами и могут быть компенсированы только допуском замыкающего звена конструкторской цепи.

Для случая использования комплекта тонких неподвижных компенсаторов одинаковой толщины (прокладок), предложены схемы компенсации с совмещением полей допусков суммарного составляющего звена и замыкающего звена конструкторской цепи. Это всегда можно сделать путем корректировки номинала хотя бы одного из составляющих звеньев конструкторской цепи. При этом число компенсаторов в комплекте на одно изделие будет на единицу меньше числа ступеней компенсации. Для того

УДК 621.791

БАЗА ДАННЫХ ЛАБОРАТОРИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

Опыт работы лабораторий неразрушающего контроля на предприятиях энергетики, нефтехимии, машиностроения показывает, что за календарный год лаборатории неразрушающего контроля проводят контроль значительного количества объектов. При этом информация об объектах контроля и результатах испытаний, как правило, хранится на бумажных носителях с оригиналами подписей ответственных лиц. Часто в лаборатории остается только запись в журнале, а протокол контроля передается заказчику. В результате найти нужные сведения о прохождении этапов контроля конкретной детали весьма затруднительно.

Избавиться от указанных проблем можно используя специализированную базу данных, в которую заносятся все сведения о заказчике, объекте контроля, используемых технологических документах, режимах контроля, средствах технологического оснащения, результатах контроля, ответственных лицах и т.д.

Указанная база данных позволит оперативно получить сведения о том кем, когда, каким методом контролировалась конкретная деталь, какие дефекты были выявлены, распечатать протокол контроля (что избавит дефектоскописта от ошибок в указании сведений при его заполнении). Кроме того, база данных позволит в любое время и в считанные минуты получить полную информацию о работе, выполненной конкретным дефектоскопистом и лабораторией в целом за любой отрезок времени по каждому методу неразрушающего контроля.

В базу данных включены данные об объектах контроля, средствах технологического оснащения (марки и номера используемого оборудования и оснастки), дефектоскопических материалах, технологических режимах, картах контроля, заказчике (наименование заказа, дата заказа), персонале (общие сведения о дефектоскопистах, их квалификация и т.д.). Предусмотрена возможность изменить и дополнять указанные данные. При этом выполнять это может специалист, имеющий права доступа.

Использование базы данных позволит проследить "жизненный цикл" каждой детали, проходившей контроль в лаборатории.

В работе излагаются основные сведения о базе данных, предназначенной для учета и поиска результатов магнитной и цветной дефектоскопии, а также механических испытаниях.

УДК 621.791.763.2

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ СТУПЕНЧАТЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКЕ

А. Ю. ПОЛЯКОВ, С. М. ФУРМАНОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Ступенчатое сварное соединение – это сварное соединение трех и более деталей, полученное за одну сварочную операцию. Такие соединения обычно сваривают контактной точечной сваркой, однако при применении рельефной сварки более точно фиксируется зона пропускания тока, уменьшается эффект шунтирования. Данные соединения широко применяются при сварке откидных болтов для арматуры, деталей коробок передач и телескопических амортизаторов мотоциклов, пакетов из плоских листов, магнитопроводов электрических машин и др. При сварке соединений данного типа с увеличением количества деталей резко снижается стабильность качества сварки.

Особенностью сварки ступенчатых соединений из трех деталей является необходимость получения двух последовательных сварных точек. При этом сопротивление межэлектродного промежутка возрастает меньше, чем в два раза. Для увеличения тока необходимо повышение вторичного напряжения переключением трансформатора на более высокую ступень при одинаковом времени сварки. Увеличение времени сварки вместо повышения вторичного напряжения нежелательно, так как это приводит к более мягкому режиму, а, следовательно, к увеличению тепловых потерь. В связи с высоким электрическим сопротивлением многослойных пакетов для их сварки необходимы машины с повышенным вторичным напряжением холостого хода. Режим сварки нужно подбирать по толщине той детали, которая находится в контакте с электродом. При этом требуется некоторая корректировка параметров режима (ток, время импульса). Если в середине между более тонкими деталями находится деталь большей толщины, ток необходимо несколько увеличивать. В обратном случае, при размещении более тонкой детали между деталями большей толщины, значительно увеличивают ток или продолжительность импульса нагрева.

Особенностью сварки многослойных пакетов является увеличенное перемещение подвижного электрода в процессе осадки рельефов, что предъявляет к приводам давления рельефных машин высокие динамические требования. Увеличенное перемещение, скорость и ускорение подвижного электрода при сварке ступенчатых соединений можно использовать как необходимые сигналы обратной связи для регулирования параметров процесса сварки в режиме реального времени.

чтобы набор компенсаторов при любом их числе оставался уменьшающим (или увеличивающим) надо середину допуска замыкающего звена конструкторской цепи совместить с серединой первой ступени компенсации. Так как ступень компенсации равна средней толщине одной прокладки (обычно не менее 0,1мм), то эта толщина, наряду с погрешностями сборочной оснастки и допуском изготовления компенсаторов, определяет точность сборки. В этих схемах компенсации вместо допуска одного компенсатора учитывается суммарный допуск максимально необходимого набора тонких компенсаторов.

Приведенное обоснование зависимости точности замыкающего звена конструкторской цепи от составляющих звеньев технологической размерной цепи, являющихся, по существу, случайными величинами, позволяет использовать для расчета требуемых параметров точности тонких компенсаторов и параметров точности сборочной оснастки теоретико-вероятностный метод. Учитывая преимущества этого метода расчета размерных цепей перед методом максимума-минимума можно предположить, что его применение в данном случае позволит сократить требования к точности компенсаторов и оснастки, уменьшить максимально необходимое число компенсаторов, допуская незначительную долю изделий, у которых замыкающее звено будет выходить за пределы заданного допуска.

На основе разработанных схем компенсации и законов теории вероятностей составлено условие достижения точности сборки, которое преобразовано в кубическое уравнения для расчета значения ступени компенсации c

$$\lambda_c^2 \cdot c^3 + \left(\lambda_{рк}^2 \cdot \varepsilon_{рк}^2 - \frac{TA_\Delta^2}{t_\Delta^2} - \lambda_к^2 \cdot TK^2 \right) \cdot c + TA_\Sigma \cdot \lambda_к^2 \cdot TK^2 = 0,$$

где λ_c, $\lambda_{рк}$, $\lambda_{рк}$ – коэффициенты относительного рассеяния величины ступени компенсации, погрешности формирования требуемого размера компенсатора, размера одного тонкого компенсатора, соответственно; $\varepsilon_{рк}$ – погрешность формирования при предварительной сборке размера требуемого компенсатора; TA_Δ – требуемый допуск замыкающего звена конструкторской цепи; t_Δ – коэффициент риска замыкающего звена; TK - допуск одного тонкого компенсатора; TA_Σ – суммарный допуск составляющих звеньев конструкторской цепи;

Аналитическое решение кубического уравнения осуществлялось с помощью пакета Mathematica. Полученные зависимости позволяют обоснованно выбрать число и параметры точности компенсаторов и сборочной оснастки для достижения точности сборки методом регулирования.

УДК 331.46

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА НА МОГИЛЕВСКОМ РЕМОНТНОМ ЗАВОДЕ

К. Д. МИРОНОВ, В. В. ГЕРАЩЕНКО, Е. С. САНДРИГАЙЛО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Исследуя проблемы охраны труда, мы пользуемся в основном теми же методами, что и при изучении многих других общественных явлений. Большую помощь в этом оказывает статистика. По статистическим данным в Республике Беларусь из-за нарушений нормативных требований охраны труда на производстве в 2010 году произошло 218 несчастных случаев. Любая деятельность человека, как на производстве, так и вне него, потенциально опасна.

Авторами была предпринята попытка дать анализ состояния производственного травматизма на Могилевском ремонтном заводе. Количество и тяжесть несчастных случаев на производстве могут оцениваться различными методами. Одним из самых распространенных является статистический метод, который характеризует уровень травматизма следующими основными показателями: коэффициент частоты травматизма, коэффициент частоты травматизма со смертельным исходом и коэффициент тяжести травматизма. Источником для определения указанных показателей явились акты формы Н-1 и отчеты службы охраны труда завода за последние 10 лет (2001–2010 гг.).

Результаты расчетов указывают, что динамика изменения коэффициентов не имеет тенденции к увеличению или уменьшению этих показателей, а носит волновой характер. Так за отчетный период число несчастных случаев находилось в пределах 2…5; коэффициент частоты 0,8…2,7; коэффициент тяжести 7…34 при списочном составе работников предприятия 290 человек.

Основными причинами травматизма являются: неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест, эксплуатация неисправных, несоответствующих требованиям безопасности машин, механизмов, нарушение потерпевшими трудовой и производственной дисциплины, требований инструкций по охране труда, личная неосторожность.

Теоретические работы по исследованию воздействия магнитного поля на электрическую дугу касаются установления закономерностей отклонения дуги в поперечном магнитном поле. В основу этих исследований положено представление о дуге, как о гибком газообразном проводнике, отклонение которого могут вызывать внешние силы (в частности, вызванные магнитным полем).

Таким образом, анализ причин появления эффекта магнитного дутья при сварке технологических трубопроводов, показал, что основное возмущающее воздействие оказывает остаточное намагничивание самой трубы, а также магнитное поле сварочной дуги (зависящее от месторасположения токоподвода). Преимущественное влияние оказывает остаточная намагниченность трубы и в меньшей степени собственное магнитное поле дуги.

Для устранения этого нежелательного эффекта возможен целый комплекс технологических мероприятий (сварка на переменном токе, управление местом подключения «массы» от источника питания и др.), но наиболее эффективное с точки зрения автора является предварительное размагничивание соленоидом, питаемым от мощных сварочных источников.

УДК 621.791.:621.643

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ДУТЬЯ ПРИ СВАРКЕ

М. В. МЕЛЬНИК
Учреждение образования
«МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им.И.П. Шамякина»
Мозырь, Беларусь

При сварке кольцевых швов трубопроводов из теплоустойчивых хромомолибденовых сталей фактором, отрицательно влияющим на устойчивость процесса, сварки и формирования шва, является магнитное поле, возникающее в зазорах труб, подготовленных под сварку. Наличие этих полей связано с остаточной намагниченностью металла труб, в результате проведения погрузочно-разгрузочных работ с применением магнитных захватов, хранении труб вблизи источников сильных магнитных полей, а также в процессе сборки труб под сварку с применением магнитной оснастки.

"Магнитное дутьё" затрудняет зажигание дуги, нарушает стабильность её горения, увеличивает разбрызгивание электродного металла и ухудшает формирование шва. Как правило, швы, сварка которых сопровождалась сильным магнитным дутьём, содержат многочисленные дефекты. Время сварки стыков, имеющих остаточную намагниченность, возрастает в 5–10 раз. Соответственно возрастают и материальные затраты на сварку одного стыка.

Чтобы возбужденная дуга занимала заданное положение, внешние силы должны быть уравновешены равными и противоположно направленными внутренними силами. Неконтролируемые возмущения дуги собственными или внешними магнитными полями являются довольно частыми нежелательными явлениями.

Одним из источников внешних сил при дуговой сварке является магнитное поле тока дуги. Самонаводимое поле, создаваемое сварочным током, окружает дугу и воздействует на неё со всех сторон. До тех пор, пока магнитное поле симметрично, электромагнитная сила в любом направлении уравновешивается равной и противоположно направленной силой, и их равнодействующая равна нулю. Как только симметрия поля нарушится, силы становятся неравными, и дуга отклоняется в направлении наибольшей силы.

УДК 621.9

КОРРЕКТИРОВКА ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕЩЕНИЙ ЗАГОТОВКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛ ЗАКРЕПЛЕНИЯ

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

При закреплении заготовки в приспособлении на нее воздействуют некоторой силой Q. В результате, в направлении действия этой силы возникают перемещения в связи с деформациями элементов приспособления, воспринимающих эту силу, а также деформациями заготовки и стыков звеньев цепи заготовка – установочные элементы – корпус приспособления. Из всех указанных перемещений наибольшую величину имеют перемещения в стыке “заготовка – установочные элементы”.

В справочной литературе представлены зависимости для определения смещений заготовок под действием сил закрепления, результаты которых значительно отличаются друг от друга. Отсутствие однозначности в соотношениях, представленных в технической литературе, требует их экспериментальной проверки и корректировки.

При проведении экспериментальных исследований смещений заготовок под действием сил закрепления при ее базировании по плоскости использовались две стальные заготовки, изготовленные из материала одной поставки: заготовка со средней шероховатостью базовой поверхности Ra=0,542 мкм и средней твердостью 140 НВ, а также заготовка с Ra=0,962 мкм и НВ=156.

В ходе исследования устанавливались зависимости величин смещений заготовок от сил закрепления $y=f(Q)$ для различных типов опор. Использовались точечные опоры с плоской, рифленой и сферической рабочей поверхностью диаметром 12 мм, изготовленные из стали 40Х, а также опорные пластины 7034–0474 ГОСТ 4743–68, изготовленные из стали 20Х с твердостью 55...60 HRC. Твердость точечных плоских и сферических опор – 56...61 HRC. Твердость точечных рифленых опор – 41,5...46,5 HRC.

Вычисления по эмпирическим зависимостям, полученных в результате исследования смещений заготовок под действием сил закрепления, показали, что значения смещений заготовки при ее установке на различных типах опор отличаются от значений, вычисленных по соответствующим соотношениям, представленным в технической литературе.

Следует иметь в виду, что полученные эмпирические зависимости справедливы в рамках тех условий, которые были реализованы при проведении эксперимента. Для других условий они могут давать существенные

отклонения. Поэтому целесообразно связь между расчетными y_p и экспериментальными смещениями заготовок $y_э$ выразить соотношением $y_э = k \cdot y_p$, где k – поправочный коэффициент, учитывающий факторы, которые не участвуют в вычислениях смещений по расчетным зависимостям.

В табл. 1 представлены зависимости вида $k=f(Q)$ для корректировки формул определения смещений заготовки под действием сил закрепления при ее базировании по плоскости, представленных в технической литературе.

Табл. 1. Расчетные зависимости поправочного коэффициента

Наименование опор	Зависимости определения коэффициента k
Для формул, представленных в справочнике “Станочные приспособления” под ред. Б.Н. Вардашкина (Т. 1, 1984 г.)	
Сферическая опора	k=0,253785+0,000276Q
Плоская опора	k=0,546472+0,001202Q
Рифленая опора	k=1,257861+0,00354Q
Опорные пластины	k=0,935139+0,001251Q
Для формул, представленных в работе Микитянского В.В. “Точность приспособлений в машиностроении”, 1984.	
Сферическая	k=0,169127+0,000307Q
Плоская опора	k=0,575807+0,000237Q
Рифленая опора	k=0,578616+0,001629Q
Опорные пластины	k=0,97358-0,000017Q
Для формул, представленных в справочнике технолога-машиностроителя под ред. А.Г. Косиловой (Т. 1, 1986 г.)	
Сферическая	k=0,204671+0,0000552Q
Плоская опора	k=1,373829+0,0000285Q
Рифленая опора	k=0,867544+0,000966Q
Опорные пластины	k=2,384264-0,00083Q

Полученные расчетные зависимости поправочного коэффициента позволяют уточнить формулы для определения смещений заготовок под действием сил закрепления, представленные в технической литературе.

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований были получены эмпирические зависимости смещений в стыке “заготовка – опора приспособления” от сил закрепления, позволяющие вести технические расчеты по упрощенной методике. Эти зависимости позволяют определить значения перемещений, а также сравнить их с теоретическими значениями и найти соответствующую погрешность закрепления заготовки в приспособлении.

плав наночастиц карбонитрида титана в виде нанокристаллов, которые в свою очередь служат центрами кристаллизации.

Нанопорошки применяют при лазерной сварке. В настоящее время это один из способов сварки, где нанопорошки находят все большее применение. Разработана технология лазерной сварки с применением нанопорошка, позволяющая получать сварной шов с существенно улучшенными прочностными свойствами. Особенность новой технологии — введение в сварной шов порошка тугоплавкого соединения (например карбида или нитрида титана) с наноразмерными частицами. Это позволяет управлять процессом кристаллизации металла при сварке. Введение нанопорошка в сварной шов изменяет процесс зародышеобразования, которое происходит на наноразмерных частицах на границе контакта трех фаз (наночастица-зародыш-расплав) и резко изменяет строение и размер (морфологию и дисперсность) растущего зерна. Структура шва вместо игольчато-дендритной становится квазиравноосной и мелкодисперсной. Уменьшается размер неметаллических включений, соответственно повышаются механические свойства (прочность и пластичность) металла шва, возрастает в несколько раз относительное удлинение, увеличиваются предел прочности и предел текучести.

Нанопорошки используют при наплавке, например индукционной. Применение нанодисперсных порошков карбида титана, а также наплавка на сталь покрытий из шихты с добавлением феррохрома позволили получить твердость покрытий 61-62 и 65-66 HRC соответственно.

При поверхностной обработке износостойкого чугуна с помощью CO_2-лазера с модифицированной добавкой (TiN + Cг) и скорости перемещения луча 2 м/мин происходило проплавление поверхности образца на 3,2 мм с образованием упрочненного поверхностного слоя микротвердостью 9,5 ГПа. Это более чем в 1,8 раз выше микротвердости необработанного участка того же образца.

Нанопорошковые технологии также применяют с целью снижения концентраторов напряжений. Используют нанопокрытия, состоящие из эпоксидной смолы и углеродных наночастиц, нанесение которых в зону концентрации напряжений уменьшает распространение микротрещин.

В связи с тем, что дуговая сварка плавящимся электродом занимает одно из ведущих мест во всех отраслях промышленности, необходимо создание наноструктурированных материалов для дуговых способов сварки. При этом следует изучить влияние материалов, содержащих наноструктурированные компоненты, на стабильность процесса сварки плавящимся электродом, а также наноструктурированных материалов – на механические свойства и химический состав сварных соединений и определить технико-экономические показатели процесса с применением материалов, содержащих наноструктурированные компоненты.

УДК 621.791:620.22

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ

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

В последние годы возникла необходимость коренного повышения научно-технического уровня экономики во всем мире. Для решения этой задачи требуется проведение научных исследований, а также массовое внедрение новых прогрессивных технологий в промышленное производство. Приоритетными являются работы в области разработки наноматериалов и нанотехнологий. Именно они будут способствовать существенному повышению эффективности производства в таких областях, как машиностроение, энергетика, строительство и др.

Одно из важнейших направлений нанотехнологии – это получение нанопорошков и их применение. Нанопорошки обладают качественно новыми функциональными свойствами. Применение нанопорошков позволит существенно усовершенствовать существующие технологические процессы и создать качественно новую промышленную продукцию. Используя нанопорошки, например как добавки, можно значительно улучшить свойства различных материалов.

Нанопорошки – только один из многих имеющихся на сегодняшний день наноматериалов. Все наноматериалы, которые производятся в настоящее время, подразделяются на четыре группы: оксиды металлов, сложные оксиды (состоящие из двух и более металлов), порошки чистых металлов и смеси. У материала в наноструктурном состоянии в несколько раз по сравнению с обычным крупнокристаллическим материалом повышается прочность. В отличие от обычных металлов, когда повышение прочности неминуемо приводит к существенному снижению пластичности, при наноструктурировании материал может сохранять пластичность.

В современном мире нанотехнологии и нанопорошки уже нашли свое применение также в сварочном производстве. Но следует отметить, что направления, касающиеся сварочного производства, пока являются новыми. Однако уже есть некоторые научные разработки в области внедрения нанотехнологии в сварочное производство.

При электрошлаковом литье и электрошлаковой сварке возможно управление микро- и макроструктурой жаропрочных никельхромовых сплавов и их физико-механическими свойствами за счет введения в рас-

УДК 621.91

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕРЕДАЧИ ВИНТ-ГАЙКА КАЧЕНИЯ

О. М. МИЩИРУК, Д. В. ОМЕСЬ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Широкое применение передач винт-гайка качения (ВГК) в современных станках с ЧПУ, по сравнению с другими механизмами, обусловлено рядом их достоинств, а именно: беззазорность, высокая осевая жесткость, высокая стабильность момента трения, высокий к.п.д. и др. К тому же эти передачи удобны в эксплуатации, не требуют циркуляционной системы смазки и могут работать в широком диапазоне подач.

От точности передачи ВГК зависит точность координатных перемещений станка, а именно точность линейного позиционирования рабочего органа. Основными факторами, влияющими на данный параметр, являются: точность изготовления составляющих передачи, точность установки, точность конструкции, теплоустойчивость. Кроме того станки с ЧПУ, особенно многоцелевые, обладают повышенной энергоемкостью, что обуславливает значительные величины тепловых деформаций, как базовых деталей, определяющих несущую конструкцию, так и исполнительных механизмов, в частности передач ВГК. Данные передачи могут нагреваться как от внутренних, так и от внешних источников тепла. Внутренними источниками тепла являются сама передача и подшипники опор. Внешними источниками могут быть процесс резания, гидросистема станка, горячий воздух и прочее. Все основные источники тепла можно разделить на два вида: сосредоточенные по концам винта и распределенные вдоль его длины.

В общем случае процесс нагрева не стационарный, так как режим работы передачи ВГК переменный с различными величинами рабочих подач, ускоренным перемещением и различным временем их проявления.

В качестве примера рассмотрена величина теплового смещения передачи ВГК с односторонним осевым закреплением (на примере токарного станка с ЧПУ мод. 1Г340Ф3). Расчет проведен по методике, изложенной в [1]. Величина смещения Δ_x вдоль ходового винта будет определяться зависимостью: $\Delta_x = \beta \cdot \vartheta_{cp} \cdot x$, где β – линейное расширение материала, $1/^{\circ}C$; υ_{cp} – температурное поле, $^{\circ}C$; x – перемещение рабочего органа, м.

Величина υ_{cp} характеризуется геометрическими параметрами передачи (винт рассматривается как стержень конечной длинны L=630 мм и по-

стоянного сечения d=40 мм, упруго закрепленный на одном конце), свойствами охлаждающей среды (режим работы стационарный, соответствующий средневзвешенным значениям коэффициента теплоотдачи) и мощностью тепловыделений, возникающих в опоре и в самой передаче ВГК. Опора винта рассматривается как сосредоточенный источник, а передача ВГК – как источник, равномерно распределенный на участке длинны $Q_{ВГКх}$=0,66 Вт, $Q_{ВГКр}$=26,38 Вт, $Q_{Опх}$=0,89 Вт, $Q_{Опр}$=35,60 Вт. В свою очередь мощность тепловыделений зависит от схемы закрепления опор передачи ВГК, а также от величины подачи, которая зависит от частоты вращения ходового винта и характеризует тяговую силу передачи. При обработке конкретной детали было принято, что рабочая подача S=100 мм/мин, n=10 мин$^{-1}$, а подача установочных перемещений (холостого хода) S=4000 мм/мин, n=400 мин$^{-1}$.Также следует учитывать то, что часть потока тепла, возникающая в передаче ВГК и опорах, распределяется между винтом и базовой деталью. Для практических расчетов можно полагать, что доля теплового потока, направляющегося в винт, составляет χ= 0,5 [2], избыточная температура базовой детали и истечение тепла через торцы винта приняты равными нулю, мощность сосредоточенного источника тепла не зависит от температуры винта, т.е. при расширении винта не происходит раскрытие стыка в подшипнике опоры винта.

В результате проведенных расчетов получены величины теплового смещения для рабочей подачи Δ_x=5 мкм и для подачи холостого хода Δ_x= 18 мкм. Полученная величина теплового смещения ходового винта оказывает влияние на точность перемещения исполнительных органов станка, что существенно для станков высокого класса точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник в 3-х т. Т. 1. Проектирование станков / А. С. Пронников [и др.] ; под общ. ред. А. С. Пронникова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – 444 с.

2. **Соколов, Ю. Н.** Термические расчеты в станкостроении. – М. : Машиностроение, 1968. – 77с.

водорода в атмосферу, что способствует образованию холодных трещин по механизму замедленного разрушения.

Выше приведенные рассуждения показывают, что в зоне термического влияния при наплавке стали 38ХН3МФА, перлитными сварочными материалами, образуются структуры закалки приводящие к образованию холодных трещин. Избежать опасности образования холодных трещин можно за счет применения высокопластичного промежуточного слоя, который будет релаксировать растягивающие напряжения, возникающие от упрочняющей наплавки.

Поэтому наплавку поверхностей пресс-дробилки валковой изготовленной из стали 38ХН3МФА выполняли в два приема: наплавка буферного слоя, наплавка упрочняющего слоя.

Наплавку буферного слоя выполняли аустенитными сварочными материалами. Химический состав и свойства электродов для подслоя приведен в табл. 1.

Табл. 1. Химический состав и свойства электродов для наплавки буферного слоя

Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	R_{p02}, N/mm^2	R_m, N/mm^2	KCV, Дж	HB, a w	HB, w h
UTP 63	0,1	0,5	5,5	19	8,5	350min	600min	60min	200	350
UTP 630	0,1	0,8	6	19	9	350min	600min	60min	200	350

Для наплавки упрочняющего (рабочего) слоя необходимо применять электроды с карбидным упрочнением. Химический состав и свойства электродов для рабочего слоя приведен в табл. 2.

Табл. 2. Химический состав и свойства электродов для наплавки рабочего слоя

Марка	C	Si	Mn	Cr	Твердость наплавленного металла, HRC
UTP DUR 600	0,5	2,3	0,4	9	56-58

Обеспечение минимальной доли основного металла в наплавленном рабочем слое и соблюдение необходимых термических условий сварки является наиболее важными особенностями технологического процесса наплавки кобальтовых сплавов. Эти требования выполнены за счет минимизации теплового воздействия на металл подслоя и снижения доли участия основного металла в металле шва.

УДК 621. 791.92

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРЕСС-ДРОБИЛКИ ВАЛКОВОЙ ПДВ 120/70

А. Г. ЛУПАЧЕВ, Е. А. ХАРЧЕВНИКОВА, *С. Н. ГОПАНОВИЧ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*ООО «ОЪЕДЕНЕННАЯ СВАРОЧНАЯ КОМПАНИЯ»
Могилев, Минск, Беларусь

Пресс-дробилка валковая используется на Белорусском цементном заводе (г. Костюковичи) для предварительного измельчения клинкера перед подачей его в шаровую мельницу. Рабочая часть валка выполнена в виде бандажа напрессованного на вал диаметром 850 мм. Бандаж изготовлен из стали 38ХН3МФА.

Повышенное содержание углерода, хрома микролегирование ванадием предопределяет значительные трудности сварки и наплавки стали, которые усложнились климатическими условиями (температура воздуха во время сварки не поднималась выше минус 20 ^{0}С).

Свойства металла в различных участках ЗТВ значительно отличаются от исходных свойств основного металла. Наиболее хрупкими участками ЗТВ являются участки оплавления и перегрева.

Так, для участка перегрева стали 38ХН3МФА сопротивляемость зарождению трещины уменьшалась с 29,5 до 0,9 Дж, т.е. примерно в 32 раза, а сопротивляемость распространению трещины – с 99 до 3,2 Дж/см^2, т.е. в 30 раз по сравнению с исходными свойствами основного металла.

Участки металла, стали 38ХН3МФА, нагревающиеся выше критической точки Ac_3 (775 ^{0}С) претерпевают полную закалку. Твердость в зависимости от мгновенной скорости охлаждения изменяется от 39 до 52 HRC. Непосредственно у линии сплавления твердость достигает максимального критического значения – 60 HRC.

Ввиду большой массы изделия, невозможности высокотемпературного подогрева бандажа из-за опасности нарушения плотности посадки на вал, мгновенная скорость охлаждения не опускается до значений оптимальных скоростей охлаждения. При большой скорости охлаждения структура металла ЗТВ и шва получается мартенситной, что приводит к снижению пластических свойств и опасности образования холодных трещин по механизму хладноломкости.

Большой объем наплавочных работ в условиях отрицательной температуры неизбежно приводит к насыщению наплавленного металла водородом, который на стадии охлаждения диффундирует за линию сплавления в основной металл. Образующаяся структура закалки препятствует выходу

УДК 621.941.9.025

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС ЧАШЕЧНЫМ РЕЗЦОМ С НЕПРЕРЫВНЫМ ОБНОВЛЕНИЕМ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ

Ю. В. НИКОЛАЕВ, В. А. ЛОГВИН
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Обеспечение эффективной работы железнодорожного транспорта является международной задачей, и ее успешное решение имеет важное значение для экономики любого государства. При эксплуатации подвижного состава в результате изменений размеров колеи железнодорожного полотна, отклонений в работе тормозной системы происходит неравномерный износ ездовой части колесных пар, приводящий к образованию «скользунов» – искажение геометрической формы, местной закалки и наклепа вследствие кратковременной замены трения качения на трение скольжения в зоне контакта с железнодорожным полотном. В связи с этим механическая обработка колесных пар происходит в тяжелых условиях: удары, пятнистая твердость, которая местами доходит до 61…63 единиц HRC, неравномерность величины припуска и структуры удаляемого металла. Для решения поставленной задачи необходимо провести модернизацию режущего инструмента, что невозможно без проведения эмпирических исследований и моделирования процесса обработки.

Применение для обработки ездовой части колесной пары точения резцами со сменными твердосплавными пластинами не всегда обеспечивает необходимую производительность, а фрезерование набором фрез соблюдение необходимого профиля и точности обработанной поверхности.

Обработка ротационным приводным резцом с непрерывно обновляющейся режущей кромкой позволяет при высокой производительности обеспечивать соблюдение необходимого профиля и точности обработанной поверхности. Применение ротационного резания позволяет снизить отклонение формы профиля колеса. Так же за счет более низкой температуры, чем при фрезеровании, в зоне резания не происходит поверхностного упрочнения.

Обработка производится двумя чашечными резцами, установленными на шпинделях, которые находятся в корпусе. Резцы приводит в движение двигатель, который соединяется с ними посредством редуктора и паразитных шестерен.

Эффективная работа нового устройства невозможна, без точного расчета, построения математической модели и проведения эмпирических ис-

следований. Это поможет избежать проблем в будущем, при производстве, ремонте и эксплуатации устройства. Особенно важным это является в условиях массового и серийного производства. Необходимо так же учесть, что новое устройство должно обладать положительным экономическим эффектом, сразу или через определенный промежуток времени, в ином случае его использование будет неоправданно. Изначальная стоимость приводного резца выше, чем набора фрез или резцов с твердосплавными пластинами. Однако в процессе обработки деталей из-за большей стойкости и более высокой производительности, себестоимость обработанной детали оказывается ниже стоимости набора фрез и резцов с твердосплавными пластинами.

На основе имеющихся данных была разработана математическая модель процесса обработки. При расчете модели были учтены следующие параметры. За постоянные параметры были приняты: диаметр заготовки и режущего элемента, межосевое расстояние между заготовкой и резцом, длина пути резания, скорости вращения заготовки и резца. Варьируемыми параметрами были: время (промежуток в 1000 секунд), углы поворота заготовки и резца относительно друг друга. В результате расчетов было определено отклонение формы профиля колеса, которое было значительно меньше, чем при точении твердосплавными пластинами и фрезеровании, и составило 0,16 мм.

На основании математической модели процесса обработки были определены силы резания для приводного резца. Для определения составляющих силы резания, переменными были взяты величины: глубина резания t (1…9 мм), подача S (0,5…1,3 мм/об).

Для построения графических зависимостей составляющих силы резания Px, Py, Pz от глубины резания t, подачи S, и скорости резания V, был использован пакет прикладных программ MathCad 14. На основании данных полученных в результате расчетов и уравнений сил, были построены графические зависимости. На основании их анализа было определено, что оптимальными значениями глубины резания t=5мм, а подачи S=0,9 мм/об.

Ротационное резание является перспективным методом обработки колесных пар, т.к. оно позволяет добиться более высоких параметров обрабатываемой поверхности, чем при фрезеровании, и более высокую производительность, чем при точении, а так же значительно снизить отклонение формы профиля колеса. Так же этот метод является универсальным, так как, имеется возможность обработки большой длинны резания, без потери стойкости инструмента, что является неоспоримым преимуществом в нынешних производственных тенденциях, направленных на инновации в производстве.

УДК 621. 791.92

СВАРКА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ГЕНЕРАТОРА МОЩНОСТЬЮ 14 Мвт

А. Г. ЛУПАЧЕВ, Е. А. ХАРЧЕВНИКОВА
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Газотурбинный генератор используется на Белорусском цементном заводе для производства собственной электрической энергии.

Корпус газогенератора изготовлен из никелевого сплава ЭИ 602 (ХН75МБТЮ). Упрочнение сплава достигнуто за счет интерметаллидов типа Ni_3Me (γ и β) переменного состава. Это упрочнение является более стабильным по сравнению с карбидным.

Вследствие сильной склонности швов никелевых сплавов к образованию трещин практически невозможно получить швы, близкие по составу к основному металлу. Получить швы без трещин и устранить околошовное растрескивание можно лишь путем легирования его элементами, повышающими силы межатомных связей матрицы. К этим элементам относятся молибден и вольфрам. На базе этих элементов разработаны электроды ESAB ОК 92.45. Химический состав электродов приведен в табл.1.

Табл. 1. Химический состав и свойства электродов

Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Fe	R_{p02}, N/mm^2	R_m, N/mm^2
ОК 92.45	0,03	0,4	0,4	22	64	9,5	3,3	3,0	480	800

Металл сварного шва, наплавленного электродами ОК 92.45, содержит ниобий. Благоприятное влияние ниобия объясняется тем, что упрочняющая фаза $Ni_3(Ti, Al, Nb)$ обладает значительно меньшей скоростью образования и растворения по сравнению с фазой $Ni_3(Ti, Al)$. В связи с этим процессы старения идут с меньшей интенсивностью.

Технология сварки сплава ХН68ТЮР построена на уменьшении теплового воздействия и снижении доли участия основного металла в сварном шве за счет минимизации погонной энергии сварки.

Примененная методика исследования топографии электродных потенциалов в разнородных сварных и паяных соединениях, основанная на использовании микрокапиллярного электрода диаметром 0,3 мм и тонкого пористого материала, удерживающего агрессивную среду, позволяет локально измерять электродные потенциалы на поверхности металла в исследуемой агрессивной среде и исследовать интенсивность коррозионных процессов.

Исследования показали, что стойкость сварного соединения, близкая к коррозионной стойкости основного металла, обеспечивается в случае, если ширина зоны повреждения цинкового покрытия сваркой меньше ширины зоны протекторной защиты (1,2…1,4 мм), а металл шва стоек против коррозии и разность потенциалов между металлом шва и покрытия не превышает 0,33 В. Этому условию не удовлетворяют швы, выполненные проволокой из низколегированной стали Св-08Г2С, поскольку общая ширина шва и поврежденных участков существенно больше ширины зоны действия протекторной защиты.

Разность электродных потенциалов, возникающая при воздействии агрессивной среды в паре «стальной шов – цинковое покрытие» достигает 0,33 В; «медный шов – цинковое покрытие» – 1,097 В; «алюминиевый шов – цинковое покрытие» – 0,9 В. Наибольшие величины плотности гальванических токов выявлены в зоне разрушения покрытия. Плотность гальванических токов снижается с удалением от границы шва. Плотность тока зависит о состава электродного материала и на расстоянии 0,8 мм от границы контакта шва, выполненного электродной проволокой на основе железа, составляет 12 мкА/мм^2, проволокой на основе меди – 45 мкА/мм^2, проволокой на основе алюминиевого сплава – 21 мкА/мм^2.

Разность электродных потенциалов между швом из стали типа 18-8 и покрытием составляет 0,96 В, поскольку электродный потенциал коррозионно-стойкого шва смещен в сторону положительных значений относительно электродного потенциала цинкового покрытия, поэтому при ширине повреждения покрытия в околошовной зоне превышающей зону действия анодной защиты, происходит ускорение перемещения фронта коррозии от поврежденного участка в перпендикулярном шву направлении, а затем повреждение основного металла вглубь рядом со швом.

В состоянии после сварки электродной проволокой на основе меди имеются пики значений электродных потенциалов по центру шва, которые составляют 0,68…0,73 В, что указывает на склонность соединения к коррозионному разрушению. При эксплуатации в среде с $6 < pH < 8$, медный шов пассивируется, пики сглаживаются, и на шве типа CuSi3 в среде NaCl значения электродных потенциалов составляют 0,012…0,14 В, что приводит к существенному снижению интенсивности коррозионных процессов.

УДК 621.9.06-192:620.1

ТЕРМОУПРУГИЙ АНАЛИЗ СТОЙКИ КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Д. В. ОМЕСЬ, В. П. ГОРБУНОВ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Значительную долю парка металлообрабатывающего оборудования составляют консольно-фрезерные станки с горизонтально или вертикально расположенным шпинделем.

Повышенная энергоемкость этих станков, особенно созданных на их базе многоцелевых станков с ЧПУ, обуславливает значительные величины тепловых деформаций. Наибольшим тепловым деформациям подвержены детали несущей системы станка, имеющие значительные размеры и теплопроводящие поверхности. Тепловые деформации станка приводят к отклонению взаимного положения инструмента и заготовки, в результате чего увеличиваются погрешности формы и взаимного расположения обрабатываемых поверхностей, а также снижается точность размеров этих поверхностей. Доля тепловых погрешностей прецизионных станков может составлять 40…70 % общей погрешности обработки.

Для повышения точности обработки и надежности этого оборудования необходимо осуществлять диагностирование тепловых деформаций и принимать меры для их компенсации и снижения влияния на точность обработки. Чтобы определить характер и величину деформации базовой детали несущей системы многоцелевого станка производится термоупругий анализ с использованием ЭВМ и специализированных программных средств.

Термоупругий анализ стойки станка, как основного элемента несущей системы, включает следующие основные этапы:

– анализ конструкции узлов и деталей станка, кинематической схемы, конфигурации деталей, их связей и материалов, вспомогательных систем станка;

– выявление основных источников тепловыделения, их вида и месторасположения; условий теплообмена между деталями станка, а также деталей с окружающей средой и других факторов;

– расчет мощности источников, величины и направления тепловых потоков, коэффициентов естественного и вынужденного конвективного теплообмена с окружающей средой;

– определение нестационарного теплового поля стойки;

– термоупругий расчет стойки на основе теплового поля.

Основными источниками тепловыделения в стойке при работе станка являются подшипниковые опоры валов коробки скоростей и шпинделя, зубчатые передачи, муфты. На продолжительность интервала времени до наступления температурного баланса и стабилизации тепловых деформаций решающее так же влияние оказывает характер конвективного теплообмена стойки с окружающей средой.

Для выполнения термоупругого расчета необходим следующий минимальный набор исходных данных: полноразмерная 3D-модель стойки станка; набор граничных условий (силы, моменты, схема закрепления, температура) и конечно-элементная сетка. Источников данных о температуре может быть три: заданная температура в виде граничных условий, приложенных к детали в целом или участкам её поверхности; температура из выполненного ранее расчета нестационарного теплового поля; однородная температура – предполагается, что все объекты имеют одинаковую температуру.

С целью установления адекватности термоупругой модели и достоверности результатов, полученных при моделировании, были проведены экспериментальные исследования температурных деформаций стойки широкоуниверсального консольно-фрезерного станка мод.6Т80Ш по методике ускоренных испытаний.

Достигнута высокая сходимость результатов моделирования и экспериментального исследования (рис. 1, 2). Отклонения не превышают 10 %, что в абсолютном выражении составляет 1…2,5 мкм.

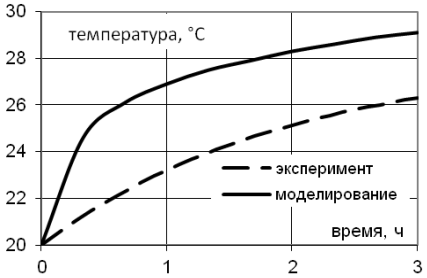


Рис. 1. Кривая изменения температуры передней опоры шпинделя

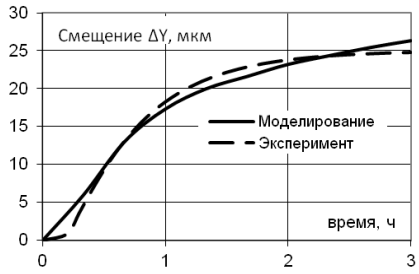


Рис. 2. Кривая изменения смещения оси шпинделя

Построенная термоупругая модель стойки с достаточно высокой степенью точности отражает реальные тепловые процессы, протекающие в стойке при работе станка и позволяет прогнозировать изменение параметров геометрической точности станка во время его эксплуатации.

УДК 621.791.01

ИССЛЕДОВАНИЯ ТОПОГРАФИИ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ

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

Использование в сварных конструкциях оцинкованных сталей повышает их долговечность за счет высокой коррозионной стойкости сталей с покрытием. При сварке оцинкованного металла по обеим сторонам шва образуются участки с полностью разрушенным покрытием, а при пайке с использованием электродных сварочных материалов на основе меди, алюминия или цинка – участки с частично разрушенным покрытием.

Металл шва, металл зоны термического влияния и основной металл с цинковым покрытием существенно различаются по величине электродных потенциалов. В электролитах такие сложные системы как электроположительный металл шва, металл участка с разрушенным покрытием и повышенным электродным потенциалом и цинковое покрытие с пониженным электродным потенциалом проявляют себя по-разному в зависимости от ширины соответствующих зон. При малой ширине участка с разрушенным покрытием (до 1,5 мм) действует механизм анодной защиты, а при большей ширине участка разрушения действие защиты ослабляется или прекращается.

Электрохимической коррозии наиболее подвержены соединения из разнородных металлов, находящиеся в непосредственном контакте с электролитом. Это связано с неоднородностью шва и прилегающей зоны, характеризующейся повышенной термодинамической неустойчивостью, что создает предпосылки для развития коррозии.

Для оценки коррозионной стойкости разнородных сварных соединений и изучения влияния технологии сварки на коррозионные свойства сварных соединений целесообразно использовать данные о величине электродных потенциалов характерных зон сварного соединения, измеренных в различных коррозионно-активных средах.

Топография электродных потенциалов характеризует склонность разнородного соединения к электрохимической коррозии и позволяет прогнозировать поведение соединения при эксплуатации в различных средах. Кинетику процесса взаимодействия соединения с агрессивной средой, с учетом длительного воздействия среды и образования на поверхности продуктов коррозии, в том числе и пассивирующих пленок, оценивали по изменению топографии поля электродных потенциалов.

УДК 621.9

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗА МАФ (МЕТИЛАЦЕТИЛЕН-АЛЛЕНОВАЯ ФРАКЦИЯ)

В. П. КУЛИКОВ, А. В. ЛИПКОВА, В. В. ЛИПКОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

На сегодняшний день в процессах газопламенной обработки металлов основным горючим газом принято считать ацетилен. Однако существует необходимость его замены. Это связано с тем, что данный газ является продуктом импортного производства. При этом необходимо учитывать, что технология сварки с использованием газа МАФ является импортозамещающей, т.к. позволяет отказаться от закупок за рубежом карбида кальция, из которого получают ацетилен.

Авторами были проведены системные исследования, позволяющие рекомендовать газ МАФ в качестве горючего газа заменителя ацетилена. Также для сравнения прочностных показателей сварных соединений, выполненных с использованием газа МАФ и ацетилена соответственно, были проведены механические испытания. Механические испытания однозначно подтвердили, что качество сварных соединений сваренных МАФ газом не уступают качеству сварных соединений сваренных ацетиленом.

Существенное значение для обеспечения необходимых механических свойств сварных соединений имеет качество используемого присадочного материала. Связно это с тем, что факел пламени при использовании газа МАФ обладает более высоким окислительным потенциалом, поэтому сварочная проволока должна содержать достаточный процент элементов-раскислителей. В ряде случаев производители это условие не соблюдают, что приводит к неудовлетворительному качеству сварных швов.

На основании проведенных исследований и с учетом опыта работы с газом МАФ, на кафедре «Оборудование и технология сварочного производства» была разработана инструкция на технологический процесс газовой сварки с использованием газа МАФ, которая была согласована с Госпромнадзором и непосредственно с производителем данного газа Заводом «Полимир» ОАО «Нафтан. Соблюдение положений инструкции позволит обеспечить широкое и безопасное использование газа МАФ.

Также были внесены изменения в некоторые ТНПА Республики Беларусь на предмет использования газа МАФ в качестве газа-заменителя ацетилена: ТКП 45-1.03-85-2007 «Внутренние инженерные системы зданий и сооружений. Правила монтажа», СНиП 3.05.02-88 «Газоснабжение».

УДК 621.928.37

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТРЕХПРОДУКТОВОГО ГИДРОЦИКЛОНА С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ВЫВОДОМ ВЫДЕЛЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

А. В. ПАШКЕВИЧ, Е. В. САМОСЮК
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»
Горки, Беларусь

На ремонтных предприятиях для очистки поверхностей изделий от загрязнений используются моющие растворы и моечные воды. При работе они насыщаются смываемыми твердыми загрязнениями и нефтепродуктами, что приводит к потере моющей способности раствора. В большинстве случаев предприятия сливают загрязненный моющий раствор в канализацию, что наносит значительный ущерб окружающей среде. Для сокращения объемов сточных вод предприятия и уменьшения наносимого ущерба окружающей среде необходима технологическая очистка моющего раствора.

Очистку жидкостей от масел и твердых частиц одновременно способны выполнять, так называемые, трехпродуктовые гидроциклоны. Основным недостатком известных гидроциклонов такой конструкции [1] являются большие потери моющего раствора с выделяемыми маслами.

Для повышения качества очистки моющих растворов трехпродуктовым гидроциклоном и снижения потерь моющего раствора необходимо автоматизировать процесс вывода продуктов выделения.

Существует конструкция гидроциклона [2], в котором для снижения потерь очищаемой жидкости вывод загрязнений регулируется при помощи запорного поплавка.

Недостатком гидроциклона такой конструкции является то, что при подаче очищаемой жидкости в гидроциклон, на запорный поплавок наряду с Архимедовой силой действует сила давления жидкости в гидроциклоне, прижимающая запорный поплавок к расширенной части внутреннего отводного патрубка и, тем самым, снижающая надежность работы запорного поплавка, вследствие того, что даже при условии заполнения расширенной части отводного патрубка нефтепродуктами, поплавок не в состоянии опуститься и открыть отводной патрубок из-за действующего на него давления.

Для устранения этого недостатка нами был предложен гидроциклон [3], в котором внутренний отводной патрубок снабжен цилиндрической насадкой с радиальными отверстиями, установленной внутри расширяющейся части, а запорный поплавок выполнен охватывающим цилиндрическую насадку с возможностью перекрытия радиальных отверстий во всплывшем положении.

Недостатком данной конструкции является то, что в процессе очистки в зависимости от назначения аппарата может возникнуть необходимость настройки на определенное качество очистки. Данная конструкция трех-

продуктового гидроциклона этого сделать не позволяет.

Предложена конструкция трехпродуктового гидроциклона [4], в котором управление выводом масел производится посредством электромагнитного клапана.

Недостатком предложенного гидроциклона является то, что, вследствие повышенной вязкости выделенных масел по отношению к вязкости моющего раствора, при открытии электромагнитного клапана избыточное давление в гидроциклоне может быть недостаточным для вытеснения масел из него. Это нарушает стабильность вывода масел и снижает надежность работы гидроциклона.

Нами была предложена конструкция трехпродуктового гидроциклона [5], которая позволила устранить данный недостаток за счет установки на трубопроводе вывода очищенной жидкости и трубопроводе вывода шлама дополнительных электромагнитных клапанов, связанных с электрическим контактом, которые позволяют увеличивать давление внутри гидроциклона в процессе вывода масел и беспрепятственно выводить их из гидроциклона.

Использование данной конструкции гидроциклона позволит автоматизировать вывод выделенных загрязнений, что приведет к снижению потерь очищаемой жидкости и повышению качества очистки. К тому же в зависимости от предъявляемых требований возможна его настройка на определенное качество очистки. Применение трехпродуктового гидроциклона на ремонтных предприятиях и станциях технического обслуживания для очистки загрязненных моющих растворов и им подобных жидкостей даст возможность использовать оборотную систему водоснабжения, которая позволит значительно снизить объемы сточных вод, приведет к экономии воды, моющих средств и энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Терновский, И. Г.** Гидроциклонирование / И. Г. Терновский, А. М. Кутепов. – М. : Наука, 1994. – 350 с.

2. **Пат**. 3231 Респ. Беларусь, МПК C 02F 1/00, B 04C 11/00. Трехпродуктовый гидроциклон / Е. И. Мажугин, А. Н. Карташевич. С. В. Глаз; заявитель Бел.гос. с/х акад. – № 19980898; заявл. 29.09.1998; опубл. 30.03.2000 // Афіцыйны бюл. / Нац. Центр інтэлектуал. уласнасці. – 2000. – №2. – С.86.

3. **Пат.** 11792Респ. Беларусь, МПК C 02F 1/00, B 04C3/04. Трехпродуктовый гидроциклон / Е. И. Мажугин, А. Л. Казаков, А. В. Пашкевич; заявитель Бел.гос. с/х акад. – № a20060973; заявл. 10.04.2006; опубл. 30.06.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. Центр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – №2. – С.71.

4. **Пат**. 3323Респ. Беларусь, МПК B 04C 5/00, B 04C 5/12. Трехпродуктовый гидроциклон / Е. И. Мажугин, А. Н. Карташевич; заявитель Бел.гос. с/х акад. – № 960452; заявл. 03.09.1996; опубл. 30.06.2000 // Афіцыйны бюл. / Нац. Центр інтэлектуал. уласнасці. – 2000. – №1. – С. 150 – 151.

5. **Пат.** 5479Респ. Беларусь, МПК B 04C5/00. Трехпродуктовый гидроциклон / Е. И. Мажугин, А. В. Пашкевич, А. Л. Казаков, М. В. Левкин; заявитель Бел.гос. с/х акад. – № u20080838; заявл. 11.11.2008; опубл. 30.08.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. Центр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – №4. – С.187.

УДК 621.791

О СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ

В. В. ДЕСЯТНИК, А. П. РОТАЧ

Государственное учреждение высшего профессионального образования «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТ»

Могилев, Беларусь

При сварке листовых полотнищ больших размеров приходится накладывать большое количество продольных и поперечных швов. При этом зачастую возникают деформации потери устойчивости или так называемые «хлопуны». Прогнозировать место и время их возникновения достаточно сложно. Так, например, при ремонте вертикального цилиндрического резервуара объемом 50000 м^3 на Мозырском НПЗ, при сварке днища «хлопун» возник спустя час после наложения сварных швов.

Очевидно, что время возникновения «хлопуна» каким-то образом связано со скоростью распространения деформаций потери устойчивости.

В данной работе предпринята попытка определения скорости распространения указанных деформаций. Для этого пластины толщиной 3 мм сваривались встык. При этом на расстояний 10 и 110 мм от шва в поперечном от шва направлении устанавливались деформометры, в качестве которых использовались индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Деформометры фиксировали перемещение в направлении перпендикуляра к свариваемым поверхностям. Разница во времени их срабатывания при равной величине перемещения фиксировалась с помощью электрического секундомера. Затем путем деления расстояния между деформоментрами на время, при котором величина перемещения в ближнем ко шву и дальнем от него становилась одинаковой, определялась скорость распространения деформаций. Результаты эксперимента показали, что скорость распространения указанных деформаций составляет около 7,7 мм/с.

Края свариваемых пластин были свободны от защемления, что существенно отличается от случая стесненной деформации, имеющей место на практике. Здесь речь идет о том, что в случае сварки полотнищ больших размеров, края «карт» защемлены ранее наложенными швами. Но даже в нашем случае первая бифуркация (учитывая ширину «карты») должна была бы наступить через 200 с, но никак не через час.

Отсюда следует вывод о том, что при прогнозировании времени возникновения «хлопунов» необходимо учитывать еще много факторов, таких как толщина свариваемого металла, его химсостав, размер «карт», а также последовательность наложения сварных швов.

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ

С. В. БОЛОТОВ, А. М. БЕЛЯГОВ, Л. Е. ИВАНОВА
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилёв, Беларусь

Аустенитные стали являются основными конструкционными материалами технологических трубопроводов нефтехимии, установок атомных электростанций и предназначены для работы в условиях интенсивного воздействия тепловых нагрузок и механических напряжений. Кратковременные воздействия, связаны непосредственно с монтажом оборудования, а именно с монтажной сваркой объекта.

В ходе сварки и последующего охлаждения металла в сварном соединении аустенитных сталей протекают сложные диффузионные процессы, обуславливающие нарушения в равномерном распределении легирующих и примесных элементов по объему шва и околошовной зоны, а также термодеформационные процессы, вызывающие возникновение остаточных сварочных напряжений и деформаций. Эти явления приводят к искажениям и изменениям в кристаллической и магнитной структуре сварного соединения сталей, что необходимо учитывать при установлении надежности и работоспособности соединения.

Такую оценку предлагается проводить путём измерения магнитных характеристик шва и околошовной зоны. Магнитный метод уже зарекомендовал себя при прогнозировании долговечности сварных конструкций из низкоуглеродистых конструкционных сталей.

Исследование влияния напряжений на магнитные свойства материала проводились на образцах из стали 12Х18Н10Т. В качестве параметров, позволяющих описать магнитные превращения в стали, выбраны остаточная магнитная индукция и коэрцитивная сила. Их измерение осуществляли соответственно приборами ИОН-3 и КИМ-2М. Уровень остаточных деформаций, которые могут возникнуть в зоне сварного соединения стали, задавался методом одноосного растяжения образцов на разрывной машине МУП-50.

Сравнительное изучение недеформированных и деформированных до разрушения образцов указывает на существенное изменение (в разы) магнитных характеристик вследствие интенсификации мартенситного превращения. Этот факт можно использовать для выявления в структуре исследованной стали высоких уровней внутренних напряжений и деформаций с помощью магнитного метода, что позволит решать вопросы, связанные с определением надежности оборудования.

УДК 621.01

УСТРАНЕНИЕ ЭФФЕКТА ГИББСА ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

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

Одним из часто используемых на практике свойств спектрального преобразования является его линейность, описываемая соотношением

$$S(f_1 + f_2) = S(f_1) + S(f_2),$$

где S – оператор спектрального преобразования; f_1, f_2 – некоторые сигналы (функции).

Его использование позволяет путем цифровой фильтрации выделять полезный сигнал из его смеси с помехами, если при этом известны спектральные свойства помех (локализированных, как правило, в высокочастотной области спектра).

В то же время, если помеха отличается свойством нерегулярности, использование классической процедуры цифровой фильтрации становится затруднительным, так как у нерегулярной составляющей не являются стабильными как частотные, так и амплитудные характеристики.

Для устранения таких помех следует использовать не частотные, а временные методы, а в ряде случаев вести выделение полезного сигнала при одновременном использовании и частотных, и временных методов.

На практике нерегулярные составляющие проявляются в форме разрывов функций кинематической погрешности механических передач, колебательных процессов с непостоянными амплитудами, частотами и фазами, выбросами. Причинами таких нерегулярностей для механических передач являются особенности процессов пересопряжения звеньев.

Спектральные составляющие таких помех оказываются чаще всего смешанными с соответствующими составляющими полезного сигнала. В общем виде такая связь оказывается выраженной зависимостью

$$S(f_1 + f_2) = S[g(f_1; f_2)],$$

где $g(f_1; f_2)$ – некоторая неэлементарная функция.

Как правило, функция $g(f_1; f_2)$ не может быть определена аналитически, поэтому для разделения полезного сигнала и нерегулярной помехи

можно использовать ряд эвристических вычислительных методов, которые продемонстрировали свою эффективность на практике.

Одной из таких процедур является процедура устранения краевых эффектов, приводящих к существенному искажению спектра сигнала за счет эффекта Гиббса. Известно, что если числа зубьев ведущего и ведомого звеньев не являются кратными, полный цикл пересопряжений зубьев происходит не за один оборот ведомого звена, в течение которого, собственно, и ведется запись кинематической погрешности. Это приводит к тому, что конечная точка записи не совпадает с ее началом, так как эти точки соответствуют контакту совершенно разных пар зубьев. Это приводит к возникновению на концах функции кинематической погрешности разрывов, величина которых определяется погрешностями формы профиля зубьев, накопленной погрешностью шага, динамическими явлениями в зацеплении и др.

Таким образом, несмотря на то, что при использовании спектрального метода оговаривается его применимость для периодических функций, у которых начальная и конечная точки совпадают, реальные функции кинематической погрешности этим условиям не отвечают.

Устранить краевые эффекты можно с помощью следующей эвристической процедуры, которая исходит из предположения о том, что основная полезная информация функции кинематической погрешности содержится в средне- и высокочастотной областях спектра, которые характеризуют плавность и условия контакта передач. Поэтому основная тенденция ее изменения после устранения разрыва не изменится.

Описанная процедура осуществляет поворот исходной функции вокруг ее центра таким образом, чтобы ординаты начальной и конечной точек совпали:

$$y_i^{'} = y_i + \frac{(y_N - y_1)}{2} - \frac{i}{N}(y_N - y_1),$$

где y_i и $y_i^{'}$ – исходное значение и значение функции с устраненным разрывом в i-й точке записи; y_1 и y_N – исходные значения функции в начальной и конечной точках записи.

Использование описанной процедуры устранения краевых эффектов позволяет повысить достоверность оценки спектральных составляющих функции кинематической погрешности за счет исключения ее нерегулярных составляющих. Алгоритмы были неоднократно проверены в производственных условиях на экспериментальных записях кинематических погрешностей механических передач и показали стабильность и эффективность.

УДК 621.791

ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКИ

С. В. БОЛОТОВ, И. В. КУРЛОВИЧ, Е. Л. БАНСЮКОВА
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Высокопроизводительная и относительно дешёвая контактная микросварка имеет свои особенности, которые создают дополнительные сложности при разработке технологии, выборе оборудования и проведения операций по обеспечению качества готовой продукции.

Микросварку миниатюрных деталей традиционно выполняют на сварочных машинах конденсаторного типа, вырабатывающих мощные однополярные импульсы тока длительностью до 10 мс. При жёстких режимах значительно повышается чувствительность к выплескам и испарению металла, что ведёт к увеличению рассеяния показателей прочности. При сравнительно малых усилиях сжатия и малых собственных сопротивлениях деталей существенно возрастает роль контактных сопротивлений как основных источников теплоты. Значительная часть тепла может выделяться на электрическом контакте детали и электродов. Сложный характер изменения контактных сопротивлений может приводить к недопустимым отклонениям формы импульса сварочного тока и, как следствие, к появлению различных дефектов микросварных соединений, в частности, выплесков расплавленного металла и непроваров.

Значительное влияние на качество сварки и выбор её режимов оказывают такие переменные факторы, как состояние поверхности в зонах контактов, диаметр электрода, усилие сжатия электродов, величина, длительность и форма импульса сварочного тока. Кроме того, необходимо учитывать полярный эффект Пельтье, который является причиной значительного смещения сварной зоны в одну из деталей, что может как повысить, так и снизить прочность соединения.

Выявление оптимальных параметров режима контактной микросварки при действии различных возмущающих факторов целесообразно производить на высокопроизводительном оборудовании, позволяющем осуществлять сбор и обработку данных в режиме реального времени, а также вырабатывать сигналы на блок управления точечной сварки.

Для решения данной задачи используются средства National Instruments: устройство сбора данных NI USB-6251, программная среда LabVIEW2010, которые в совокупности с датчиками тока, напряжения, усилия сжатия электродов позволяют реализовать замкнутую систему автоматического управления качеством контактной микросварки.

этого происходит внедрение токоподводящих электродов в детали и вытеснение материала покрытия. Чтобы обеспечить снижение величины сварочного тока в начальный момент сварки и уменьшить тепловыделение в контактах электродов с покрытием, необходимо осуществлять модуляцию сварочного тока. Время модуляции установлено исходя из толщины свариваемых деталей и определяется по формуле

$$\tau_{мод} = \exp(\frac{0{,}59}{\sqrt{\delta}} - 2{,}89).$$

Металлографические исследования показали, что сварка с большим временем модуляции, чем предлагается по приведенной формуле, часто приводит к образованию непроваров и для их предотвращения необходимо увеличивать продолжительность протекания сварочного тока.

Третий этап – охлаждение зоны соединения в сварочных электродах. Он начинается с момента выключения сварочного тока. При проковке на стадии охлаждения происходит уплотнение металла зоны соединения. При этом продолжается пластическая деформация нагретого металла и материала покрытия, внедрение электродов в детали. Этап заканчивается снятием сварочного давления.

Циклограмма для контактной сварки оцинкованных сталей с модулированным импульсом тока представлена на рис. 1.

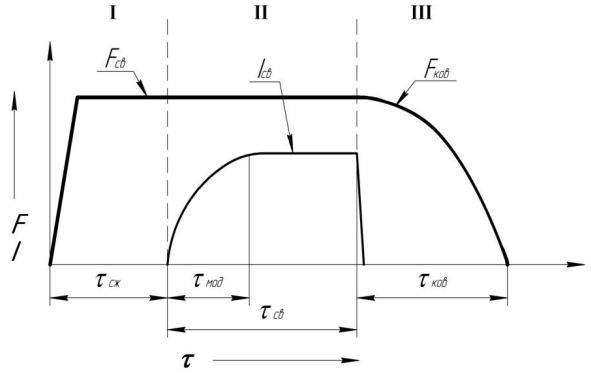


Рис. 1. Циклограмма процесса контактной сварки с модулированным импульсом сварочного тока и изменяемым усилием проковки

Неизменное сварочное усилие в течение стадий **I** и **II** формирования соединения и плавное снижение усилия проковки на завершающей стадии процесса **III** позволяет уменьшить контактные давления и касательные (сдвиговые) напряжения в зоне электрод-деталь, снизить деформацию и, как следствие, предотвратить разрушение цинкового покрытия.

УДК 621.833.6

СПОСОБ ТОНКОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

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

Известен способ обработки поверхностей вращения пластическим деформированием, состоящий в использовании шарикового инструмента, при котором деформирующие шарики вводят в силовое взаимодействие с деталью, детали сообщают вращение со скоростью главного рабочего движения, а сепаратору с деформирующими шариками – осциллирующее движение вдоль образующей обрабатываемой поверхности за счет его кинематической связи с оправкой инструмента посредством кулачкового механизма.

Применяя данный способ, обработать поверхность детали на всем ее протяжении при отсутствии продольной подачи невозможно в связи с повторением и наложением траекторий шариков на обрабатываемой поверхности при каждом обороте детали. Это обусловлено тем, что планетарное движение деформирующих шариков относительно обрабатываемой детали осуществляется без его редуцирования или ускорения, и поэтому траектория шарика на обрабатываемой поверхности не смещается при каждом новом обороте детали, а повторяется и налагается на траекторию, полученную при предыдущем обороте детали.

Поэтому мы поставили задачу устранить повторения и наложения траектории деформирующего шарика на обрабатываемой цилиндрической поверхности за каждый оборот детали при отсутствии продольной подачи. Это достигается тем, что при обработке внутренней поверхности вращения пластическим деформированием многорядным шариковым инструментом, расположенные в сепараторе деформирующие шарики вводят в силовое взаимодействие с обрабатываемой деталью. Обрабатываемой детали сообщают вращение со скоростью главного рабочего движения, а деформирующим шарикам сообщают планетарное движение вокруг оси обрабатываемой детали и осциллирующее движение вдоль образующей обрабатываемой детали за счет кинематической связи сепаратора с оправкой многорядного шарикового инструмента посредством кулачкового механизма. Планетарное движение деформирующим шарикам сообщают за счет связи вращающейся обрабатываемой детали с сепаратором посредством закрепленного на планетарном механизме фрикционного поводка.

На рис. 1 приведена схема осуществления способа. На схеме обозначены: обрабатываемая деталь 1, оправка 2 с пазовым кулачком, установленная на оправку с возможностью свободного вращения направляющая втулка 3 с закрепленным в ней пальцем 4 для взаимодействия с пазовым

кулачком, установленный коаксиально направляющей втулке с возможностью свободного вращения на оправке совместно с направляющей втулкой сепаратор 5, имеющий продольные пазы для установки деформирующих шариков 6. Направляющая втулка 3 снабжена радиальными отверстиями для размещения в них шариков 6 и упругих элементов – пружин 7, взаимодействующих с шариками. Сепаратор содержит также радиальные прорези в своем дисковом фланце и является ведомым звеном редуцирующего узла, выполненного в виде планетарного редуктора с шариковыми сателлитами 8. Ведущим звеном редуцирующего узла является диск 9, а заторможенным – диск 10. На ведущем диске 9 редуцирующего узла закреплен фрикционный поводок 11.

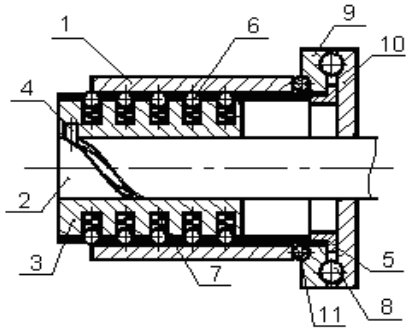


Рис. 1. Схема осуществления способа

При обработке детали 1 сообщают вращение со скоростью главного рабочего движения. Вращающий момент от детали к ведущему звену 9 редуцирующего узла передается посредством фрикционного поводка 11. Редуцированная частота вращения сообщается ведомому звену редуцирующего узла – сепаратору 5. Частота вращения сепаратора 5 отличается от частоты вращения обрабатываемой детали и определяется передаточным отношением редуцирующего узла. В продольных пазах сепаратора установлены деформирующие шарики 6, частично утопленные в радиальных отверстиях направляющей втулки 3. Установленные в радиальные отверстия направляющей втулки 3 пружины 7 обеспечивают силовое взаимодействие деформирующих шариков 6 с обрабатываемой поверхностью. Направляющая втулка 3 вращается с частотой вращения сепаратора 5, а палец 4, связывающий эту втулку с пазовым кулачком оправки 2, сообщает ей осциллирующее движение, перемещаясь при вращении направляющей втулки 3 по пазовому кулачку неподвижной оправки 2 инструмента. Частоты вращения детали 1 и сепаратора 5 различные, в связи с чем шарики 6 не смогут копировать свои траектории на обрабатываемой поверхности при каждом новом обороте детали, поэтому обработка поверхности будет осуществляться и при отсутствии продольной подачи инструмента на длине продольного хода шариков.

УДК 621.791.763.1

ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ

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

Качество сварных соединений, выполненных контактной сваркой на оцинкованных сталях, характеризуется не только размерами зоны соединения, определяющей его прочностные свойства, но и в значительной степени ее коррозионной стойкостью. Существующие способы контактной сварки предполагают вытеснение и разрушение цинкосодержащего покрытия из зоны контактов электродов с деталями, что значительно снижает коррозионную стойкость соединения, ухудшает внешний вид изделия. Процессы вытеснения и разрушения материала покрытия протекают на протяжении всех этапов формирования сварного точечного соединения. На основании проведенных нами теоретических и экспериментальных исследований формирование сварного точечного соединения на оцинкованных сталях можно разделить на три этапа.

Первый этап – сжатие зоны соединения сварочными электродами, установление значения начального контактного сопротивления за счет смятия неровностей поверхностей деталей с покрытиями. На этом этапе происходит микропластическая деформация микронеровностей и шероховатостей в контактах электрод-деталь и деталь-деталь и общая упругая деформация электродов и деталей. Последующее включение тока и нагрев металла способствуют окончательному сглаживанию микрорельефов и тепловому расширению металла межэлектродной зоны. При нагреве металла межэлектродной зоны растет его пластичность. Температура по площади контакта не одинакова, максимальное значение имеет место на площадках контактирования. Этап заканчивается в момент достижения условия текучести основного металла ($\tau_{СВ}$ = 0,07…0,08 с), когда интенсивность напряжений σ_i в зоне соединения становится равной пределу текучести σ_T металла наиболее нагретых зон.

Второй этап – нагрев соединения сварочным током, начало расплавления покрытия в зоне соединения. Этап характеризуется дальнейшим повышением температуры и снижением предела текучести свариваемого металла и покрытия в контакте электрод-деталь, расплавлением металла и образованием ядра. Расчеты показывают, что при нагреве поверхностных слоев металла до температуры T = 200 °C предел текучести покрытия σ_T становится меньше величины интенсивности напряжений, возникающих под действием давления со стороны сварочных электродов. Вследствие

температура достигает значения, необходимого для образования сварного соединения в твердой фазе (рис. 1, б).

Проведенный анализ распределения температурного поля и деформаций внутренней стенки бобышки показал, что толщина стенки бобышки должна быть не менее $t \geq 0{,}8 + 0{,}2d_O$, а высота рельефа должна находиться в следующей функциональной зависимости от диаметра резьбы d_O: $h_P = 0{,}17 \cdot d_O^{0{,}95}$.

а) б)

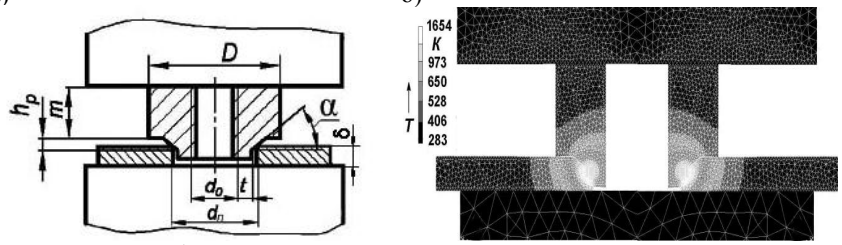


Рис. 1. Рельефная сварка бобышек с листами: а – схема процесса сварки: D – диаметр привариваемой бобышки; h_P – высота рельефа; m – высота бобышки; t – толщина стенки бобышки; α – угол рельефа; d_O – диаметр резьбового отверстия; $d_П$ – диаметр отверстия в листовой детали; δ – толщина листа; б – распределение температурного поля в момент выключения сварочного тока

Авторами установлено, что для определения величины сварочного тока в зависимости от диаметра отверстия бобышки следует использовать следующую эмпирическую зависимость: $I_{СВ} = 650 \cdot d_O^{1{,}45} \cdot \delta^{0{,}1\delta}$, где d_O – диаметр резьбового отверстия бобышки, мм; δ – толщина листа, мм; $\delta^{0{,}1\delta}$ – коэффициент для учета толщины листа.

Длительность протекания сварочного тока ($\tau_{СВ}$, с) следует выбирать прямопропорционально диаметру резьбового отверстия бобышки, исходя из следующей зависимости: $\tau_{CB} = (0{,}06 + 0{,}03d_O) \cdot \delta^{0{,}1\delta}$.

Практические рекомендации по выбору параметров режима в зависимости от диаметра резьбового отверстия представлены в табл. 1.

Табл. 1. Параметры режима рельефной сварки бобышек с листом толщиной 2 мм

Диаметр резьбового отверстия d_o, мм	Высота рельефа h_p, мм	Угол рельефа α, °	Толщина стенки t, мм	Сварочный ток I_{CB}, кА	Длительность протекания сварочного тока τ_{CB}, с	Длительность модуляции сварочного тока $\tau_{МОД}$, с	Усилие сжатия электродов F_{CB}, кН
4	0,6	45	1,6	4,8	0,2	0,06	3,5
6	0,9		2	8,7	0,28	0,08	5,5
8	1,2		2,4	13,5	0,34	0,08	7,5
10	1,5		2,8	18	0,4	0,1	9

УДК 621.833.16

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

О. Е. ПЕЧКОВСКАЯ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В приводах машин широко используются эксцентриковые зубчатые передачи, сочетающие в себе высокую нагрузочную способность и широкие кинематические возможности. В таких передачах при разности чисел зубьев колес во внутреннем зацеплении, равной единице, обеспечивается достижение наибольшего из всех возможных передаточного отношения, равного числу зубьев сателлита $i = z_1$, а также максимальное снижение их массогабаритных параметров. Реализовать минимальную разность возможно на основе модификации зубчатого зацепления, состоящей в комплексном выборе рациональных размеров диаметра вершин зубьев сателлита, толщины его зубьев и межосевого расстояния передачи. В этом случае модифицированный профиль зубьев сателлита при любых значениях чисел зубьев и модулей зацепления является эквидистантным по отношению к профилю зуба до модификации.

Для геометрического анализа передачи с модифицированным зубчатым зацеплением используется система расчета зубчатых колес с постоянной высотой зуба. Основными параметрами исходного контура являются угол профиля $\alpha = 20°$, коэффициент высоты головки $h_a^* = 1$ и коэффициент радиального зазора $c^* = 0{,}25$.

Исходными данными для расчета являются числа зубьев сателлита z_1 и центрального колеса с внутренними зубьями $z_2 = z_1 + 1$; модуль зацепления m и коэффициенты смещения x_1 и x_2.

Следует отметить, что при любых значениях чисел зубьев сателлита и разности чисел зубьев колес, равной единице, модифицированное зубчатое зацепление обеспечивается при выборе модуля, равным величине эксцентриситета эксцентрика, на котором устанавливается сателлит, и, следовательно, межосевому расстоянию передачи $m = a_w$.

При этом эксцентриковая передача с модифицированным зацеплением может быть сведена к передаче со смещением исходного контура сателлита с постоянными коэффициентами смещения $x_1 = -0{,}5$ и $x_2 = 0$. В этом случае при любых значениях чисел зубьев имеет место внеполюсное зубчатое зацепление с постоянным углом зацепления $\alpha_w = 62°$ и начальными диаметрами, равными удвоенным значениям соответствующих делительных $d_{w1} = 2d_1$ и $d_{w2} = 2d_2$.

УДК 621.833:621.785.4.52

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

С. П. РУДЕНКО, А. Л. ВАЛЬКО, О. В. КУЗЬМЕНКОВ
Государственное научное учреждение
«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Разработана методология проектирования технологических процессов химико-термической обработки (ХТО) зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин, реализованная в виде методического и программного обеспечения расчета режимных параметров химико-термического упрочнения с учетом прокаливаемости стали, размера и формы зубчатых колес, экспериментальных данных обследования газовых режимов и охлаждающей способности закалочных баков промышленных печей.

Начальным этапом проектирования технологических процессов ХТО является определение требуемой величины микротвердости и ее распределения по упрочненному слою, обеспечивающих при оптимальной структуре заданный ресурс зубчатых колес. В основу методики определения распределения микротвердости в упрочненном слое положена экспериментально доказанная и теоретически обоснованная гипотеза о том, что критерием работоспособности высоконапряженных зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин являются глубинные контактные разрушения поверхностей зубьев. Требуемое распределение микротвердости по толщине слоя поверхностно-упрочненных зубчатых колес определяется путем расчета ресурса в каждой зоне упрочненного слоя и сравнения полученного значения с заданной величиной с использованием компьютерной программы «LongLife».

Возможность получения регламентированного распределения твердости по толщине слоя определяется распределением углерода в слое, прокаливаемостью стали, а также интенсивностью охлаждения при закалке, которая связана как с характеристиками закалочного оборудования, так и с размерами и формой деталей. Поэтому следующим этапом разработки технологического процесса ХТО является определение распределения углерода в слое, обеспечивающего требуемое распределение микротвердости после проведения полного цикла ХТО. На этом этапе определяется также прокаливаемость поставляемой стали с использованием экспериментального метода, или аналитически по разработанной программе «SteelPro».

При определении распределения углерода важное значения приобретают результаты оценки прокаливаемости цементованных слоев, которые, как правило, получают на торцовых образцах. Кривые прокаливаемости отражают зависимость изменения твердости по толщине упрочненного

УДК 621.791.763.2

О ПАРАМЕТРАХ РЕЖИМА КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ Т-ОБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Т. И. БЕНДИК, В. П. БЕРЕЗИЕНКО, *В. И. ДЬЯЧЕНКО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”,
*Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Минск, Беларусь

Анализ производственной практики применения рельефной сварки показывает, что большинство дефектов сварных соединений вызвано нерациональным выбором параметров режима, а также отсутствием нормативной базы, регламентирующей требования к форме и размерам применяемых рельефов. В большинстве случаев разработка и освоение технологии рельефной сварки связаны с экспериментальной проверкой параметров режима, а, значит, с дополнительными затратами времени и материалов.

Альтернативой экспериментальному исследованию и статистическому анализу является использование математических моделей процесса на основе метода конечных элементов. Для теоретического обоснования основных параметров режима сварки, формы и геометрических характеристик рельефов авторами разработана математическая модель процесса рельефной сварки Т-образных соединений бобышек с листами. Анализ кинетики образования сварного соединения, основанный на данных математического моделирования и результатах металлографических исследований, показал, что величина угла рельефа оказывает существенное влияние на распределение температурного поля и процесс формирования соединений.

При углах рельефа α менее 30º (рис.1, а) значительно снижается интенсивность тепловыделения в зоне контакта свариваемых деталей. В этом случае для полной осадки рельефа на всю его высоту требуется увеличение величины сварочного тока или длительности его протекания. Часто это приводит к уменьшению внутреннего диаметра бобышки и нарушению резьбы. При углах рельефа более 60 º достижение высоких температур в зоне сварного соединения происходит при малой начальной величине контакта свариваемых деталей. Это увеличивает вероятность появления выплесков, резко снижающих прочностные показатели и параметры точности сварного соединения.

Результаты проведенных экспериментальных исследований прочности сварных соединений показали, что зависимость усилия на отрыв от угла рельефа имеет экстремум, соответствующий углу 45º. По данным исследований авторов угол рельефа рекомендуется выбирать в пределах 40–45º. При этом происходит полная осадка рельефа на всю его высоту, а

ты решения уравнений позволили получить в математической форме формулу траектории полета брызг, определить длину и время полета от торца электрода до поверхности свариваемых деталей. Полученные формулы учитывают скорость вылета брызг из зоны сварки, угол вылета к горизонту, длину дуги, режим сварки.

Расчеты показывают, что траектория полета брызг представляет собой параболу с вертикальной осью.

При оптимальных режимах сварки наибольшая длина полета брызг составляет 100…110 мм.

Расчеты и эксперименты показали, что капли средних и больших размеров, имеющие наибольшую длину полета, вылетают из зоны сварки под углом 45° к поверхности свариваемых деталей. Мелкие капли размером примерно 0,02 мм вылетают из области сварки с большой скоростью (около 40 м/с). Угол между направлением их полета и перпендикуляром к поверхности свариваемых деталей обычно не превышает 25^0.

Капли размером 0,1…0,2 мм, как и мелкие размером 0,02 мм, разлетаются на большие расстояния от шва, охлаждаются во время полета до температуры ниже температуры плавления, покрываются пленкой окиси при полете за зоной защитного газа в атмосфере воздуха и практически не имеют прочного соединения с поверхностью свариваемых деталей. Как правило, проблем с удалением таких брызг с поверхностей не существует.

Мелкие брызги и пары электродного металла при сварке частично движутся вверх и покрывают внутреннюю поверхность сопел сварочных горелок.

Полученные результаты соответствуют экспериментальным исследованиям Российских ученых и исследованиям Попкова А.М. и Федько В.Т.

При сварке с короткими замыканиями разлет брызг капель электродного металла особенно происходит в момент кроткого замыкания. Траектория и время полета, в этом случае, могут быть определены с учетом равенства длины дуги нулю.

Полученные результаты позволяют решить вопрос о способе защиты поверхностей от налипания брызг с учетом наибольшей экономичности.

слоя от расстояния от охлаждаемого торца цементованного образца. В таком состоянии кривые прокаливаемости характеризуют свойства данной марки стали, но не позволяют непосредственно оценить прокаливаемость слоя зубчатого колеса, поскольку глубина упрочнения при закалке определяется не только прокаливаемостью самой стали, но и размером и формой изделия, а также интенсивностью охлаждения при закалке, которая характеризует охлаждающую способность закалочных агрегатов.

Для определения соответствия между распределением твердости на торцевом образце и по толщине слоя в изделии с учетом размера и формы зубчатых колес использованы экспериментально-аналитические зависимости, полученные при различной интенсивности охлаждения в закалочном устройстве.

Для учета размера и формы зубчатого колеса вводится понятие характеристический размер, эквивалентное понятию критический диаметр изделия. С использованием результатов оценки прокаливаемости цементованных слоев и зависимостей, связывающих прокаливаемость торцового образца с прокаливаемостью зубчатого колеса конкретного типоразмера, разработана методика и программа расчета распределения углерода в слое «Carb», обеспечивающего требуемое распределение микротвердости после проведения полного цикла ХТО.

Следующим этапом проектирования технологического процесса ХТО является разработка температурно-временного режима цементации и выбор углеродного потенциала насыщающей атмосферы. Эта задача решается на основе математического моделирования процессов диффузии углерода в стали с учетом экспериментально полученных коэффициентов массопереноса и диффузии углерода, влияния легирующих элементов, величины и точности регулирования углеродного потенциала печной атмосферы. При использовании разработанной программы «RegHard» в исходных данных задают температуру и продолжительность насыщения, коэффициент диффузии углерода с учетом влияния легирующих элементов, углеродный потенциал атмосферы с учетом точности его регулирования, содержание углерода в исходном металле, коэффициент массопереноса и выполняют вычисления при изменении тех или иных технологических параметров. По результатам расчета проводят необходимую корректировку температурно-временных параметров, которые обеспечивают получение требуемого распределения углерода по толщине слоя.

Разработанный программно-методический комплекс позволяет проектировать высокоэффективные технологические процессы химико-термической обработки зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин, обеспечивающие формирование бездефектной структуры упрочненных слоев деталей с требуемыми характеристиками сопротивления усталости, обеспечивающими заданный ресурс.

УДК 658.512.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕДУР ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ И СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

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

Постоянное увеличение парка металлорежущих станков с ЧПУ в металлообработке требует использования всё более эффективных способов сокращения машинного времени с целью снижения себестоимости продукции машиностроения.

Одним из резервов сокращения машинного времени является параметрическая и структурная оптимизация технологических операций. Преимуществом этого направления является то, что использование процедур параметрической и структурной оптимизации не требует существенных материальных затрат для их реализации как в среде САПР технологических процессов, так и в сфере производства.

В данной работе рассматривается методика комплексного решения задачи сокращения оперативного времени путем структурно-параметрической оптимизации технологических операций и приводиться оценка эффективности использования этих проектных процедур в САПР технологических процессов с точки зрения повышения производительности и снижения технологической себестоимости токарных операций.

Особенность разработанной методики заключается в определении наилучшей последовательности выполнения технологических переходов, рабочих ходов инструмента при удалении общего припуска на ступенчатых цилиндрических поверхностях и определения оптимальных режимов резания на каждом переходе и рабочем ходе инструмента.

Разработанная методика комплексной оптимизации технологических операций состоит из четырех этапов. На первом этапе устанавливается общее количество вариантов выполнения переходов и рабочих ходов инструмента путем определения числа перестановок из элементарных частей, на которые разделен общий припуск. На втором этапе для определения допустимых вариантов выполнения переходов и рабочих ходов инструмента выполняется фильтрация общего числа вариантов удаления припуска исходя из условий предшествования и следования рабочих ходов режущего инструмента. На третьем этапе для выявления оптимального варианта удаления припуска рассчитываются длины холостых и рабочих ходов инструмента для всех допустимых их сочетаний. На четвертом этапе на основе

на разбрызгивание, возможному струйному переносу электродного металла в сварочную ванну. Брызги могут появиться при сварке в аргоне, если проволока содержит повышенное содержание углерода и к нему есть доступ кислорода. При сварке ряда сталей углерода в них не много и брызги практически отсутствуют. Наблюдается испарение металла (потери 1…3 %), пары которого, в основном, попадают в сварочную ванну, внутреннюю поверхность сопла горелки и на зону около шва в виде налета. Налет легко удаляется и не влияет на качество нанесения шпатлевки, краски. Экономичность сварки в аргоне определяется сопоставлением затрат на электродный металл со стоимостью защитного газа.

УДК 621.791

О ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ БРЫЗГ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ

В. М. БЕЛОКОНЬ, И. А. ЛУКЬЯНЧИКОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

При промышленном применении и исследованиях процессов сварки в защитных газах основное внимание уделяется качеству сварных соединений, в том числе формированию швов, разбрызгиванию и с учетом испарения суммарным потерям электродного металла и экономичности.

При сварке электродный жидкий металл в виде капель и паров при сварке переходит в сварочную ванну и участвует в формировании сварного шва. Часть капель вылетает из зоны сварки, называемых брызгами, попадает на поверхность свариваемых деталей, к которым часто прочно присоединяются.

Экспериментально выявлена сущность и определены причины разбрызгивания, налипания брызг электродного металла на поверхности. Теоретически рассчитали траекторию, длину и время полета брызг при сварке без коротких замыканий. Сопротивление воздуха, окружающего дугу, не учитывали из-за его малости.

Рассмотрена схема движения брызг металла после ее отрыва от торца электрода. Составлены дифференциальные уравнения движения. Результа-

УДК. 621.791

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

В. М. БЕЛОКОНЬ, И. А. ЛУКЬЯНЧИКОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Изготовление металлоконструкций связано с широким применением разных способов сварки в защитных газах плавящимся электродом. Эти способы имеют преимущества, к которым относят: высокая производительность, хорошее или удовлетворительное качество швов, визуальность управления процессом сварки, отсутствие требований к сверх высокой квалификации сварщиков, низкая стоимость при применении.

В качестве защитных газов применяют одно, двух и трех компонентные смеси. В качестве трех компонентных защитных газов возможно применение смеси аргона, кислорода и углекислого газа. Эта смесь дает преимущества перед сваркой в углекислом газе в области качества сварных швов. Однако дополнительные трудности в создании тройной смеси, некоторые организационные мероприятия препятствуют применению смеси на производстве.

Двойная смесь углекислого газа с кислородом позволяет улучшить внешний вид шва (плавный переход от металла сварного шва к поверхности детали, гладкая поверхность шва), несколько снизить разбрызгивание металла. При этом угар металла увеличивается. В целом потери металла на угар и разбрызгивание по сравнению со сваркой в углекислом газе остаются без изменения.

Смесь аргона и углекислого газов дает преимущества по потерям электродного металла (3…5 %). Стоимость защитной атмосферы возрастает. Экономия металла, снижение трудозатрат на зачистку поверхностей от брызг делает способ экономически выгодным при применении.

Перспективным является способ защиты в двойной раздельной струе аргона и углекислого газов.

Сварка в углекислом газе из-за простоты организационных мероприятий и других факторов все еще находит широкое применение. Основные недостатки: не всегда удовлетворительный внешний вид швов, интенсивное разбрызгивание электродного металла (при оптимальных режимах сварки составляет 8…10 %), значительные трудозатраты на зачистку поверхностей от брызг (зачистка одного метра шва требует 9…10 минут).

Более совершенна сварка в среде аргона. Она отличается высоким качеством сварных швов, устойчивостью горения дуги, отсутствием потерь

функциональной модели процесса точения выполняется параметрическая оптимизация для каждого рабочего хода инструмента для всех допустимых последовательностей их выполнения. При поиске оптимального варианта структуры и параметров токарной операции использовались: экономический критерий оптимизации – технологическая себестоимость и технический критерий – оперативное время технологической операции.

Для оценки эффективности предложенной методики структурно-параметрической оптимизации были проведены вычислительные эксперименты с изменением в широком диапазоне входных параметров функциональной модели процесса продольного точения. Вычислительные эксперименты, выполненные на основе данных нормативной литературы и созданного программного обеспечения, позволили установить эффективность отдельных этапов процедуры параметрической и структурной оптимизации операции. Анализ результатов вычислительных экспериментов показал:

– оптимизация разделения общего припуска на отдельные рабочие ходы инструмента совместно с оптимизацией режима точения обеспечивает снижение оперативного времени операции до13 %;

– поиск оптимальной последовательности рабочих и холостых ходов инструмента позволяет уменьшить оперативное время до 7 %;

использование в качестве критерия параметрической оптимизации технологической себестоимости сокращает оперативное время до 24 %, при одновременном уменьшении себестоимости технологической операции до 20 %;

– применение более сложных в вычислительном отношении экономических критериев оптимизации не вызывает существенного увеличения затрат времени на выполнение автоматизированных процедур структурно-параметрической оптимизации.

Таким образом, на всех этапах решения задачи структурно-параметрической оптимизации токарной операции обеспечивается сокращение затрат оперативного времени и снижение себестоимости изготовления изделий.

Применение методики структурно-параметрической оптимизации токарных операций, разработанного программного обеспечения позволит повысить уровень автоматизации проектирования в САПР технологических процессов и эффективность принимаемых проектных решений.

Выполненное комплексное решение задачи структурно-параметрической оптимизации без существенных материальных затрат обеспечивает повышение производительности труда и сокращение издержек производства на машиностроительных и приборостроительных предприятиях, как на этапе проектирования технологии, так и на этапе производства изделий.

УДК 621.9.02

МОНИТОРИНГ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Ю. Н. САЛИВОНЧИК, В. А. СОКОЛ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Износ режущего инструмента в процессе работы приводит к изменению его геометрических размеров и как следствие является одной из главных причин снижения точности обработки на металлорежущих станках.

Остановка процесса обработки по причине износа инструмента часто означает брак дорогостоящей детали. Контроль состояния и замена инструмента в реальных производственных условиях осуществляется на основе расчётной стойкости. Но в зависимости от качества инструмента стойкость инструмента в одной партии колеблется в довольно широких пределах. Поэтому если определять время работы по наихудшему образцу инструмента из партии, то более стойкие образцы будут не до конца использовать свой ресурс, что приведёт к увеличению количества используемого инструмента и как следствие повышению себестоимости изготовления продукции.

Без информации об интенсивности изнашивания инструмента невозможна оптимизация процессов резания, а также процедура выбора оптимальных технологических условий обработки и т. д. Данные положения позволяют утверждать о том, что проблема достоверной диагностики состояния режущего инструмента является весьма актуальной в настоящее время.

Поэтому для повышения достоверности оценки размерного износа режущего инструмента были проведены исследования с использованием лабораторного стенда, включающего в себя токарно-винторезный станок и специализированную оснастку. Данная оснастка включает в себя динамометр СУРП-600, используемый для измерения составляющих сил резания, а также акселерометр со встроенной электроникой АР-98 с крепёжным магнитом АМ04, используемый в качестве первичного преобразователя для получения вибрационного сигнала. Также в качестве средства для измерения, обработки и управления процессами использовался оригинальный аппаратно-программный комплекс.

Выбор вибрационного сигнала в качестве контролируемого параметра обусловлен высокой технологичностью его получения, а также высокой информативностью, что является весьма ценным качеством при проведении мониторинга состояния режущего инструмента.

– в процессе реакции не выделяется большого количества газообразных вредных выбросов;

– компоненты экзотермической смеси не содержат агрессивных, химических элементов.

– большинство компонентов смеси производятся из вторичных трудно перерабатываемых отходов производства.

Переработка промышленных отходов в настоящее время представляет собой одну из важнейших государственных задач, но имеет ряд трудностей. Её суть заключается не в уничтожении или захоронении отходов, а в их использовании в качестве сырья и разработке ресурсосберегающих технологических процессов получения полезных материалов.

Проведенные эксперименты по заварке термитной сваркой чугунных деталей с помощью экзотермических смесей на ОАО «ПОЭЗ» и полученные результаты показали, что данный метод может найти широкое применение. В качестве наполнителей смесей используются промышленные отходы: чугунная стружка и обсечка чугунной дроби.

Экономический эффект от внедрения термитной сварки при исправлении и ремонте чугунных изделий составит более 30 млн рублей на каждые 1000 т литья.

УДК 621.791.68

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ ЧУГУНОВ

А. А. АНДРУШЕВИЧ, А. Е. ВАЛАДЬКО, А. И. КИРКЕВИЧ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

В развитых и передовых странах мира производство литых деталей из чугуна занимает одно из первых мест в машиностроении, т.к. они имеют ряд преимуществ. В процессе очистки литья, механической обработки и эксплуатации в чугунных отливках выявляются различные дефекты.

Небольшие поверхностные дефекты типа усадочных и газовых раковин объемом до (10…25)х10^{-6} $м^3$ составляют более 60 % всех дефектов литья. Такие дефекты заваривают ручной дуговой или газопламенной сваркой. По ряду причин чугун характеризуется плохой технологической свариваемостью. Перед заваркой требуется его механическая разделка и подогрев. Операция заварки трудоемка, требует наличие сварочного оборудования и высокой квалификации сварщика. Расходуются дорогостоящие электроды и газы. Все это увеличивает затраты на осуществление процесса заварки поверхностных дефектов литья.

В тех случаях, когда требуется не только соединение чугунных деталей, но и значительное наплавление металла от 0,2 кг и выше, использование газо- и электросварки неэффективно. Для наплавления большого количества металла, производительным считается метод термитной сварки, основанный на использовании экзотермических реакций при сгорании термитных смесей. Данный метод может применяться на любых предприятиях без ограничения и даже в нестационарных условиях.

Другие способы восстановления и ремонта чугунных заготовок не могут превзойти термитную сварку по простоте подготовки кромок, автономности и возможности сварки швов сложной конфигурации.

Анализ патентных исследований показал, что большинство патентов, связанных с термитной сваркой, приходятся на период последних двух десятилетий. Развитию данного направления послужили:

– постоянный рост цен на энергоносители и сырье;

– стремление к поиску более производительных и дешевых методов проведения работ;

– универсальные свойства и технические характеристики экзотермических реакций.

Термитная сварка считается наиболее благоприятной с точки зрения экологии:

В процессе исследований фиксировались значения параметров вибрационного сигнала и сил резания для нескольких состояний режущего инструмента при различных сочетаниях режимов механической обработки.

В результате анализа полученных данных о силах резания установлена однозначная зависимость силы резания и среднеквадратического значения (СКЗ) амплитуды вибрации от величины износа практически на всех режимах резания (рис. 1,2).

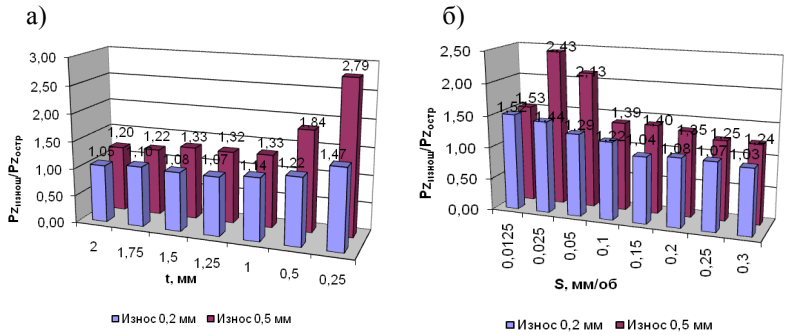


Рис. 1. Относительное изменение составляющей силы резания P_Z в зависимости от глубины резания t (а) и подачи S (б) при износе инструмента

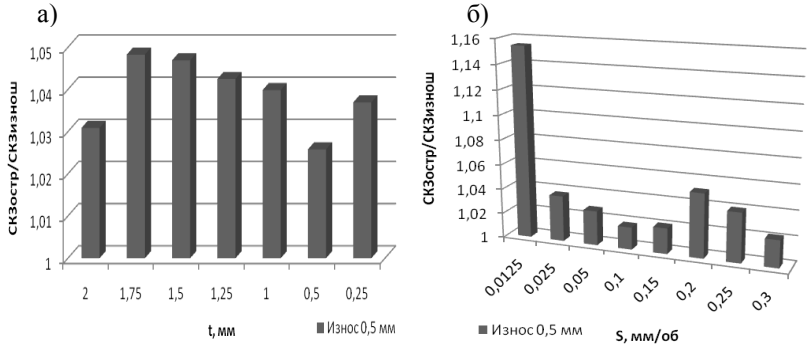


Рис. 2. Относительное изменение СКЗ вибрации в зависимости от глубины резания t (а) и подачи S (б) при износе инструмента

Полученные результаты и их анализ позволяют сделать вывод о том, что развитие средств и методов диагностики на основе анализа параметров вибрационного сигнала благодаря его высокой информативности позволит повысить точность механообработки в производственных условиях, а также вести оптимальное управление процессом резания.

Исследования проведены при поддержке БРФФИ.

УДК 621.914.2:669

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ЗА СЧЁТ МОДИФИКАЦИИ ИНСТРУМЕНТА В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

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

Изменения в металлообработке, связанные с появлением новых материалов, применением станков с числовым программным управлением, многоцелевых станков, гибких производственных систем, повышают требования к эффективности использования технологического оборудования.

На современном этапе обозначенная задача может быть решена за счет: разработки высокопроизводительного станочного оборудования; создание новых либо повышения эксплуатационных характеристик существующих инструментальных материалов и назначения оптимальных режимов обработки.

Однако создание нового оборудования является трудо- и энергоемкой задачей влекущей колоссальные финансовые затраты. Резервы повышения эффективности лезвийной обработки за счет создания новых инструментальных материалов в значительной степени уже исчерпаны или также связаны со значительными материальными затратами. Поэтому особое значение в настоящее время приобретают вопросы, связанные с внедрением технологических процессов модификации рабочих поверхностей инструментов, а также оптимизации процессов резания.

В качестве одного из перспективных способов повышения эффективности инструментальной оснастки, может быть принят метод модифицирующей обработки тлеющим разрядом, разработанный на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусско-Российского университета под руководством д-р техн. наук, проф. Ходырева В.И.

Наряду с повышением эксплуатационных характеристик инструмента оптимизация процессов резания в комплексе позволила повысить эффективность использования модифицированного инструмента в несколько раз что, в общем, привело к достижению высоких результатов эффективности лезвийной обработки.

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод о то, что для максимального повышения эффективности лезвийной обработки целесообразно комплексное использование способа модификации твердосплавного инструмента тлеющим разрядом с последующей оптимизацией процессов резания.

УДК 621.762: 621.357

ПОЛУЧЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

О. В. ШУМОВ
Учреждение образования
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Новополоцк, Беларусь

В качестве антифрикционных сплавов для подшипников скольжения широко применяются свинцовые или оловянистые баббиты. Это объясняется их высокими физико-химическими свойствами: высокой теплопроводностью, хорошей прирабатываемостью, низким коэффициентом трения и т.д. Существенных недостатком использования баббитов в шатунных или коренных подшипниках является их повышенное выкрашивание по причине усталостного разрушения, перегрева и выплавления антифрикционного слоя.

При работе в условиях граничного трения высокими антифрикционными свойствами обладают гетерогенные материалы, которые изготавливаются различными путями, в том числе методами порошковой металлургии. Для устранения недостатков традиционных подшипников скольжения была разработана технология получения антифрикционных покрытий на рабочих поверхностях подшипников. Данная технология включает подготовку поверхности обечайки и нанесение на нее подслоя, нанесение насыщающих слоев на поверхность порошка на медной основе, напрессовка порошкового слоя на поверхность обечайки, спекание порошкового слоя в защитной атмосфере, механическая обработка обечайки в требуемый размер.

В качестве исходного материала для получения антифрикционных покрытий был использован латунный порошок марки ПЛ 80. Покрытия из данного порошка имеют высокую плотность, хорошо поддаются механической обработке, обладают высокими эксплуатационными свойствами. За счет предварительной обработки порошка в растворе электролита было обеспечено получение в покрытиях необходимого набора легирующих элементов. Легирующие элементы подбирались таким образом, что кроме образования антифрикционных фаз достигается сокращение времени термической обработки в результате увеличения скорости процессов диффузии в процессе спекания порошкового слоя.

Для сравнения были проведены испытания на износостойкость в условиях граничного трения покрытий по разработанной технологии и оловянистого баббита. Результаты испытаний показали, что покрытия на основе меди по разработанной технологии при различных нагрузках имеют износостойкость выше, чем у баббита.

УДК 621.914.2:669

ВЛИЯНИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА НА СТРУКТУРУ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

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

В последнее время, как за рубежом, так и в отечественной практике металлообработки все большее распространение получают безвольфрамовые твердые сплавы. В качестве основы таких сплавов используется карбид или карбонитрид титана, а в роли связки – никель и молибден. Ярким представителем данной группы является твердый сплав ТН-20.

Учитывая определяющую роль свойств поверхностного слоя в обеспечении надежности, работоспособности и стойкости режущих инструментов, в настоящее время большое внимание уделяется созданию, развитию и совершенствованию различных методов энергетического воздействия на поверхностные слои инструментальных материалов.

Установлено, что при воздействии тлеющего разряда на рабочие поверхности режущих пластин их стойкость повышается в 2…3 раза, а твердость на 15…20 %. В связи с этим большой интерес представляет выявление протекающих структурно-фазовых превращений в поверхностных слоях безвольфрамовых твердых сплавов в процессе их модифицирующей обработки, которые могут влиять на повышение твердости и стойкости инструмента.

На основании металлографического и микрорентгеноспектрального анализа установлено, что модифицирующая обработка вызывает ряд изменений в структуре твердого сплава, связанных с появлением четких границ зерен карбидной фазы, особенно при обработке пластин с удельной мощностью горения тлеющего разряда W, равной 0,20 и 0,88 кВт/м^2, что может быть объяснено образованием по границам зерен твердого раствора TiC+Mo_2C, перераспределением никеля вдоль границ зерен твердой фазы и частичным переходом молибдена из твердой фазы в связующую.

При анализе дифракционных отражений карбидов титана, молибдена и никеля установлено, что в процессе обработки происходит изменение текстуры и размеров фрагментов никеля. Помимо этого происходит перераспределение TiC по глубине образца, а именно, снижение его количества вдоль плоскостей (222), (400) в поверхностных слоях, глубиной до 120 мкм ± 30 %.

УДК 621.74:669.714

ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА КОЛЬЦЕВОЙ ЩЕЛИ В УСТРОЙСТВЕ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВОК

В. Ю. СТЕЦЕНКО, В. Н ЛАПТИНСКИЙ, А. И. РИВКИН
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

Согласно методу литья закалочным затвердеванием, охлаждение основной массы отливки происходит в воде в отсутствие газо-усадочного зазора между отливкой и литейной формой. При этом структура получаемой отливки зависит от интенсивности циркуляционных потоков в закалочной ванне. Поэтому для большего измельчения фазовых составляющих силумина необходимо значительно увеличить циркуляционный поток охладителя вблизи поверхности отливки. Для этих целей в Институте технологии металлов Беларуси было спроектировано и изготовлено экспериментальное устройство для закалки заготовок со струйной системой охлаждения. Устройство включает: бак с отводящим и сливным патрубками, опорный стол, кольцевой коллектор с подводящим патрубком. На внутренней поверхности коллектора равномерно располагаются отверстия диаметром 4 мм с шагом 12 мм по высоте и направляющей. Между внутренней поверхностью коллектора и отливкой имеется кольцевая щель. Основными конструкционными параметрами, влияющими на охлаждающую способность этого устройства, являются ширина кольцевой щели и расположение отверстий в экране.

В данной работе на основе небольшого объема экспериментальных данных выполнен прогнозный расчет размера кольцевой щели, при котором достигается максимальное значение коэффициента теплоотдачи между отливкой и охлаждающей жидкостью.

Эксперименты проводились при ширинах кольцевой щели 5, 12,5 и 20 мм для заготовок, имеющих диаметры 70 и 120 мм. Установлено, что распределение температуры в экспериментальной отливке из алюминия при охлаждении в указанном устройстве можно принять линейным. С учетом этого допущения выполнен расчет коэффициента теплоотдачи между отливкой и охлаждающей жидкостью. Оказалось, что наибольший коэффициент теплоотдачи достигается при ширине кольцевой щели 12,5 мм. На основе экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость коэффициента теплоотдачи от ширины кольцевой щели. Из анализа этой зависимости следует, что ширина кольцевой щели около 10 мм является наиболее предпочтительной.

УДК 681.5:621.382

ФОТОБАРЬЕРЫ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. В. ТКАЧЕНКО, В. В. ШУЛЯК, С. Л. КАНДЕЛИНСКИЙ,
О. О. КУЗНЕЧИК, А. М. КРУПЕНЬ
Государственное научное учреждение
«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАТИКИ
НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

В машиностроении широко применяется металлообрабатывающее технологическое оборудование, выполняющее операции резки, рубки и штамповки. При работе этого оборудования, входящий в его конструкцию металлообрабатывающий инструмент создает для обслуживающего персонала травмоопасные производственные зоны. Для снижения травмоопасности в металлообрабатывающем технологическом оборудовании применяются различные системы безопасности. Повышение эффективности применения таких систем в составе технологического оборудования является актуальной задачей, решить которую можно с помощью фотобарьеров. Основными конструктивными элементами таких устройств (рис. 1) являются одно- или многолучевые оптический излучатель 1 и фотоприемник 2, блок управления 3, а также устройства оповещения 4 и коммутации 5.

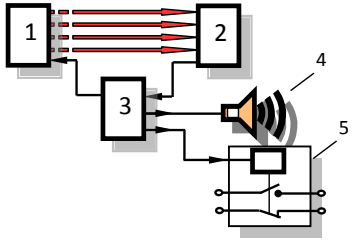


Рис. 1. Структурная схема фотобарьера

Использование фотобарьеров в системах безопасности металлообрабатывающего технологического оборудования при пересечении, по крайней мере, одного из лучей фотобарьера оптически непрозрачным предметом позволяет осуществлять блокировку запуска или остановку механизмов, приводящих в действие металлообрабатывающий инструмент.

На надежность работы фотобарьеров оказывает влияние случайные источники непрерывно или периодически действующей засветки, а также

Расстояние между внутренней и наружной стенками помольной камеры изменяли в пределах 50–100 мм, диаметр мелющих тел (шаров) — в диапазоне 6–14 мм.

Для определения оптимальных геометрических параметров механореактора (расстояния между внутренней и внешней стенками помольной камеры, диаметра мелющих тел, шага и диаметра шнека) были проведены дополнительные исследования. Расстояние между внутренней и наружной стенками помольной камеры изменяли в пределах 50–90 мм, диаметр мелющих тел (шаров) – в диапазоне 6–14 мм.

При описании области оптимума параметрами являлись: предел прочности материала на растяжение $\sigma_в$ и удельное электрическое сопротивление ρ; факторами – расстояние между внутренней и внешней стенками помольной камеры x_1, диаметр мелющих тел x_2. Средние значения параметров оптимизации, приведенные в матрице планирования, получены по результатам двух параллельных опытов. Температура в помольной камере и продолжительность обработки оставались постоянными и равнялись 50 ºС и 8 ч соответственно, степень заполнения помольной камеры шарами составляла 75 %, отношение объема рабочих тел к объему шихты $k = 10$.

В результате статистической обработки экспериментальных данных по влиянию расстояния между стенками помольной камеры и диаметра мелющих тел получены математические модели, адекватно представляющие результаты экспериментов. После определения оптимальных расстояния между стенками помольной камеры и диаметра шаров, равных 70 мм и 10 мм соответственно, устанавливались оптимальные значения шага и диаметра шнека. Шнек представлял собой трубу, навитую на поверхность кожуха вибратора. Наличие водоохлаждаемого шнека позволяет отводить тепло от центра помольной камеры и перемещать загрузку от нижнего конца наклоненной помольной камеры к ее верхней части. Шаг шнека изменялся в пределах 50…150 мм, диаметр шнека (трубы) в диапазоне 8–20 мм. Максимальная прочность полученной композиции после компактирования была достигнута при значениях шага и диаметра шнека 100 мм и 14 мм соответственно, и составила 862 МПа. При этих же параметрах шнека материал обладал минимальным удельным электрическим сопротивлением, составлявшим $2{,}44 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Установка шнека с указанными параметрами позволила сократить время обработки шихты с 8 ч до 7 ч, при сохранении достигнутых значений физико-механических свойств материала.

УДК 621.762

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОМОЛЬНОЙ КАМЕРЫ МЕХАНОРЕАКТОРА ДЛЯ РЕАКЦИОННОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ МЕДИ

А. И. ХАБИБУЛЛИН, Ф. Г. ЛОВШЕНКО
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Для обеспечения протекания необходимых химических реакций в твердофазных порошковых композициях механореактор, в отличие от серийно выпускаемых вибромельниц, должен обладать повышенной энергонапряженностью. В результате проведения лабораторных исследований было установлено, что для протекания механохимических превращений в дисперсно-упрочненных композициях на основе меди необходимо обеспечить нормальные ускорения мелющим телам порядка 120 м·с$^{-2}$. Поэтому исходными данными для расчета промышленного механореактора, обеспечивающего стабильность результатов при обработке исследуемых композиций служили: объем помольной камеры – V = 0,03 м^3; нормальное ускорение корпуса и рабочих тел – a = 120 м·с$^{-2}$; частота вращения дебалансного вала – n = 1450 мин$^{-1}$. У серийно выпускаемых промышленных вибромельниц амплитуда круговых колебаний корпуса не превышает 4 мм, а амплитуда колебаний мелющих тел снижается по направлению к центру практически до нулевых значений, нормальные ускорения корпуса составляют менее 100 м·с$^{-2}$.

С целью повышения энергонапряженности процесса механоактивированного упрочнения была выбрана схема с внутренним вибратором, так как кожух вибратора, размещенный в центре помольной камеры, поддерживает затухающую амплитуду круговых колебаний загрузки. Кроме того, это позволяет разместить дебалансный вал внутри корпуса механореактора, что повышает компактность установки и безопасность обслуживания.

Для ускорения процесса разгрузки помольная камера расположена наклонно, а для интенсификации процесса гомогенизации композиции на наружной поверхности кожуха вибратора установлен водоохлаждаемый шнековый орган (вибротранспортер).

Предварительно, перед оптимизацией геометрических параметров помольной камеры промышленного механореактора производилась обработка шихты, разработанной ранее базовой медной композиции, включающей 0,8 % Al, 0,8 % MoO_3, 2,5 % CuO в изолированной воздушной среде. На лабораторную мельницу устанавливались камеры с рабочим объемом 3 л, представляющие собой два соосных цилиндра с различными диаметрами.

случайные отражающие поверхности в пределах диаграмм направленности излучателя и фотоприемника. Учитывая это, для повышения надежности фотобарьеров при работе в таких условиях, предложено:

– использовать в блоках управления микроконтроллерные системы, которые допускают программирование приема-передачи оптических кодоимпульсных посылок и на основе их анализа принимают решение о возможности или запрещении работы металлообрабатывающего инструмента;

– применять управляемый транспарант, располагающийся таким образом, чтобы программно прерывать прием фотоприемником оптических кодоимпульсных посылок вдоль главной оптической оси, связывающей оптический излучатель с фотоприемником.

Указанные принципы проектирования учтены в фотобарьерах, разработанных в ОИПИ (фото на рис. 2).

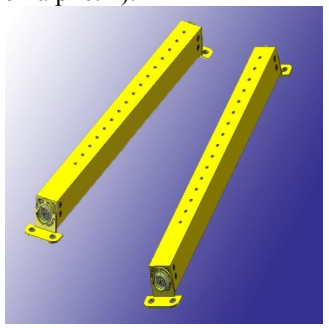


Рис.2. Внешний вид многолучевого фотобарьера, разработанного в ОИПИ НАН Беларуси.

Табл. 1. Технические характеристики фотобарьеров

Количество каналов	1…20
Разрешающая способность, мм	20
Угол излучения, не более, º	10
Угол приема, не более, º	10
Длина контролируемой рабочей зоны, м	10
Время реакции, не более, с	0,05
Возможность перепрограммирования на рабочем месте	есть

Фотобарьеры (табл. 1) нашли применение в системах ограничения доступа для металлообрабатывающего технологического оборудования ряда предприятий, среди которых ОАО «МАЗ», РУП «БААЗ», РУП «БЗТДА».

УДК 628.544

РАЗДЕЛЕНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

М. Н. ЦЫБУЛЬСКАЯ, А. В. ИКОН, В. И. РОМАНОВСКИЙ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) оказывают непосредственное влияние на производительность и качество обработки материалов резанием, осуществляя охлаждающее, смазочное и моющее действия. Охлаждающее действие СОТС заключается в отводе тепла от обрабатываемой детали и режущего инструмента. Смазочное действие СОТС – уменьшает силы трения и явления схватывания и адгезии на контактирующих поверхностях инструмента, обрабатываемой детали и стружки. Основные процессы, в которых используется СОЖ: шлифовка, фрезерование, расточка, обертывание, сверление.

Современные эмульсолы являются сложными коллоидными системами, включающими эмульгаторы, активные присадки, ингибиторы коррозии, бактерицидные добавки и другие компоненты. К эмульсолам предъявляются следующие требования: эмульсия с водой должна быть стойкой (не расслаиваться); они должны обладать антикоррозионными свойствами и не оказывать вредного воздействия на обслуживающий персонал.

В Республике Беларусь широкое применение нашла ТНК Универсал ЕР – концентрат эмульсола, представляющий собой сбалансированные смеси нефтяной основы, импортного пакета присадки биоцидных добавок. ТНК Универсал предназначены для обработки черных и цветных металлов и применяются в виде водных эмульсий. Область применения ТНК Универсал ЕР: станки-автоматы, токарная обработка, фрезерование, резка (распиливание), сверление (включая глубокое), нарезание и накатывание резьбы, зубонарезка. Обрабатываемые материалы: литейный чугун, углеродистые и высокоуглеродистые стали, легированные стали.

На предприятии СОЖ считается отработанной по истечении 4 месяцев нахождения ее в станке, далее происходит полная замена СОЖ в системе. Отработанная СОЖ представляет собой двухфазную систему вода-масло, причем вода имеет примеси, которые окрашивают ее в молочный цвет. Отработанную на предприятии СОЖ концентрируют и собирают в контейнеры.

Целью работы стала очистка СОЖ, т. е. разделение или разложение СОЖ с последующим выделением воды из состава жидкости, которую в дальнейшем можно использовать для повторного приготовления СОЖ. В

вать в композиционных материалах новые свойства, недостижимые в материалах, получаемых традиционными металлургическими способами. В связи с тем, что у композиционных материалов катодные пятна распределяются на большей поверхности (они концентрируются на границах раздела фаз), это затрудняет образование единой расплавленной области и уменьшает эрозию контактов. Введение даже небольшого количества оксидов в композиционные материалы для электроконтактов приводит к существенному ухудшению условий смачивания. Этот эффект необходимо использовать для борьбы с прилипанием и сплавлением. Исследовалось влияние введения оксидов различных металлов на эрозионную стойкость композиционных электроконтактных материалов. Было отмечено, что при введении дисперсных оксидных фаз, не взаимодействующих с матрицей, в процессе работы контакта сохраняется ее гетерогенное строение, несмотря на то, что флуктуации температур на рабочих поверхностях превышают температуру плавления. Наличие в материале контактов небольшого количества дисперсных оксидных включений позволяет значительно снизить перенос материала благодаря измельчению зерна и торможению диффузионных процессов на рабочих поверхностях.

Таким образом, к материалам, применяемым для изготовления целого спектра коммутирующих контактов, предъявляется сложный комплекс требований. Они должны иметь высокие значения: твердости, прочности, горячей твердости и прочности; пластичности, ударной вязкости, электро- и теплопроводности, усталостной прочности, а также обладать мелкозернистой структурой.

Промышленные испытания разрывных средненагруженных по току контактов, изготовленных из дисперсно-упрочненной меди показали, что их стойкость соизмерима со стойкостью контактов, изготовленных из сплавов на основе серебра.

УДК 621.762

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ МЕДИ – ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СРЕДНЕНАГРУЖЕННЫХ КОММУТИРУЮЩИХ КОНТАКТОВ

А. И. ХАБИБУЛЛИН, В. Ф. ПАЦЕЙ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

По условиям работы контакты делят на коммутирующие и скользящие. Коммутирующими называют контакты, исполняющие прерывистое управление электрической цепью. Их применяют для замыкания и размыкания электрических цепей в аппаратах управления различным электрооборудованием, электрическими машинами и установками. К этим аппаратам относятся короткозамыкатели, переключатели, рубильники, контроллеры, контакторы, пускатели, кнопочные станции, реле, различного рода датчики, автоматические и пакетные замыкатели. Наиболее ответственными деталями в устройствах этого типа являются контакты. Небольшие по габаритам и весу они определяют основные параметры электрокоммутирующих аппаратов. Прогресс в области получения новых электродных материалов связан с развитием порошковой металлургии. Интенсивное развитие порошковой металлургии привело к значительному расширению номенклатуры электротехнических изделий. Электроконтактные материалы, изготовленные методом порошковой металлургии, обладают более высокими механическими свойствами при повышенных температурах по сравнению с компактными металлургическими, имеющими тот же химический состав. Основной причиной повышения механических свойств является оксидная пленка на поверхности частиц порошка, которая затрудняет рекристаллизацию подобно дисперсным включениям, препятствующим движению дислокаций и затрудняющим протекание процесса собирательной рекристаллизации. По физико-механическим свойствам порошковая медь близка к монолитной и характеризуется более высокими значениями предела прочности и твердости при повышенных температурах. В последние десятилетия проводятся исследования, связанные с получением дисперсно-упрочненных композиционных порошковых материалов. Эти материалы состоят из пластичной основы — матрицы и армирующего компонента, обеспечивающего необходимые прочностные свойства. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы выгодно отличаются от прочих композитов технологичностью. Упрочнителями в этих материалах служат дисперсные частицы, равномерно распределенные в матрице и не растворимые в ней. Сочетание различных фаз в определенных соотношениях и с определенным характером их распределения позволяет реализо-

настоящее время применяют следующие методы очистки СОЖ: центрифугирование, флотация с добавлением коагулянта, сорбционные методы, фильтрование через слой зернистого материала, электрохимические методы, термические методы, реагентный метод.

В работе исследовали реагентный метод. Поскольку СОЖ это эмульсия стабилизированная ПАВ, то для ее разделения необходимо данный компонент удалить из раствора («связать»). Для связывания ПАВ в работе предлагается использовать отработанные ионообменные смолы. Отработанные ионообменные смолы характеризуются достаточно высокой остаточной сорбционной емкостью, значительно превышающую такую для многих сорбентов.

Обработку СОЖ осуществляли по следующим методикам.

1. В отработанную СОЖ добавляли отработанный анионит в количестве 10 г/л и перемешивали в течение 10 мин.

2. В отработанную СОЖ добавляли отработанный анионит в количестве 50 г/л и перемешивали в течение 10 мин.

3. В отработанную СОЖ добавляли отработанный анионит в количестве 10 г/л и подкисляли ортофосфорной кислотой до pH 5–6 и перемешивали в течение 10 мин.

4. В отработанную СОЖ добавляли отработанный анионит в количестве 10 г/л и подкисляли ортофосфорной кислотой до pH 5–6. Далее СОЖ подогревали до температуры 80–100 °С и перемешивали в течение 10 мин.

Эффективность разложения СОЖ определяли по ХПК и оптической плотности отфильтрованной суспензии.

Результаты измерений приведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты измерений

Опыт	pH	ХПК, мгO_2/л	Содержание взвешенных веществ, %	Оптическая плотность, λ=400 нм	Эффективность очистки по ХПК, %	Степень очистки по оптической плотности,%
Исходная СОЖ	8,83	3328	–	4,451	–	–
1	8,67	1840	4,0	3,192	44,7	28,3
2	8,47	1344	8,9	3,130	59,6	29,7
3	5,94	880	2,2	2,668	73,6	40,0
4	5,87	460	3,5	1,451	86,1	67,4

Из таблицы видно, что наибольшая степень очистки по ХПК достигается при добавлении к исходной СОЖ отработанного ионита в количестве 10 г/л и ортофосфорной кислоты с последующим нагревом.

УДК 621.9.042

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ИЗНОСА ЧАШЕЧНЫХ РЕЗЦОВ С МИКРООБНОВЛЯЕМОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ

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

Известная методика расчета [1] износа задней поверхности чашечных резцов с микрообновлением режущей кромки (МОРК) основывается на его определении исходя из средней величины износа активного участка лезвия резца с неподвижной режущей кромкой (НРК). В пределах контакта лезвия чашечного резца с заготовкой толщина срезаемого слоя металла изменяется от минимальной величины в вершине резца до максимальной в точке лезвия, лежащей на не обработанной поверхности. Вследствие этого имеем аналогичное изменение нагрузки вдаль лезвия резца, что предопределяет неравномерность его износа вдоль линии контакта с заготовкой. Максимальное значение износа задней поверхности резца соответствует точке лезвия с максимальной нагрузкой и определяется по зависимости

$$h_ç = \delta_0 \left(\frac{\tau}{\hat{O}_0} \right)^{n_0},$$

где $h_з$, δ_0 – текущий и оптимальный износ задней поверхности резца; τ, T_0 – время резания и период стойкости резца с НРК; n_0 – показатель степени.

Согласно подтвержденным исследованиям профессора Г.И. Грановского при развертке на плоскость форма износа задней поверхности чашечного резца с НРК представляет собой параболу, вершина которой располагается в точке режущей кромки (РК), соответствующей максимальной толщине срезаемого слоя металла. Определение износа задней поверхности резца с МОРК по известной методике приводит к занижению его величины, т.к. не учитывается характер изменения нагрузки на лезвие при перемещении точки РК вдоль поверхности резания. Каждая точка лезвия резца с МОРК, перемещаясь вдоль его контакта с заготовкой по поверхности резания, в каждый момент времени испытывает кратковременную все возрастающую нагрузку, соответствующую нагрузке, действующей в точке лезвия резца с НРК. Темп износа и величина износа задней поверхности резца с МОРК зависит от удельной нагрузки на задней поверхности резца в каждый момент времени, от скорости перемещения РК и времени $\tau_м$ прохождения точки РК зоны резания. На основании проведенных исследований получена аналитическая зависимость по определению величины износа задней поверхности резца с МОРК.

УДК 621.9

ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ И ПОКРЫТИЯ ИЗ НИХ

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

Развитие современных отраслей промышленности требует создания новых материалов, способных работать в экстремальных условиях, обладать все большей износостойкостью, жаропрочностью, эксплуатироваться в условиях одновременного воздействия высоких температур и агрессивных сред и т.д.

Классические конструкционные материалы все реже удовлетворяют предъявляемым требованиям. В связи с этим широкое распространение получают композиционные, и, в частности, металлокерамические и наноструктурные материалы.

Среди множества современных способов получения композиционных материалов наиболее перспективным и заслуживающим внимания является реакционное механическое легирование. Структура таких материалов представляет собой металлическую матрицу, содержащую в себе равномерно распределенные наноразмерные частицы упрочняющей фазы. Данная технология позволяет получать материалы, зачастую обладающие уникальным набором свойств.

В Белорусско-Российском университете были разработаны дисперсно-упрочненные порошковые материалы для газотермического напыления на основе железа и никеля. По результатам проведенных экспериментальных и теоретических исследований была выполнена оптимизация составов порошковой шихты и изготовлены опытные партии порошкового материала.

Получение порошковых материалов заключалось в обработке в энергонапряженной вибрамельнице в течение 8 часов. Частота вращения составляла 30 $с.^{-1}$, амплитуда колебания 5 мм. Заполнение камеры помольными телами 75-80 % при отношении рабочих тела к шихте 7/1.

Полученные порошковые материалы были нанесены плазменным напылением на образцы из низкоуглеродистой стали. Напыление производилось при мощности 45 кВт, дистанции напыления 300-350 мм и диаметре подающей трубки 1,3 мм. Расстояние от среза сопла до подающей трубки составляло 4,5 мм.

Испытания покрытий установили их повышенную твердость и износостойкость, обусловленную, в первую очередь, наличием упрочняющей фазы.

В результате изучения свойств стёкол I серии выявлена возможность получения хрустальных стёкол, содержащих в своём составе до 10 мас. % CaO. Последующее повышение концентрации CaO вызывало появление цветовых оттенков и увеличение кристаллизационной способности, что может создать проблемы при варке и выработке хрустальных стекол.

Опытные стекла I-ой серии характеризовались приемлемыми показателями плотности, ТКЛР, водостойкости в сравнении с свинцовым хрусталем, но значения их микротвердости достаточно высоки, что может отрицательно повлиять на трудоемкость процесса гранения хрустальных изделий.

Во II серии стекол в результате замещения CaO на BaO снизилась их кристаллизационная способность и микротвёрдость по сравнению с первой серией составов. Однако высокое содержание BaO в стеклах нецелесообразно, вследствие токсичности карбоната бария – сырьевого материала, которым вводится BaO и отрицательного влияния на химическую стойкость стекла.

В этой связи в III серии составов пределы содержания BaO и CaO были ограничены. Для улучшения выработочных характеристик, химической устойчивости и оптических показателей опытных стекол вводился ZnO. Выявлено, что введение ZnO в хрустальные стёкла в целом положительно сказывается на их химической устойчивости, варочных, выработочных, кристаллизационных и оптических свойствах, одновременно несколько возрастает микротвёрдость стёкол.

В IV серии были учтены особенности влияния оксидов CaO, BaO и ZnO на характеристики опытных стёкол, кроме того, дополнительно вводился SrO вместо SiO_2. По ряду свойств стекла IV серии более всего приближаются к свинцовому хрусталю. Установлено, что содержание SrO в экспериментальных стеклах следует ограничивать по причине высокой стоимости карбоната стронция, а также ввиду появления слабого синего оттенка, связанного с увеличением содержания красящих оксидов в стекле, вводимых стронциевым сырьем.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны составы бессвинцовых хрустальных стекол, внедрение которых позволит улучшить экологическую обстановку и снизить затраты при производстве хрустальных изделий. Установлено, что лишь совместное введение в составы стекол взамен оксида свинца CaO, BaO, ZnO, SrO позволяет обеспечить требуемые технологические, эстетические и эксплуатационные характеристики хрустальных изделий.

$$h_з = \delta_0 \left(\frac{\tau_м}{T_0} \right)^{n_0} \cdot k_П \ ;$$

$$k_П = \frac{(n_0 + 4)}{(n_0 + 2)(n_0 + 3)},$$

где $k_п$ – коэффициент уменьшения износа задней поверхности резца с МОРК по сравнению с максимальным износом лезвия резца с НРК.

Положив в (1) величину $h_з=\delta_0$, получим зависимость для определения удельного периода стойкости $T_{ОМ}$ резца с МОРК

$$T_{OM} = T_0 \left(\frac{1}{k_П} \right)^{\frac{1}{n_0}} .$$

Установлено, что износ задней поверхности резца уменьшается с увеличением показателя степени n0. Так при увеличении показателя степени n0 от 0,2 до 3,0 имеем, по сравнению с износом лезвия резца с НРК, уменьшение износа лезвия на 40…75 % и повышение удельной стойкости резца в 8…1,6 раза соответственно. Повышение точности определения износа задней поверхности резца по разработанной методике, по сравнению с известной, составляет 15…27 %, что позволяет более точно спрогнозировать его величину и точность обработки на стадии проектирования технологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шатуров, Г. Ф. «Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей» // Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск : Технопринт, 2001г. – 460 с.

УДК 621.891

ДИАГНОСТИКА УЗЛОВ ТРЕНИЯ МЕТОДАМИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ

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

Ранее для исследования узлов трения было предложено использовать специально разработанный ультразвуковой диагностический комплекс (УДК). УДК имеет гибкую модульную структуру, основу которой составляет ультразвуковой диагностический эхотомоскоп ЭТС-У-02, имеющий сканирующие ультразвуковые пъезокерамические преобразователи с механическим секторным сканированием. Принцип работы эхотомоскопа основан на использовании метода эхо-импульсной ультразвуковой локации исследуемого объекта. УДК включает в себя также персональный компьютер, лазерный принтер и оптический сканер.

При диагностике происходит механическое сканирование контролируемого объекта, помещенного в рабочую жидкость. Принятые эхосигналы подвергаются начальной обработке и отображаются на экране монитора эхотомоскопа в виде акустического изображения. Полученные изображения, посредством специального видеоадаптера, передаются для комплексной обработки в персональный компьютер.

Исследования проводились с использованием машины для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1. Испытания проводились по схеме “вал-втулка” в среде масла индустриального И-40А. Материал втулки чугун СЧ-25, материал контртела - сталь 40Х.

В испытательной камере машины трения был установлен ультразвуковой датчик с механическим сканированием. Скорость скольжения составляла 1 м/с. Нагружение пары трения производилось последовательно, путем пошагового увеличения нагрузки на 300 Н. Акустические изображения диагностируемой пары трения представлены на рис. 1.

а) б)

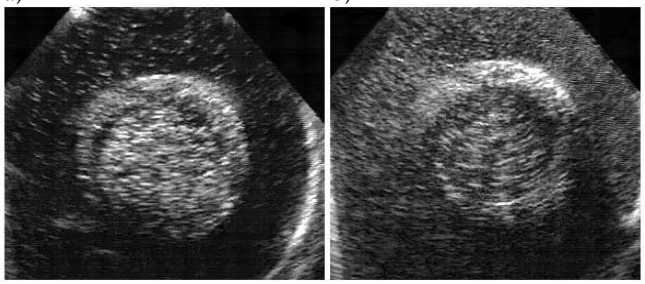


Рис. 1. Акустические изображения пары трения “вал-втулка”: а – скорость скольжения 0 м/с, без нагрузки; б – скорость скольжения 1 м/с, нагрузка 1500 Н

УДК 666.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДА СВИНЦА В СОСТАВЕ ХРУСТАЛЯ

И. М. ТЕРЕЩЕНКО, А. П. КРАВЧУК, Д. А. ОМЕЛЬЯНОВИЧ, К. А. ЕФРЕМОВ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

В производстве хрустальных изделий неотъемлемым компонентом стекла является оксид свинца, содержание которого варьируется в пределах от 24 до 32 мас.%. Присутствие оксида свинца в составе стекла продиктовано необходимостью обеспечения ему высоких оптических и эстетических характеристик: блеска, прозрачности, игры света на гранях, характерного звона и др. Однако оксид свинца PbO вводится в стекольную шихту свинцовым суриком Pb_3O_4, относящимся к веществам 1-го класса опасности (чрезвычайно опасные). При подготовке шихты, варке хрусталя, а также гранении и полировке хрустальных изделий происходит выделение соединений свинца в атмосферу, что отрицательно влияет на условия труда и экологическую обстановку.

В связи с ужесточением требований, предъявляемым к нормам вредных выбросов и обеспечению безопасности условий труда, на конгрессе стеклоделов Европы в 2000 г. ставился вопрос о запрещении функционирования заводов, производящих изделия из свинцового хрусталя. Ситуация усугубляется ростом стоимости сурика свинцового, что приводит к падению рентабельности производства.

Учитывая вышеприведенные обстоятельства, целесообразным представляется снижение содержания PbO в хрустале вплоть до полной его замены на другие оксиды. При этом ставится задача сохранения технологических и эстетических характеристик стекол на уровне свойств свинцового хрусталя.

На кафедре технологии стекла и керамики проводятся работы по получению мало- и бессвинцовых хрустальных стекол на основе системы $R_2O(Na_2O, K_2O)–RO(CaO, BaO, ZnO, SrO)–B_2O_3–SiO_2$. В ходе исследований синтезированы IV серии бессвинцовых хрустальных стекол, в составах которых сохранялось постоянным массовое содержание (Na_2O+K_2O), а также B_2O_3. Оксид свинца PbO был полностью исключен путем его последовательного замещения на оксиды CaO (I серия), CaO+BaO (II серия), CaO+BaO+ZnO (III серия) и CaO+BaO+ZnO+SrO (IV серия). В качестве обесцвечивателя и осветлителя вводили 0,3–0,5 мас.% Sb_2O_3, в ряде составов использовали CeO_2 в количестве 0,15–0,3 мас.%.

комплексным модификатором (материал УПА-30М) и исходного углепластика УПА-30 свидетельствуют о существенном увеличении прочностных показателей и стойкости к термоокислительному старению. Причиной проявления синергического эффекта является многоуровневое модифицирование полимерной матрицы наполнителями различной дисперсности, состава и механизма действия. Углеграфитовые волокна армируют полиамидное связующее по механизму межфазного упрочнения. Макромолекулы фторсодержащего олигомера обеспечивают увеличение стойкости композита к термоокислительной деструкции вследствие взаимодействия карбоксильной и амидной групп. В результате увеличивается устойчивость метиленовой группы, находящейся в α-положении к атому азота амидной группы. Не исключено хемосорбционное взаимодействие (-NH-) группы амидной связи молекулы полиамида с карбоксильной группой фторсодержащего олигомера. Вследствие этих взаимодействий повышается устойчивость композиционного материала к воздействию термоокислительных сред.

Таким образом, одновременное модифицирование полиамидной матрицы наполнителями различной дисперсности и механизма действия обусловило проявление синергического эффекта повышения физико-механических характеристик и устойчивости к термоокислению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рыскулов, А. А.** Разработка машиностроительных материалов на основе смесей металлополимеров : дис. … канд. техн. наук, Гомель, 1990.

2. **Кравченко, В. И.** Конструкционные и композиционные материалы на основе модифицированных термопластов / В. И. Кравченко, В. А. Струк, В. В Яценко // Трение и износ. – 2000. – Т. 21, № 6. – С. 653–657.

3. **Лиопо, В. А.** Рентгенодифрактометрические исследования структурных особенностей полимерных материалов, модифицированных ультрадисперсными углеродными наполнителями. / В. А. Лиопо, Л. В. Михайлова, В. А. Струк // Вестник ГрГУ. Серия 2 – 1999. – №2. – С.47–53.

4. **Липатов, Ю. С.** О роли межфазных явлений в формировании смесей полимеров / Ю. С. Липатов, А. Е. Файнерман, О. В. Анохин // Докл. АН. СССР. – 1976. – Т.231, № 2. – С. 381–384.

Полученные акустические изображения пары трения типа “вал-втулка” дают возможность выявить критерии диагностирования узла трения посредством мониторинга областей контакта. Если в контактной области возникают локальные изменения, то существует в несколько раз большая по объему область, в которой существенно изменяется плотность вещества. Тем самым, условия отражения сканирующих акустических импульсов изменяются, что влечет за собой и изменения в акустических изображениях. Так как полученные монохромные акустические изображения представляет собой не что иное, как матрицу точек, каждая из которых имеет ряд градаций яркости, то представляется возможным осуществить программный анализ наиболее характерных областей изображения. Каждой точке x_i, y_i эхограммы соответствует определенная яркость I (x_i,y_i) и существует возможность численного расчета яркости выделяемых на изображении областей, соответствующих контакту трущихся поверхностей изделия и определения ее зависимости от трибологических характеристик изделия. Зависимость показателя яркости I характерной области изображения, от нагрузки, представлена на рис. 2, при Io (ν=0, P=0).

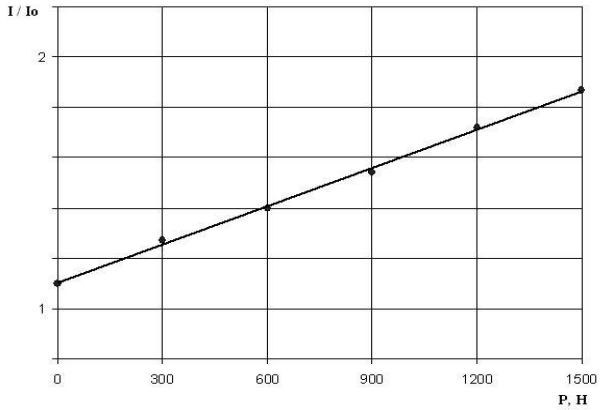


Рис. 2. Зависимость показателя яркости характерной области изображения пары трения типа “вал-втулка”, при ступенчатом изменении нагрузки

Таким образом, проведенные исследования позволяют говорить о возможности диагностики деталей узлов трения с помощью методов ультразвуковой томографии.

УДК 621.82

ВИБРОДИАГНОСТИКА И БАЛАНСИРОВКА КОЛЕСА ПРИВОДА ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВКИ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

В. Л. БАСИНЮК, А. В. КУЛЕШОВА
Государственное научное учреждение
«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

В настоящее время широко развернуты работы по использованию нетрадиционных источников энергии. Одним из перспективных видов нетрадиционной энергетики являются ветроэнергоустановки. Ведутся экспериментально исследовательские работы по разработке колеса для ветроэнергоустановки, основанной на эффекте Магнуса.

Надежность работы колеса привода ветроэнергоустановки существенным образом зависит от качества балансировки ротора и его динамических характеристик, которые необходимо выполнить на стадии сборки перед его монтажом на опору ветроэнергоустановки.

В работе представлены результаты исследований по определению спектров собственных и вынужденных частот ротора колеса во всем рабочем диапазоне, а также предложена методика балансировки колеса.

Колесо представляет собой равномерно установленные на боковой поверхности ступицы 1 фермы 2 сварной конструкции (рис.1).

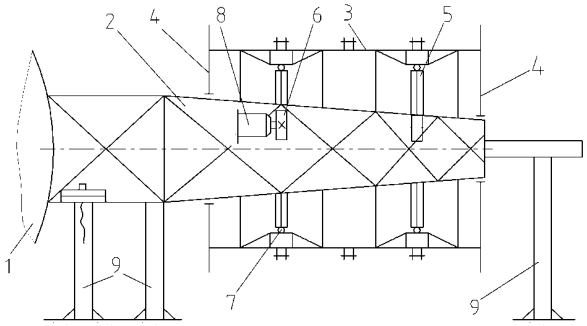


Рис. 1. Схема установки ротора колеса привода ветроэнергоустановки для испытаний и балансировки

На ферму 2 установлен ротор 3, оболочка которого выполнена из стеклотекстолита цилиндрического сечения диаметром 2,5 м, а по торцам закрыт защитными шайбами 4. Ротор собран из четырех секций длиной по 5 м каждая. Общая длина ротора 20м. Опора 7 ротора 3 выполнена в виде металлического обода и трех опорных роликов 6, один из которых является ведущим. В качестве привода ротора используется регулируемый асинхронный электродвигатель 8.

имеют модификаторы полиамидных материалов, обеспечивающих достижение синергического эффекта.

Целью настоящей работы явилось исследование структуры и служебных характеристик композиционных материалов на основе полиамида 6, модифицированных компонентами различного механизма действия.

Исследование физико-механических характеристик композиционных материалов, содержащих различные типы модификаторов, в зависимости от времени термоокислительного старения свидетельствует о существенном влиянии состава и дисперсности наполнителя на стойкость композита. Вероятным механизмом модифицирующего действия является увеличение плотности структуры вследствие формирования межфазных слоев с особой укладкой молекул на границе раздела «полиамидная матрица – волокнистый наполнитель» и снижение неблагоприятного воздействия поверхностных дефектов (микротрещин) на прочность композита. Таким образом, в данном случае, реализуется механизм межфазного упрочнения, обеспечивающий эффект физического модифицирования, повышающий стойкость композиционного материала к термоокислительному старению. Модифицирование ПА 6 ультрадисперсными кластерами углерода и меди обеспечивают существенное увеличение стойкости композитов к воздействию термоокислительных сред. Эффект обеспечивается, вероятно, структурным упорядочением полиамидной матрицы преимущественно в ее аморфной части, обусловленным действием локализованного заряда на частицах модификатора. Одновременно возможно адсорбционное взаимодействие активных центров полиамидной макромолекулы – атомов амидной группы (-NHCO-)- на частицах наполнителя, приводящее к изменению подвижности молекулярных сегментов. Об этом свидетельствует увеличение показателя времени корреляции стабильного иминоксильного радикала, введенного в образец композиционного материала методом диффузии из паров, с $\tau_c=231{,}6\times10^{-10}$ для исходного полиамида до $\tau_c=263\times10^{-10}$ для полиамида, содержащего 0,05 мас.% высокодисперсной меди и до $\tau_c=297{,}3\times10^{-10}$ для полиамида, содержащего 0,005 мас.% нанодисперсного углерода детонационного синтеза (шихты). Подобное активное воздействие наномодификатора приводит к одновременному повышению комплекса физико-механических и теплофизических характеристик. Совместное модифицирование полиамидной матрицы наполнителями различной дисперсности позволило одновременно реализовать механизмы межфазного и надмолекулярного упрочнения. Для этого в состав полиамида 6 вводили углеграфитовые волокна в количестве 30 мас.% в сочетании с 0,03 мас.% нанодисперсного углерода детонационного синтеза. Гомогенность распределения наполнителя обеспечивали обработкой гранул 1-2 мас.% раствором во фреоне фторсодержащего олигомера марки Ф-1. Сравнительное исследование физико-механических характеристик композиционного материала с комплексным модификатором (материал композиционного материала с

УДК 621.817:621.825.63.001.6

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

В. А. СТРУК, *В. И. КРАВЧЕНКО, Е. В. ОВЧИННИКОВ,
А. А. СКАСКЕВИЧ, С. Д. ЛЕЩИК
УМЦ «Промагромаш» ОАО «Белкард»
*Учреждение образования
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Янки Купалы»
Гродно, Беларусь

Композиционные материалы на основе алифатических полиамидов широко применяются в машиностроении для изготовления деталей конструкционного и триботехнического назначения. Они обладают хорошим сочетанием физико-механических, теплофизических и триботехнических характеристик и перерабатываются в изделия методом литья под давлением. Вместе с тем, для полиамидных композиций характерны сравнительно невысокая стойкость к воздействию термоокислительных сред и повышенное влагопоглощение, ограничивающее диапазон их практического применения [1-2]. Для повышения показателей служебных характеристик в состав полиамидных материалов вводят различные функциональные добавки – стеклянные и углеграфитовые волокна, ультрадисперсные наполнители (порошки металлов, оксидов, графита и т.п.), полимерные и олигомерные модификаторы (полиолефины, акрилобутадиенстирольные и дивинилстирольные пластики, N, N^1-бис-имиды и др.) [3-4]. Анализируя принципы модифицирования полиамидных матриц можно отменить несколько основных подходов, заключающихся в:

– межфазном упрочнении с помощью введения высокомодульных коротковолокнистых наполнителей;

– межмолекулярном взаимодействии путем использования активных компонентов, обеспечивающих сшивку макромолекул по месту амидных связей;

– надмолекулярном регулировании с помощью активных центров кристаллизации полиамидной матрицы, введенных в расплав;

– межфазном модифицировании полимерными компонентами, образующими совмещенную полимер-полимерную матрицу.

Реализация каждого из данных принципов позволяет создать композиционный материал определенного функционального назначения. Вместе с тем разработаны многофункциональные материалы, одновременно обладающие высокими прочностными, триботехническими и теплофизическими характеристиками путем одновременного использования модификаторов различного механизма действия. Очевидно, что особую перспективу

Для испытаний и балансировки ротор в сборе устанавливается на кронштейны 9 (см. рис.1). Вынужденные частоты вибраций, вызванные кинематическими связями при вращении ротора, определяются расчётным методом. Испытания динамики ротора ветроэнергоустановки проводились в следующей последовательности.

1. Определяются спектры собственных и вынужденных частот ротора. Для получения спектров используется аппаратурный комплекс, состоящий из виброметра, узкополосного фильтра и самописца.

При вращении несбалансированного ротора на спектре колебаний имеют место пики, обусловленные вибрацией с частотой вращения ротора, а также от возбуждения колебаний элементов ротора на собственных частотах. Частоты собственных колебаний ротора в сборе определяются путем записи спектров переходных процессов, получаемых при импульсном возбуждении. Анализируя спектры вынужденных и собственных частот, определятся резонансные частоты ротора и рабочий диапазон частот его вращения.

2. После испытаний по пункту 1 выполняется динамическая балансировка ротора в сборе. Учитывая, что ротор является гибкой системой, динамическая балансировка ротора выполняется в пяти плоскостях коррекции, проходящих перпендикулярно оси ротора вала через опоры, торцы и середину ротора[1].

Частота вращения ротора при балансировке выбирается такой, чтобы её значение отличалось от ближайшего резонанса не менее чем на 20–30 %. Пробная масса груза выбирается таким образом, чтобы измеренная первоначальная амплитуда вибраций изменялась на 30–80 %.

Результаты испытаний показали, что спектр вибраций до балансировки состоит из колебаний на частоте вращения 3 Гц и колебаний на собственной частоте 1,4 Гц. Амплитуда вибраций на частоте вращения, вызванная дисбалансом ротора, до балансировки составила 12 мм/с. После балансировки ротора записан контрольный спектр его вибраций. Анализ контрольного спектра показал, что амплитуда вибраций на частоте вращения после балансировки уменьшилась до 0,8 мм/с, вибрации на собственных частотах отсутствуют, работа ротора при этом бесшумная, без колебаний и динамических нагрузок во всем диапазоне частот вращения.

3. После балансировки и наладки роторов производится сборка колеса и его монтаж на опору ветроэнергоустановки. Вибродиагностика работы ветроэнергоустановки выполняется как в п.1. При необходимости производится балансировка колеса в сборе на рабочей частоте его вращения в соответствии с п.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балансировка машин и приборов / Под ред. В. А. Щепетильникова. – М.: Машиностроение, 1979. – 294 с.

УДК 672.822.1

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ШВЕЙНЫХ ИГЛ

О. В. БЛАГОДАРНАЯ, А. П. МИНАКОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОСИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Определение влияния факторов, например, таких как состав абразивного материала, концентрация и т.п. производится при последующих испытаниях при оптимальном соотношении управляемых факторов и их длительности, полученных по результатам многофакторного эксперимента. Для оценки влияния остальных факторов на качество швейных игл были проведены следующие исследования:

– влияние состава порошка;
– влияние размеров зерен порошка;
– влияние наличия рабочей жидкости;
– влияние концентрации порошка в рабочей жидкости.

Для оценки влияния типа порошка на производительность обработки швейных игл были проведены испытания игл с порошками: ферроабразивный порошок FeV с частицами 63 мкм, порошок FeV с частицами 63–100 мкм, порошок FeV с частицами 315 мкм, смесь частиц серого чугуна СЧ30 и частиц износа резца из быстрорежущей стали Р6М5 с частицами 50–500 мкм.

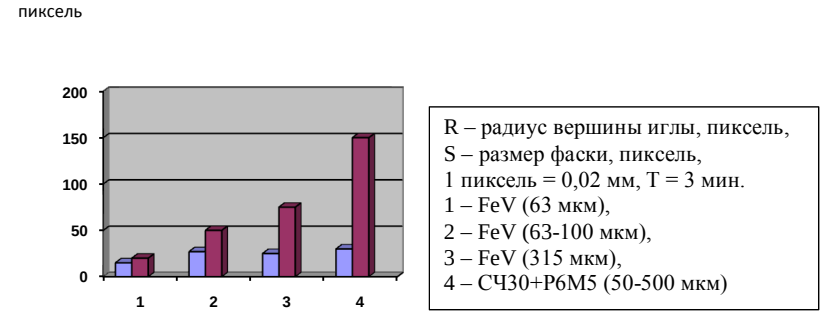


Рис. 1. Диаграмма изменения параметров швейной иглы при обработке различными порошками

на, полученного агломерацией пленочных фрагментов. Вероятным механизмом этого эффекта является уменьшение межмолекулярного взаимодействия разветвленных цепей полипропилена вследствие введения в состав дисперсных частиц СПУ, выполняющих экранирующие функции. Низкий показатель текучести расплава композиционного материала сохраняется и после многократной переработки, что свидетельствует о правильности данного предположения, т.к. по данным ДТА и ИК-спектроскопии образования сополимерных продуктов не установлено.

Следовало ожидать, что активное влияние модифицирующих фрагментов на термопластичные матрицы окажет благоприятное воздействие на показатель стойкости к растрескиванию под напряжением, т.к. этот показатель определяется, главным образом, характером расположения проходных цепей макромолекул в объеме композита. При благоприятной укладке проходные цепи находятся в ненапряженном состоянии, что способствует их ускоренной релаксации под внешним напряжением и сохраняет целостность изделия под действием статического изгибающего напряжения. Кроме того, в частицах структурированного СПУ имеется некоторое количество олигомерной фракции с высокой устойчивостью к передеформированию без разрушения, которое может выполнять функцию высокомолекулярного пластификатора, уменьшающего остаточные напряжения в композите.

Подобное действие структурированных частиц эластомеров зафиксировано в термопластах типа полиамида [3]. Исследования показали, что введенный модификатор существенно изменяет показатель растрескивания под напряжением, особенно значимо для композиций с полипропиленом. Обнаруженный неаддитивный эффект позволяет использовать композиционный материал на основе полипропилена в качестве основного продукта для получения защитных кожухов для комплектации карданных передач сельскохозяйственных агрегатов различного функционального назначения, испытывающих наиболее неблагоприятное воздействие эксплуатационных и атмосферных факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталог: Полиолефины / Охтинское НПО «Пластополимер», 1990. – С.14–21.

2. Новые типы композиционных материалов на базе полиамида 6 производства Гродненского ПО «Химволокно» / П. Н. Пичук [и др.] Матер. науч.-техн. конф. «Поликом-2000», Гомель, ИММС НАН Б, 2000. – С. 136–138.

3. **Мануленко, А. Ф.** Создание абразивостойких триботехнических материалов на основе бинарных смесей «термопласт – термоэластопласт» : дис. … канд. техн. наук. – Гомель, 1987.

УДК 621.817:621.825.63.001.6

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАРДАННЫХ ПЕРЕДАЧ

В. А. СТРУК, *В. И. КРАВЧЕНКО, Е. В. ОВЧИННИКОВ,
К. В. КРАВЧЕНКО
УМЦ «Промагромаш» ОАО «Белкард»
*Учреждение образования
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Янки Купалы»
Гродно, Беларусь

Для предотвращения интенсивного воздействия неблагоприятных компонентов окружающей среды, прежде всего, абразивных частиц и влаги, рабочие сопряжения карданных передач – универсальный шарнир и шлицевое соединение – защищают специальными кожухами, которые выполняют одновременно и функцию устройства, обеспечивающего безопасное обслуживание агрегата. Композиционный материал защитного кожуха испытывает комплексное воздействие атмосферных факторов – влаги, ультрафиолета, перепада температур, вибраций, ударных нагрузок, влияние знакопеременных воздействий.

Для обеспечения эксплуатационного ресурса изделий подобного типа был разработан композиционный материал на основе термопластичных полиолефинов. Известно, что комплексным модификатором полиолефинов (ПЭНД, ПП, ПЭВД) служат термоэластопласты типа сополимеров этилена и винилацетата, дивинилстирольного термоэластопласта и полиуретанового термоэластопласта. Разработана гамма композиционных материалов конструкционного назначения и повышенной морозостойкостью и стойкостью к воздействию ударных нагрузок [1, 2].

Для обеспечения комплекса функциональных характеристик базовых термопластов (ПП, ПЭНД) был выбран структурированный полиуретановый термоэластопласт (СПУ). Термические показатели этого материала позволяют применять его в качестве модификатора различных термопластов с температурным диапазоном переработки 423-543 К, т.к. интенсивная термоокислительная деструкция этого компонента начинается при температурах, превышающих 573 К. При воздействии повышенных температур (523-573 К) межмолекулярные сшивки в структурированном полиуретане разрушаются и он трансформируется в термопластичный олигомерный продукт с достаточной текучестью (ПТР = 3-10г/10 мин). В диапазоне переработки термопластов сшитая структура не претерпевает существенных изменений и частицы СПУ выполняют функцию наполнителя, который не существенно изменяет основные показатели физико-механических характеристик, однако, влияет на реологию расплава. Влияние на реологические характеристики наиболее заметно для полипропиле-

Из анализа диаграммы (рис. 1) можно видеть, что наибольшая эффективность обработки швейных игл МАП получается при применении порошка, полученного из смеси частиц серого чугуна СЧ30 и частиц износа резца из быстрорежущей стали Р6М5 с величиной частиц 50–500 мкм. При обработке ферроабразивными порошками FeV производительность обработки возрастает с ростом величины зерен порошка, причем очень низкая производительность отмечается у порошков с величиной зерен 63 мкм.

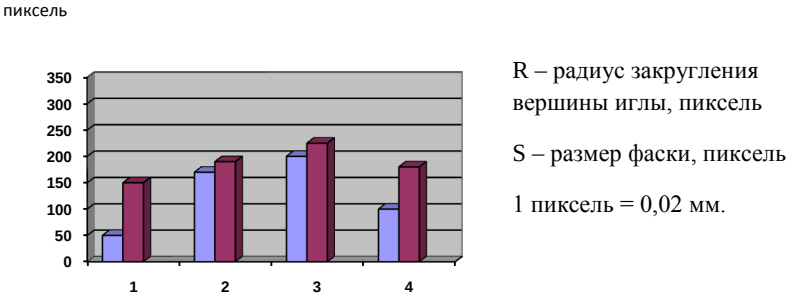


Рис. 2. Диаграмма изменения параметров швейной иглы при обработке МАП порошком в рабочей жидкости разной концентрации (3 % водный раствор триэтаноламина)

Было исследовано влияние наличия рабочей жидкости и концентрации порошка в жидкости на производительность МАП. В качестве рабочей жидкости применялся 3 %-ный раствор триэтаноламина, в качестве порошка применялась смесь частиц серого чугуна СЧ30 и частиц износа резца из быстрорежущей стали Р6М5 с величиной частиц 50-500 мкм, как наиболее эффективного при МАП швейных игл. Время обработки составляло при каждом испытании 3 мин. Измеряемыми параметрами был радиус закругления вершины иглы и размер фаски. Измерения проводились на микроскопе фирмы Цейс. Было установлено, что наибольшая эффективность достигается при концентрации порошка в рабочей жидкости, равной 50 % (рис. 2). При уменьшенной концентрации порошка или при ее увеличении производительность обработки падает, а при работе с сухим порошком и с концентрацией порошка 75 % разница в производительности очень мала. Но так как после обработки на иглах остается пленка из эмульсии, которую следует убирать, чтобы игла не покрылась коррозией, то при такой несущественной разнице нецелесообразно применять эмульсию с порошком при обработке МАП.

УДК 621.865

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ С ЗУБЧАТО-ЦЕПНОЙ ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ

Л. А. БОРИСЕНКО, В. Л. КОМАР, Д. Н. КАЛЕЕВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В развитие предложенной авторами концепции планетарных механизмов с гибкими связями проведено исследование механизмов с зубчато-цепными гибкими связями. Ранее на кафедре ОПМ уже исследовались механизмы, в которых использовалась гибкая связь в виде втулочно-роликовой приводной цепи. Были разработаны, изготовлены и испытаны опытные образцы таких механизмов, реализующие разные передаточные отношения, и была подтверждена возможность использования этой схемы для создания простых и недорогих, неответственных передач, к которым не предъявляются требования в части высокого коэффициента полезного действия.

Планетарная передача с зубчато-цепной гибкой связью представляет более совершенное устройство, которое можно рассматривать как конкурента волновой передачи. Прежде всего следует отметить, например наличие гибкого звена в обеих передачах, которая позволяет трактовать ее как конструктивный вариант одноволновой зубчатой передачи, на самом деле имеются принципиальные отличия. Так, например, в волновой передаче отсутствует планетарное движение звеньев, которое в явном виде присутствует в передаче с зубчато-цепной гибкой связью. Кроме того, при взаимодействии зубья гибкого и жесткого колеса в волновой передаче перекатываются друг по другу, в то время как в передаче гибкой связью зубья гибкой связи покоятся на сателлите и только в момент вхождения гибкой связи на сателлит скользят по зубьям сателлита.

Известно, что рядовая зубчато-цепная передача характеризуется высоким коэффициентом полезного действия и высокой нагрузочной способностью благодаря участию в передаче усилия достаточно большого числа зубьев. Это позволяет надеяться, что планетарный вариант передачи также будет иметь достаточно высокие технические характеристики.

Прежде всего следует отметить, что эффективность этой передачи нового типа в значительной мере определяется конструкцией зубчатой цепи. Несмотря на широкое использование в промышленности зубчатых цепей отсутствует стандартный ряд цепей с малым модулем. Принятое конструктивное решение не позволяет реализовать в традиционной конструкции цепи с модулем, например, 1 мм. Поэтому нами разработаны вариан-

кристаллов кремния определяли с помощью программного комплекса обработки и анализа изображения «Autoscan».

Было установлено, что при литье в кокиль поршней ДВС из сплава КС-740 по данной технологии дисперсность кристаллов первичного и эвтектического кремния в среднем составляли 22 мкм и 3,5 мкм соответственно (рис. 1).

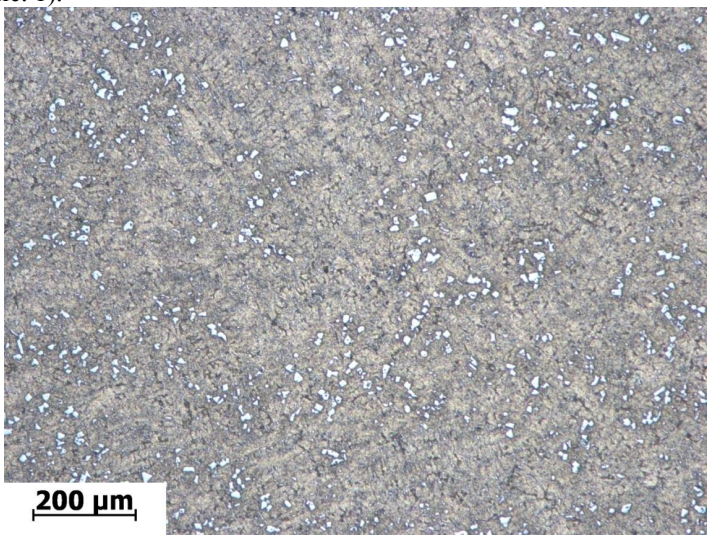


Рис. 1 Микроструктура заготовок поршня диаметром 54 мм из сплава КС-740 с улучшенной структурной наследственностью

Полученные заготовки по данной технологии поставили на ОАО «МОТОВЕЛО» в количестве 280 штук для серийного производства поршней.

Таким образом, технология наследственного модифицирования позволяет получать серийно заготовки поршней ДВС заэвтектического силумина КС-740 с мелкокристаллической первичной и эвтектической микроструктурами, без применения экологически небезопасных примесных модификаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Марукович, Е. И.** Модифицирование сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко. – Минск: Бел. навука, 2009. – 192 с.

УДК 621.74:669.714

ЛИТЬЕ МЕЛКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ПОРШНЕЙ ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА БЕЗ МОДИФИКАТОРОВ

В. Ю. СТЕЦЕНКО, А. М. ПЕВНЕВ, А. А. СИДОРСКИЙ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»
Могилев, Беларусь

Одним из основных направлений совершенствования двигателестроения является увеличение ресурса работы современных форсированных двигателей. Наиболее жесткие условия их работы приходятся на поршень, который испытывает большие тепловые и динамические нагрузки. Это требует создания силуминов, обладающих повышенными свойствами. Одним из основных факторов, увеличивающих механические свойства заготовок, является повышение дисперсности их микроструктуры. Поэтому задача диспергирования фазовых составляющих в отливках из поршневых силуминов была и остается весьма актуальной. Наиболее универсальным способом диспергирования структуры сплавов является наследственное модифицирование, позволяющее получать заготовки с мелкокристаллической структурой без применения примесных модификаторов. Для этого необходимо получить мелкокристаллический переплав (расплав) или лигатуру с высокой структурной дисперсностью. Такую структуру можно получить методом литья закалочным затвердеванием и литьем в струйный кристаллизатор с применением затоплено-струйного вторичного охлаждения [1].

Целью настоящего исследования являлось получение поршней ДВС с мелкокристаллической структурой без применения примесных модификаторов, используя технологию наследственного модифицирования.

Для осуществления процесса наследственного модифицирования была получена мелкокристаллическая лигатура АК40, которую добавляли в основу сплава. В качестве шихты использовали чушки АК12 и лигатуры, содержащие Ni, Mg, Cu, Mn. Плавку поршневого сплава КС-740 проводили в электропечах сопротивления с шамото-графитовым тиглем. Температура перегрева сплава составляла 950 °С. После усвоения легирующих элементов и кремниевой лигатуры температуру металла снижали до 850 °С для последующей дегазации и разливки поршневого сплава в металлическую форму.

Заготовки поршней ДВС диаметром 54 мм из заэвтектического сплава КС-740 получали литьем в кокиль с водоохлаждаемой пятой. Из полученных образцов вырезали шлифы для исследования микроструктуры методом металлографического анализа при помощи аппаратно-программного комплекса на базе микроскопа Carl Zeiss «Axiotech vario». Дисперсность

ты мелкомодульных зубчатых цепей, новизна которых подтверждена патентами РБ N 4250 и N 11525 .

В соответствии с патентом N 4250 зубчатая связь выполнена в виде набора пластин, шарнирно соединенных между собой и образующих замкнутое кольцо, причем с внутренней стороны пластины снабжены зубьями с эвольвентным профилем. Выполненная таким образом гибкая связь представляет собой своеобразное гибкое колесо с эвольвентным профилем зубьев. Такое конструктивное выполнение гибкой связи позволяет изготавливать ее на стандартном зубодолбежном оборудовании. Для этого необходимо собранную заготовку цепи без зубьев поместить в специально разработанную оправку, удерживающую ее по наружному диаметру и придающую цепи окружную форму, а затем нарезать заготовку как обычное зубчатое колесо.

По такой технологии изготовлено несколько цепей с модулем 0,5 мм и 1 мм. Основой для сборки заготовки послужили пластины и пальцы обычной пластинчатой цепи с шагом 9,525 мм.

В варианте по патенту N 11525 зубчатая цепь выполнена в виде контактирующих между собой выпуклыми цилиндрическим поверхностями сегментов, снабженных с внутренней стороны выступами с эвольвентным профилем. Снаружи сегменты охвачены гибким кольцом, не позволяющим сегментам рассыпаться. С внутренней стороны сегменты удерживаются зубьями сателлита и неподвижного колеса. Неподвижное колесо выполнено из двух одинаковых частей, симметрично размещенных по обе стороны от сателлита. Это позволяет предотвратить перекос гибкой связи при ее нагружении.

Число зубьев неподвижного колеса должно быть меньше на один зуб числа зубьев цепи, а число зубьев сателлита – на два зуба меньше числа зубьев цепи. В таком случае передаточное отношение механизма примерно равно числу зубьев неподвижного колеса.

Изготовлено несколько опытных образцов зубчатых цепей, частности с модулем 0,5 мм и числом зубьев 164, с модулем 1 мм и числом зубьев 82 и модулем 1 мм и числом зубьев 142.

На основе использования этих цепей созданы три макета планетарных передач с мелкомодульной цепной гибкой связью с передаточными отношениями равными 163, 81, 141.

Проведены лабораторные испытания макетов передач, которые подтверждают их работоспособность.

Продолжается работа по совершенствованию конструкций мелкомодульных цепей с точки зрения повышения их коэффициента полезного действия и совершенствования технологии изготовления цепей.

Если исходить из аналогии с достаточно исследованными волновыми передачами, то передаваемая нагрузка прежде всего ограничивается прочностью гибкого элемента, а не модулем зубьев.

УДК 621.865

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Л. А. БОРИСЕНКО, В. Л. КОМАР, Д. Н. КАЛЕЕВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Для реализации больших передаточных отношений при минимальных габаритах передач в настоящее время все шире используются циклоидально-цевочные планетарные редукторы. К достоинствам таких редукторов относится многопарность зацепления (при точном изготовлении деталей до 30 % зубьев звездочки участвует в передаче усилия, и, как следствие, малая удельная металлоемкость на единицу передаваемой мощности и малые габариты. Кроме того, циклоидальные редукторы при должном качестве изготовления обладают повышенной долговечностью.

Однако они имеют ряд недостатков. Прежде всего, они сложны в технологическом отношении и, следовательно достаточно дороги, Помимо чрезвычайно высоких требований к точности изготовления деталей и наличия специального инструмента, эта передача имеет еще ряд особенностей. Во-первых, нельзя получить большое передаточное отношение из-за больших габаритов колес. Циклоидальные зубья имеют большой шаг по сравнению с эвольвентными зубьями, отсюда – большие диаметры колес. Во-вторых, нельзя осуществить редуктор с малым модулем зубьев из-за необходимости использования цевок и роликов малого диаметра.

Указанные обстоятельства послужили мотивом для разработки новых схем двухступенчатых планетарных редукторов с традиционным эвольвентным зацеплением, предназначенных для реализации достаточно больших передаточных отношений, технологические требования к изготовлению которых не столь высоки. Разработанные схемы базируются на ранее проведенных на кафедре ОПМ исследованиях, касающихся проектирования планетарных механизмов схемы K-H-V с разностью чисел зубьев во внутреннем зацеплении, равной единице.

Преимущества двухступенчатой схемы планетарного редуктора состоят в следующем, Использование двухступенчатой схемы позволяет реализовать большое передаточное отношение при достаточно высоком коэффициенте полезного действия. Из теории планетарных передач известно, что коэффициент полезного действия резко снижается при увеличении передаточного отношения передачи, в то время как для передач с диапазоном передаточных отношений 0,2–10 он находится на уровне 0,9–0,98. Это подтверждается и практикой. Причина снижения передаточного отноше-

УДК 621.9

НАПЫЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ БЕЛОГО ЧУГУНА И АЛЮМИНИЯ

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

Порошок белого чугуна является перспективным материалов для нанесения газотермических покрытий при ремонтно-восстановительных работах деталей машин. Основными достоинствами данного материла являются невысокая стоимость и доступность, поскольку материал производится на предприятиях Республики Беларусь.

При напылении покрытий из белого чугуна с использованием дугового плазмотрона, работающего на воздушно-углеводородной плазмообразующей смеси, возникает ряд проблем, не позволяющих получать стабильное качество покрытий. В первую очередь, это связано с распадом при высоких температурах структуры ледебурита, сопровождающимся выделением графита. Распад или выгорание карбида железа, который придает покрытиям необходимую твердость, износостойкость и прочие требуемые физико-механические и эксплуатационные свойства.

В процессе экспериментов было установлено, что значительного снижения количества кислорода в зоне напыления можно добиться при использовании белого чугуна в виде порошковой смеси с алюминием.

При небольших мощностях плазмы (около 20…25 кВт) алюминий целесообразно вводить в состав смеси в виде пудры, а при мощностях от 35 кВт и выше – необходимо использовать алюминиевый порошок, причем диаметр частиц используемого порошка должен увеличиваться пропорционально увеличению мощности плазмы. Количество порошка может варьироваться от 5 до 30 грамм на килограмм смеси.

Алюминиевый порошок практически полностью выгорает или испаряется в потоке воздушно-углеводородной плазмы, уменьшая содержания активного кислорода и, тем самым, снижая выгорание углерода и окисление железа.

Покрытия, напыленные порошковой смесью, имеют более высокие эксплуатационные свойства, в частности, менее подвержены образованию трещин, имеют более высокую твердость и плотность.

Из разработанной порошковой смеси целесообразно напылять покрытия различного функционального назначения, например, такие как: посадочные места под подшипники, места под сальниковые уплотнения, шейки коленчатых валов и т.д.

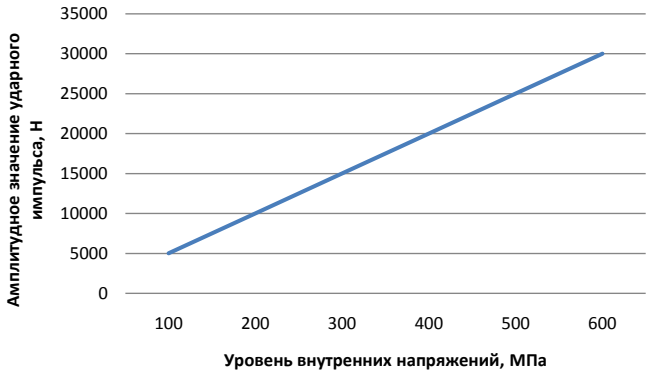


Рис. 1. График зависимости уровня внутренних напряжений детали от амплитудных значений ударного импульса

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что увеличение значения амплитудных значений ударного импульса ведет за собой увеличение значения внутренних напряжений детали. Поэтому для увеличения стойкости работы деталей машин, необходимо снизить величину внутренних напряжений в детали. Для снижения величины внутренних напряжений детали был применен метод магнитно-импульсного упрочнения. После магнитно-импульсного упрочнения уровень внутренних напряжений снизился на 20 % [2].

Таким образом, магнитно-импульсное упрочнение материалов ведет к устранению грубой исходной структуры, причем часть карбида растворяется, а остальная создает мелкозернистую структуру, обеспечивая тем самым высокую прочность и износостойкость. После магнитно-импульсного упрочнения, повышается общая прочность изделия; повышается усталостная прочность; уменьшаются остаточные термические напряжения; не происходит перегрева изделия вследствие повышения коэффициента теплопроводности инструмента и детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Малыгин, Б. В.** Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин / Б. В. Малыгин . – 2008. – 112 с.

2. **Кривошеев, С. И.** Магнитно-импульсная методика тестирования материалов при импульсном нагружении / С. И. Кривошеев // Журнал технической физики. – 2005. – № 3. – С. 22 – 25.

ния заключается в увеличении относительной скорости вращения сателлитов и, как следствие, увеличении скольжения в зубчатом зацеплении. Поэтому для получения достаточно большого передаточного отношения при высоком коэффициенте полезного действия целесообразно использовать многоступенчатые планетарные передачи – в результате коэффициент полезного действия оказывается выше, чем при реализации того же передаточного отношения в одной ступени.

Следующая причина выбора двухступенчатой передачи состоит в том, что оказывается возможным представить ее в виде быстроходной и тихоходной ступеней с различными модулями зубьев, что позволяет наиболее рациональным образом представить соотношение массы и габаритов передачи.

Новизна предложенной схемы подтверждается патентом РБ N 5960.

Передача состоит из быстроходной ступени, в качестве которой используется планетарная передача схемы K-H-V с разностью чисел зубьев в один или два зуба, и тихоходной ступени, в качестве которой используется трехколесный вариант планетарной передачи схемы 2K-H с плавающей центральной шестерней и тремя сателлитами. Применение плавающей шестерни упрощает конструкцию, так как не требуется установка соответствующего подшипника и при этом снижаются требования к точности изготовления зубчатых колес и, что еще более важно, позволяет распределить усилие, передаваемое сателлитами, на три потока. Обе ступени соединены между собой крестовой муфтой, или, в другом варианте – карданным валом оригинальной конструкции, также предложенным авторами.

Использование крестовой муфты или карданного вала позволяет в одной конструкции реализовать два необходимых условия существования механизма. Во-первых, съема движения с сателлита механизма K-H-V и, во-вторых, обеспечение передачи движения на плавающую центральную шестерню механизма 2K-H.

Предложенная схема реализована в нескольких опытных образцах, разработанных на кафедре ОПМ и отличающихся различными габаритами и передаваемой мощностью. Диапазон передаточных отношений 85–120, расчетная передаваемая мощность 350, 750, 2000 Вт. В малом варианте в быстроходной ступени использованы колеса с разностью чисел зубьев в два зуба и с модулем 1 мм и модулем 1,25 мм в тихоходной ступени. В среднем варианте в первой ступени использованы колеса с разностью чисел зубьев в два зуба и модулем 1,25 и модулем 1,6 мм в тихоходной ступени. Наконец в большом варианте в быстроходной ступени использованы колеса с разностью чисел зубьев в один зуб и модулем 1,5 мм и колеса с модулем 2 мм в тихоходной ступени.

УДК 539.3

ОБ АЛГОРИТМЕ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕРМОУПРУГОСТИ

А. И. ВЕРЕМЕЙЧИК, В. М. ХВИСЕВИЧ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Потребности современной техники во многих случаях требуют исследования напряженно-деформированного состояния конструкций, которые подвергаются воздействию механических нагрузок и изменяющихся во времени температур. Сложность геометрических форм конструктивных элементов наряду со сложным характером упомянутых воздействий требуют развития исследований нестационарных задач термоупругости, связанных со строгим удовлетворением граничных условий по всей границе области при произвольном распределении в ней температурных полей.

В настоящей работе нестационарной задачи термоупругости в случае произвольной геометрии границы области используется метод граничных интегральных уравнений (ГИУ), который реализован в 2 этапа. На первом этапе рассматривается краевая задача теплопроводности. С помощью преобразования Лапласа, формулы Грина и квадратурных формул путем разбиения границы на множество сегментов производится переход от системы интегральных уравнений к их дискретным аналогам – системе линейных алгебраических уравнений, решение которых позволяет определить значение температурного поля в любой точке области в зависимости от координат и времени. На втором этапе решается задача термоупругости. Для первой и второй краевых и начально-краевых задач получены интегральные уравнения, имеющие вид уравнений Фредгольма первого или второго рода. Для численного решения интегральных уравнений аппроксимируется геометрия рассматриваемой области и входящие в ГИУ краевые функции. Дискретные представления границы тела осуществляются с использованием конечных элементов различной формы, задаваемых с помощью функции формы. Аппроксимация по времени граничных функций осуществляется с помощью интерполяции относительно временных узлов на заданном интервале времени. В ходе пошагового продвижения по времени находятся неизвестные граничные перемещения и напряжения.

На основании построенного алгоритма разработана программа решения данной задачи на ПЭВМ с использованием Visual Fortran 5.0. Проведенное решение тестовых задач для ряда простых областей свидетельствует о высокой точности метода.

УДК 621.983.044

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Ж. А. ПОПОВА
Учреждение образования
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Барановичи, Беларусь

В данной статье рассмотрен возможный подход к решению задачи повышения стойкости деталей машин, т. к. стойкость – это свойство объекта сохранять свои параметры в пределах установленных допусков и выполнять свои функции во время и после внешних нагрузок, за счет выбора режимных параметров магнитно-импульсного упрочнения. Одним из основных факторов, влияющих на стойкость деталей машин, являются внутренние остаточные напряжения. Особый интерес в настоящее время в решении проблемы снижении внутренних остаточных напряжений представляют физические методы упрочнения, в частности методы, магнитно-импульсного упрочнения, вызывающие необратимые структурные изменения в обрабатываемом материале [1].

Сущность новой технологии магнитно-импульсного упрочнения состоит в том, что при магнитно-импульсном воздействии изменяются физические и механические свойства материала. Упрочнение свойств у ферромагнитных материалов, прошедших стадию магнитно-импульсного упрочнения, достигается за счет напряженной ориентации свободных электронов вещества внешним полем, вследствие чего увеличивается теплопроводность и электропроводность материала детали. Взаимодействие импульсного магнитного поля с деталью из токопроводящего материала происходит тем интенсивнее, чем выше структурная и энергетическая неоднородность вещества. Поэтому, чем выше концентрация поверхностных и внутренних напряжений в материале, тем больше вероятность локальной концентрации в них микровихрей внешнего поля, которые нагревают участки вокруг кристаллов напряженных блоков и неоднородностей структуры материала. В местах концентрации напряжений, связанных с технологией производства, обработки и эксплуатации детали, теплота, наведенная при магнитно-импульсном упрочнении вихревыми токами, частично уменьшает избыточную энергию составляющих кристаллов и зерен контакта напряженных участков [2]. Для определения напряженного состояния детали, необходимо учитывать физико-механические характеристики материала, тепловой эффект и геометрию зон контакта детали. На рис. 1. показана зависимость уровня внутренних напряжений детали от амплитуды значений ударного импульса.

его плавления, добавки оказывают другое влияние на процесс СВС. Выполненные измерения скорости распространения волны экзотермического синтеза подтвердили это положение. Установлено, что наибольшая скорость горения, а, следовательно, и активирующее действие характерны для добавок фторсодержащих соединений, в качестве которых использовали кремнефтористый натрий, криолит, фторид алюминия. При этом наибольшую активность проявляют фторид алюминия и кремнефтористый натрий, что связано с выделением газообразных фторидов при нагревании и развитием газотранспортного механизма переноса вещества. Степень влияния оксидных добавок, по-видимому, зависит не только от экзотермичности реакции добавок с алюминием, но и от протекающих дальнейших процессов. Так, например, диоксид титана, восстанавливаясь алюминием, может связываться с углеродом в карбид титана. Поэтому в большей степени повышает скорость реакции, чем термитая смесь ($Al + Fe_2O_3$), в которой выделяющееся при реакции железо не связывается в соединения. Различие в степени активирующего влияния борсодержащих соединений, тетрабората натрия и борной кислоты, объясняется большим содержанием реакционноспособного B_2O_3 в последней, и кроме этого, на плавление и разложение тетрабората натрия требуются большие затраты энергии. Карбонатные добавки в виде доломита и магнезита оказывают эквивалентное активирующее воздействие на процесс экзотермического синтеза, свидетельствующее о том, что в реакциях с участием данных соединений в смеси алюминия, кремнезема и углерода выделяется практически равное количество энергии.

Исследована микроструктура среза шамотной основы с нанесенным слоем СВС-покрытия. Пористая структура покрытия объясняется наличием газовыделения в процессе синтеза. Пористость в основном закрытая, поры неизометрической формы размерами 10 – 25 мкм. Кристаллическая структура представлена сростками различных форм и размеров.

Благодаря низкой теплопроводности из-за наличия пористой структуры, покрытие снижает воздействие высоких температур, а также их градиентов на материал основы. Таким образом, оно защищает материал основы от воздействия высоких температур и термоударов.

Как показали проведенные исследования, в качестве активатора СВС-процесса эффективно использование кремнефтористого натрия. Наибольшее увеличение адгезии получаемого покрытия (более чем в 3,5 раза) по сравнению с покрытием без добавок, наблюдается в случае применения добавок диоксида титана, оксида железа (III) и доломита, что говорит о взаимодействии их с компонентами СВС-смеси с образованием высокопрочных соединений. Полученные покрытия могут быть использованы для защиты алюмосиликатных огнеупоров от термоударов в термических агрегатах цветной металлургии. СВС-покрытия характеризуются хорошими адгезионными свойствами (0,95 – 2,96 МПа).

УДК 621.65.004

АНАЛИЗ ИЗНАШИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. М. ГОЛУБ, Ю. А. ДОБРИЯНИК
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Износ деталей технологического оборудования существенно влияет на технологический процесс цикла производства продукции. Число отказов оборудования главным образом определяет его надежность и долговечность. Поэтому одним из путей увеличения срока службы технологического оборудования является повышение износостойкости трущихся деталей. Если износостойкость деталей не будет достаточно высока, то возможно попадание продуктов износа в пищевой продукт и его потеря.

Разработка средств борьбы с изнашиванием деталей оборудования предприятий пищевой промышленности базируется на тщательном исследовании процесса износа, лабораторных и стендовых испытаниях. Особое внимание уделяется влиянию на процессы изнашивания специфических технологических сред пищевых производств.

Изучение износа и выявление наиболее изнашиваемых элементов трущихся деталей оборудования в условиях завода-изготовителя невозможно, поскольку вся номенклатура выпускаемого оборудования попадает потребителю в различные условия их эксплуатации. Основная информация о работе изделия поступает на завод с мест эксплуатации в виде опросных листов, в которых указаны сведения о работе изделия, его отказах в работе, периодичности ремонтов, сведения о наиболее изнашиваемых деталях, сроках службы, предложения по усовершенствованию конструкции и т.п. Оборудование работает в разнообразных средах: молочные продукты различные соки, вина, спирты, соусы, сыворотки, растительные масла и т.п., в том числе моющие средства. Для пищевой промышленности характерно наличие сред, обладающих агрессивным воздействием на материалы деталей и узлов оборудования. Так в молочной промышленности при нарушении технологического процесса или по другим причинам возможно образование молочной кислоты $C_3H_6O_3$ различной концентрации, оказывающей влияние на стойкость материалов деталей оборудования.

В качестве первой оценки наиболее изнашиваемых деталей оборудования нами проведен анализ опросных листов, пришедших с предприятий, эксплуатирующих установленное оборудование завода ОАО «БрестМаш». Наиболее часто встречающимся узлом в отказах насосов является узел уплотнения выхода вала из корпуса насоса – сальниковое уплотнение. Срок службы уплотнения в среднем составляет не более двух месяцев эксплуатации. Необходимость повышения износостойкости этого узла очевидна. С учетом требований сегодняшнего дня уплотнение необходимо выполнять

таким образом, чтобы оно надежно герметизировало выход вращающегося вала в любых условиях эксплуатации. Этим требованиям наиболее полно отвечают уплотнения торцового типа. Специфические условия эксплуатации роторных насосов, предназначенных для транспортирования вязких молочных и мясных продуктов, а именно: низкие обороты роторов (300-400 об/мин), невысокое давление на выходе (0,2 МПа) предполагают разработку конструкции торцового уплотнения, которая отвечала бы следующим требованиям: уплотнение должно быть компактным; простым в обслуживании; надежным в работе; быть гидравлически разгруженным (чтобы обеспечить надежную герметизацию при резких перепадах давления рабочей среды); технологичным в изготовлении.

Материалы для торцовых уплотнений следует оценивать по коррозионной стойкости к герметизируемой и внешней средам, а также с точки зрения их термической стойкости, по прочностным и антифрикционным свойствам. Неправильный выбор материалов пар трения для герметизирующих колец торцового уплотнения может привести к выходу их из строя.

Обеспечение герметичности торцовых уплотнений в статическом состоянии является одним из требований, предъявляемых к их работе. По сравнению с динамическим состоянием в статике отсутствуют процессы трения и изнашивания, теплообразования, инерционные силы и моменты, действующие на контактную пару трения. Предложена конструкция торцового уплотнения роторного насоса типа ОРА (рис. 1).

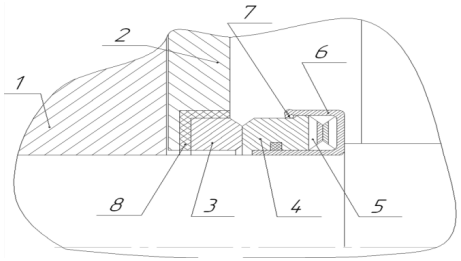


Рис. 1. Торцовое уплотнение типа ОРА

Конструкция при установке на насос содержит: ротор 1 насоса; корпус насоса 2; неподвижное контактное кольцо 3 пары трения; вращающееся аксиально-подвижное контактное кольцо 4; упругий элемент в виде тарельчатой пружины 5, корпус 6 уплотнения; стопорное кольцо 7; резиновые уплотнительные манжеты 8. Использование тарельчатой пружины существенно уменьшает размеры уплотнения.

Блок уплотнения изготавливается в заводских условиях и в готовом виде устанавливается в расточке корпуса насоса.

Технико-экономический эффект заключается в обеспечении надежности и долговечности уплотнения. Контактные кольца выполнены самоустанавливающимися, что снижает требования к точности изготовления деталей, а значит, удешевляет изделие.

УДК 621.793

ПОЛУЧЕНИЕ ОГНЕУПОРНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ФУТЕРОВОК ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

К. Б. ПОДБОЛОТОВ, Е. М. ДЯТЛОВА, О. Н. ТИШКЕВИЧ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Огнеупорные материалы, используемые в промышленных печах и нагревательных установках, подвержены различным видам разрушений, в частности для алюминиевого производства влияние алюминия на огнеупорные материалы заключается в химическом взаимодействии (возрастающем при введении легирующих добавок), эрозионном воздействии, термоударах (при закалке металла) и механическом воздействии (при загрузке слитков). Основным материалом футеровки термических печей являются огнеупоры на основе алюмосиликатов. Однако данные материалы имеют недостаточную термическую и химическую стойкость в расплавах, в связи с этим для предотвращения разрушения футеровки и увеличения межремонтного промежутка необходимо создание защитного слоя на поверхности огнеупора при использовании покрытий и обмазок.

Особый интерес для практического использования применительно к наиболее распространенным в промышленности алюмосиликатным огнеупорам представляют покрытия, полученные на основе системы Al – SiO2 – C по СВС-технологии. При реализации СВС в данной системе полученные покрытия состоят из огнеупорных фаз корунда, муллита и карбида кремния, что в значительной степени повышает защитные свойства покрытий.

Как показали исследования, при отсутствии активирующих добавок в условиях объемного нагревания смеси происходит окисление алюминия кислородом воздуха и дальнейшее реакционное взаимодействие его с кремнеземом затрудняется. В связи с этим, проводились исследования влияния добавок активаторов на интенсивность тепловыделения в смеси и скорости распространения фронта волны горения. В качестве добавок использовались неметаллические вещества в виде карбонатов магния и кальция, оксидов железа и титана, а также фторсодержащих и борсодержащих соединений.

В результате проведенных исследований установлено, что при объемном нагревании смеси наиболее сильное влияние на активацию СВС оказывают добавки кремнефтористого натрия, фторида алюминия и криолита. Остальные добавки воздействуют меньше, поскольку температура инициирования превышает температуру окисления алюминия кислородом воздуха, что не позволяет в данном случае инициировать реакции СВС.

Однако при импульсном режиме инициирования (например, термитным запалом), когда процесс окисления алюминия не успевает пройти до

Образование пигментов зеленого цвета в системе $Al_2O_3 – Cr_2O_3 – CdO$, вероятно, обусловлено тем, что ионы хрома стремятся занять положения в тетраэдрических вакансиях в шпинели. Увеличение содержания оксида хрома в составах масс приводит к формированию более насыщенного зеленого цвета.

При повышении содержания ионов хрома происходит насыщение и заполнение тетраэдрических вакансий в шпинели, и ионы хрома, заполнив тетраэдры, начинают более интенсивно заполнять октаэдры. Вероятно, происходит изоморфное замещение ионов Al^{3+}, имеющих ионный радиус 0,057 нм, на ионы Cr^{3+} с ионным радиусом 0,064 нм. Увеличение параметров элементарной ячейки обусловлено различием величины ионных радиусов ионов хрома и алюминия.

Согласно данным рентгенофазового анализа установлено, что наряду с формированием алюмохромовой шпинели, наблюдается образование шпинели состава $CdCr_2O_4$, а также твердый раствор $(Al,Cr)_2O_3$.

Установлено, что в результате синтеза пигментов при температуре более 1100 °С происходит переход γ, β-форм в α-Al_2O_3.

По мере повышения температуры синтеза наблюдается увеличение интенсивности дифракционных максимумов шпинели и снижение интенсивности пиков, принадлежащих оксидам кадмия и хрома, что связано с протеканием процессов фазообразования.

Незначительное количество фазы α-Al_2O_3 свидетельствует о незавершенности процесса образования шпинели. При изменении кристаллической структуры происходит образование твердых растворов $(Al, Cr)_2O_3$, благодаря близости ионных радиусов и зарядов замещаемых ионов.

Разработаны температурно-временные параметры синтеза и установлены количественные соотношения исходных компонентов шихт, обеспечивающих формирование цветонесущих фаз, высокую термическую и химическую стойкость. Установлены оптимальные составы с чистотой тона 45-60 %, кислотостойкостью к раствору 1 н. HCl 97,0-97,3 %. В результате проведения промышленных испытаний на ОАО «Керамин» получены положительные результаты. Пигменты разработанных составов могут быть рекомендованы для окрашивания глазурей, керамических масс, ангобов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пищ, И. В**. Керамические пигменты: учеб. / И. В. Пищ, Г. Н. Масленникова. – Минск: Вышэйшая школа, 2005. – 235 с.

2. **Пищ И. В.** Керамические пигменты на основе природных минералов / И. В. Пищ, Е. М. Барановская // Стекло и керамика. – 2007. – №5.– С. 10–13.

УДК 621.891.67

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ВАЛОВ ГИДРОМАШИН

В. М. ГОЛУБ, А. В. МАРТЫНОВ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Значительную долю основного технологического оборудования составляют насосные агрегаты, перекачивающие различные жидкости, большинство из которых являются агрессивными. Надежность работы насосных агрегатов и бесперебойная перекачка рабочих сред во многом определяется безотказностью уплотнительных устройств выхода вала из корпуса гидромашины. Согласно проведенного анализа по отказам технологического оборудования 70 % из них приходятся на отказы уплотнений валов.

В последнее время в качестве уплотнений валов, вместо сальниковых, широко используются уплотнения торцового типа.

Работа торцового уплотнения определяется режимом трения его основного элемента – пары трения, смазкой которого являются перекачиваемые жидкости, в большинстве своем не отвечающие требованиям, предъявляемым к смазкам узлов трения. Перекачиваемые среды часто содержат различные примеси в виде песка, механических частиц и различных сераорганических и хлорорганических солей и кислот, а также сопутствующих газов. Попадание механических частиц между контактными рабочими поверхностями в результате протекания и кристаллизации приводит к их царапанию и, следовательно, нарушению геометрии и герметичности пары трения.

При абразивном износе пары трения кольца из твердых материалов (сталь, керамика) изнашиваются в такой же степени, как и кольца из мягких материалов (углеграфит, пластмасса, бронза, латунь и др.).

Перекачиваемые по трубопроводу нефтепродукты (бензин, керосин, дизельное топливо) обладают плохой смазывающей способностью в виду их малой вязкости и высоким давлением насыщенных паров (для бензина 500…700 мм ртутного столба). В процессе работы уплотнения в указанных средах при повышенной температуре (353…363 °К) на контакте происходит разрушение (испарение) пленки жидкости и наступает сухой режим трения, приводящий к интенсивному износу колец, катастрофическим ростом температуры в контакте с потерей герметичности.

Наибольшее распространение для таких сред получили пары трения, одно кольцо которых изготовлено из чугуна или стали, с термообработанной поверхностью или с наплавкой износостойких материалов, керамики, твердых сплавов, а другое из углеграфитовых материалов или бронзы.

В качестве материалов, работающих в условиях сухого трения в агрессивных средах, находят применение материалы на основе фторопласта-4. Однако, необходимо учитывать, что фторопласт-4 имеет низкую теплопроводность и обладает текучестью. При больших контактных нагрузках или давлениях уплотняемой среды (более 1,0 МПа) кольца из фторопласта-4 получают большие остаточные деформации с изменением формы детали.

Высокой твердостью обладают минералокерамика, изготавливаемая из силикатных и алюмосиликатных минералов с большим содержанием окислов алюминия, кремния и металлокерамики на основе карбида вольфрама и титана.

Примером первых могут служить ЦМ-332 на основе Al_2O_3, стеатиты ТК-21, С-2, СК-1, СКМ-1 на основе $Al_2O_3 \cdot MgO$.

Твердые металлокерамические материалы, такие как литой карбид вольфрама ($WC+W_2C$), сплавы, содержащие карбиды вольфрама, титана с кобальтом марок ВК-6, ВК-8, Т15К6 и др. обладают высокой твердостью (HRA 90), однако не обладают высокой износостойкостью ввиду низкой теплопроводности материала. Металлокерамические твердые сплавы получают методами порошковой металлургии, включающие прессование смеси порошков с последующим спеканием в защитной среде. Однако, изготовление контактных колец из металлокерамических твердых сплавов затрудненно сложностью механической обработки.

Перспективным материалом для изготовления колец пар трения являются силицированные графиты, получаемые пропиткой графита жидким кремнием. Получили применение силицированные графиты марок: СГ-М, СГ-Т, СГ-П.

Технология обработки колец сложная и трудоемкая. Поэтому кольца контактные изготавливают в виде вкладышей. При обработке образуется много графитной пыли, что сказывается на здоровье станочника. Процент брака колец большой.

Высокими эксплуатационными показателями при работе уплотнений в средах содержащих механические примеси, обладает разработанный нами композиционный материал ТМ–1 на основе порошков карбида вольфрама с пропиткой медьсодержащей связкой. Нанесение износостойкого покрытия на контактные поверхности стальной заготовки позволяет упростить технологию изготовления контактных колец с высокими антифрикционными характеристиками.

Непрерывно возрастающие потребности производства в высоконадежном производительном оборудовании, повышение уровня автоматизации основных технологических процессов, настоятельно требуют поиска новых перспективных износостойких материалов и покрытий, экономичных методов повышения надежности и долговечности уплотнений валов гидромашин и гидроагрегатов.

УДК 666.293-522.53

СИНТЕЗ КЕРАМИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ ШПИНЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ В СИСТЕМЕ Al_2O_3 - Cr_2O_3-CdO

И. В. ПИЩ, Н. А. ГВОЗДЕВА
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

В настоящее время возрастает потребность в пигментах для окрашивания керамических масс, глазурей, флюсов, формирования цвета мастик, надглазурных и подглазурных керамических красок.

Актуальной задачей является получение пигментов чистых цветовых тонов, которые не изменялись бы при воздействии высоких температур. Синтез пигментов направлен на более полное внедрение в кристаллические решетки-акцепторы шпинелей, муллита, корунда, красящих ионов и получение твердых растворов [1]. Достигается это путем изоморфного замещения ионов, входящих в кристаллическую решетку, на ионы переходных металлов (Cr^{3+}, Fe^{3+}, Ni^{2+}, Co^{2+}, Mn^{2+} и др.). Изменение окраски пигмента обусловлено поглощением света за счет d-d-переходов электронов, либо за счет переноса заряда. Вхождение в кристаллическую решетку перечисленных ионов обеспечивается твердофазными реакциями при температурах (1100…1300 °С). Условием изоморфного замещения является близость значений ионных радиусов и зарядов ионов [2].

Цель работы – разработка способов направленного регулирования процессов структуро- и фазообразования для синтеза пигментов шпинельной структуры, обладающих высоким коэффициентом отражения света, повышенной термической и химической стойкостью, установление взаимосвязи температурно-временных параметров синтеза, содержания оксидов-хромофоров с типом и количеством формирующихся цветонесущих фаз, обеспечивающих насыщенную окраску и широкую цветовую гамму пигментов, синтезированных в системе Al_2O_3 - Cr_2O_3-CdO.

Синтез пигментов осуществлялся с использованием технического глинозема (Al_2O_3), оксидов CdO и Cr_2O_3. Порошки исходных компонентов подвергались тщательному совместному измельчению и перемешиванию. Подготовленные образцы обжигали в электрической печи при температурах 1000 ºС, 1100 ºС, 1200 ºС с выдержкой 1 час.

Установлено, что оптимальной является температура 1200 ºС, при которой получены пигменты средней плотности, имеющие насыщенную окраску светло-зеленого, зеленого, салатового, коричневого, серого цвета.

модифицированных резин коэффициент трения долгое время остается постоянным, сохраняет свое предельно низкое значение. Изучение дорожек трения на резиновых образцах и на поверхности стального контртела показал, что нанесение на поверхность резинового образца АПП изменяет механизм изнашивания резинотехнических изделий. Износ исходных резин происходит по усталостному механизму изнашивания. На поверхности таких образцов наблюдаются скатки и вырывы. Установлено, что изнашивание РТИ с твердым алмазоподобным покрытием на поверхности происходит по адгезионному механизму.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что механизм снижения коэффициента трения у модифицированных резин при трении без смазки может быть объяснен тем, что в процессе испытаний возможна частичная графитизация монокристаллического углерода. Этот процесс связан с тем, что азот присутствует на поверхности углеродного покрытия, главным образом, в виде групп типа C-N-0H, что может способствовать трибопревращениям sp1 – связей, характерных для линейно-цепочечного углерода, в sp2 – связи, характерные для графита. Указанные превращения могут вызывать снижение трения за счет характерного для графита эффекта самосмазывания. Твердый слой алмазоподобного покрытия в процессе трения долго не разрушается, графитизация происходит непрерывно на поверхности покрытия. Испытания резин с нанесенным на поверхность графитом таких результатов не показали.

После периода приработки, на стадии стационарного трения, коэффициент трения f = 0,3 и интенсивность изнашивания РТИ оставались стабильно низкими. Это можно объяснить регулярным микропревращением алмазоподобного углерода в графитоподобный, о чем свидетельствует незначительная установившаяся температура в зоне трения 30 °С.

В большинстве случаев триботехнические свойства АПП обеспечивались слоями переноса, образующимися в процессе трения. Слои переноса оказывали смазывающее действие и их образование можно увеличить в присутствии водорода или уменьшить в присутствии воды или кислорода.

УДК621.83

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ НОВЫХ ТИПОВ

П. С. ГОНЧАРОВ, Е. Г. КРИВОНОГОВА
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В настоящее время при создании новой техники все чаще прибегают к средствам компьютерного моделирования:

– создание двухмерных чертежей деталей и узлов изделия;

– создание трехмерных моделей и сборок составляющих узлов;

– создание математических моделей изделия.

Компьютерное моделирования уже на ранней стадии проектирования позволяет выявить слабые места у создаваемой конструкции и устранить их, не прибегая к дорогостоящим средствам (изготовление новых деталей и узлов). Компьютерное моделирование обеспечивает существенное сокращение сроков проектирования технических изделий, в том числе и механических передач новых типов. Помимо этого средствами компьютерного моделирования можно определить основные параметры изделия (для механических передач – КПД, кинематическая погрешность, реакции в подшипниковых опорах и прочностной расчет).

Для создания и исследования компьютерных моделей ППП использовалась САПР SolidWorksи приложение CosmosMotion. Опишем последовательность настройки приложения CosmosMotion для определения основных параметров передачи.

Приложение CosmosMotion использует созданную ранее компьютерную модель передачи, что значительно упрощает процесс исследования. Перед экспортом сборки компьютерной модели в приложение CosmosMotion необходимо проверить ее на наличие интерференции, которое негативно сказывается на процессе расчета и достоверности полученных результатов.

Далее на компьютерную модель «накладываем» необходимые взаимосвязи:

– в подшипниковых опорах устанавливаем RevoluteJoint между сопрягающимися элементами;

– на контактирующие звенья передачи (зубчатое зацепление) устанавливаем Contact3D.

В настройках Contact3D устанавливаем материал контактирующих звеньев, а также коэффициенты статического и динамического трения для обеспечения требуемой входной частоты вращения задаем Motion к входному звену передачи. Далее в настройках «Motion» указываем, что вра-

щение осуществляется вокруг оси OZ с постоянной угловой скоростью, равной требуемой частоте вращения входного вала передачи в единицах измерения град/с. Для задания выходного момента сопротивления назначение Action-OnlyForce, в настройках указываем, что момент сопротивления является постоянной функцией и имеет требуемое значение в Н·мм.

На закладке «World» определяем единицы измерений времени и силы, а также направление силы тяжести. Навкладке «Simulation» устанавливаем время работы модели и количество расчетных кадров.

После установки всех настроек запускаем расчет. Результаты расчета хранятся в файле сборки передачи. Для обработки и анализа расчетных данных производим экспорт в MSExcel и строим необходимые зависимости.

КПД передачи определяется из соотношения:

$$\eta = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{M_1 \cdot \omega_1};$$

где M_2 – момент на выходном валу передачи; M_1 – момент на входном валу передачи; ω_2 – угловая скорость на выходном валу передачи; ω_1 – угловая скорость на входном валу передачи.

Значения, входящие в формулу КПД определяются следующим образом: M_2 – задается при проведении исследования (значение момента определяется исходя из условий эксплуатации передачи) значение Action-Only на вкладке параметры; M_1 – определяется программным способом исходя из параметров передачи (кинематической погрешности, контактных взаимодействий и др.); ω_2 – определяется программным способом исходя из параметров передачи (передаточного отношения, кинематической погрешности и др.), а также входной угловой скорости. Снимается с Revolute установленной на выходном звене;ω_1 – задается при проведении исследования (значение угловой скорости определяется исходя из условий эксплуатации передачи).

Т.е. для определения КПД передачи достаточно определить только параметрыM_1 и ω_2. Данные параметры «снимаются» с Motion и Revolute, которая установлена на выходном звене передачи.

По данной методике определяется и кинематическая погрешность. Для расчета которой необходимо определить только угловую скорость выходного звенаω_2, экспортировать в MS Excelи произвести обработку данных.

Для построения графиков реакций опор производим экспорт соответствующих Revoluteиспользуя характеристику Force по компоненту Magnitude.

Прочностной расчет механических передач новых типов можно произвести в среде Ansys Workbenchc помощью Static Structural, последовательно выполнить ряд действий получить в итоге численное значение контактных напряжений.

УДК 621.921.34

СВОЙСТВА АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ

С. В. ПЕТРОВ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
Гомель, Беларусь

Особенностью развития современного машиностроения является использование различных технологических методов, обеспечивающих надежную работу узлов трения, в том числе резинометаллических, эксплуатирующихся, как правило, в сложных условиях. Одним из технических решений, позволяющим повысить работоспособность резиновых уплотнений, является модифицирование поверхности готового резинотехнического изделия различными методами, в частности нанесением алмазоподобных покрытий (АПП) на резиновые уплотнения.

Нанесение АПП на резиновые образцы на основе бутадиен-нитрильного каучука осуществлялось с помощью источника плазмы импульсного катодно-дугового разряда с центральным электродом из графита, являющимся катодом, который испарялся в процессе сильноточного дугового импульсного разряда по следующим режимам: количество импульсов N = 7500; время нанесения t = 25 мин; частота 5 Гц; давление P = 0,059 Па.

Исходные и модифицированные образцы испытывались без смазочного материала по схеме торцевого трения. Для этого использовалась машина трения 2070 СМТ-1 с приспособлением для торцевого трения. Режимы испытаний: скорость v = 0,25 м/с; давление в зоне контакта P = 0,03 МПа, время испытаний $t_{исп}$ = 90 мин. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты испытаний резинотехнических изделий

Образец	Коэффициент трения f	Температура в зоне трения T °C	Интенсивность износа контртела, г/мин	Интенсивность износа образца, г/мин
Исходный	4,13	49-81	$1{,}29\times10^{-4}$	$0{,}67\times10^{-4}$
Покрытие АПП	0,3	21-30	$0{,}0778\times10^{-4}$	$0{,}0389\times10^{-4}$

Результаты испытаний показали, что нанесение АПП приводит к заметному уменьшению: коэффициента трения (в 12 раз), интенсивности изнашивания резинового образца (в 17 раз), интенсивности изнашивания контртела (в 16,5 раз), температуры в зоне трения (в 2,7 раз). При этом у

риалов в виде покрытий, получаемых методами осаждения, представляет научный и практический интерес.

Среди существующих методов осаждения, наибольший интерес представляют методы химического (CVD), физического (PVD) и плазменно-химического (PCVD) осаждения.

Целью данной работы является изучение структуры и физико-механических характеристик алмазоподобных покрытий, сформированных методом плазменно-химического осаждения (PCVD).

Алмазоподобные покрытия формировались на поверхности углеродистой стали 45. Покрытия формировали путем осаждения из импульсной плазмы катодно-дугового разряда (PCVD) в среде паров углеводородов (ацетилен, метан, пропан). Толщина алмазоподобного покрытия составляла не более 2 мкм. В ряде случаев, для проведения модельных экспериментов в качестве подложки использовали полированные пластины из германия. Изучение структуры сформированных покрытий проводили на ИК-спектрофотометре TENZOR-27. Физико-механические характеристики покрытий определяли на микротвердомере ПМТ-3, при m=150 г. Поверхностную активность покрытий изучали с помощью прямо-теневого метода по величине изменения краевого угла смачивания. Для определения поверхностной энергии покрытий использовали полярную жидкость – воду и неполярную жидкость – вазелиновое масло. Для придания покрытиям гидрофобных свойств проводилась трехкратная обработка в 2 % растворе фторсодержащих олигомеров в хладоне. Технологические параметры эксплуатации покрытий моделировали температурной обработкой в интервале от 293 до 573 К в течение 1 часа.

В ходе исследований была изучена структура и морфология алмазоподобных покрытий, сформированных импульсным катодно-дуговым методом на образцах из стали 45. Установлено наличие полос поглощения относящихся к колебаниям групп C–C; C=C; деформационным и валентным колебаниям групп C–H. В зависимости от режимов формирования покрытий наблюдается образование как мелкодисперсной, так и крупнодисперсной структуры, что в конечном счете сказывается на физико-механических и прочностных характеристиках. Превышение режимов термообработки свыше 573 К приводит к деструкции покрытия с поверхности стальной подложки. Обработка покрытий фторсодержащими олигомерами приводит к увеличению гидрофобности покрытий и уменьшению значений поверхностной энергии. Установлено, что покрытия, имеющие крупнодисперсную структуру, обладают более высокими прочностными характеристиками. Проведение термообработки приводит к увеличению микротвердости композиционных покрытий.

УДК 621.83

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ФРИКЦИОННОГО ТИПА

П. Н. ГРОМЫКО, В. И. ЛЯБИК, Т. Г. ДОКОНОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Прецессионные передачи фрикционного типа выделяются малогабаритностью с возможностью трансформировать вращение с большими значениями передаточных отношений.

Структурная схема прецессионной передачи типа K-H-V изображена на рис. 1.

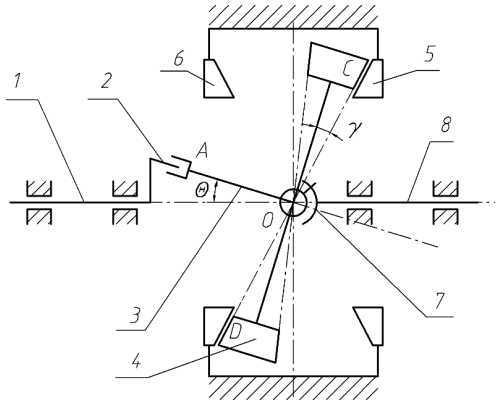


Рис. 1. Схема прецессионной передачи фрикционного типа K-H-V

Принцип работы прецессионной передачи фрикционного типа заключается в следующем. Вращение от входного вала 1 передается на жестко связанный с ним кривошип 2. С кривошипом 2 составляет вращательную пару левая часть оси 3, а правая часть оси 3 составляет сферический шарнир в точке О. Одновременно ось 3 жестко связана с сателлитом 4. Сателлит 4 представляет собой конический диск с обратным углом конуса γ. Вращение кривошипа 2 приводит к обкатыванию конических поверхностей сателлита с внутренними коническими поверхностями 5 и 6 неподвижного корпуса фрикционной передачи. Благодаря обкатыванию, сателлит 4 совершает вращательное движение вокруг оси ОА, которое с помощью угловой муфты 7 передается на выходной вал 8.

Одним из преимуществ данной схемы является использование принципа многоконтактности, т.е. передача мощности осуществляется двумя

контактными зонами (на рис. 1 данные зоны обозначены символами C и D). Следует отметить, что предлагаемая схема фрикционной передачи является симметричной с замыканием усилия нажатия и разгрузкой от них входного и выходного валов, что позволяет уменьшить массогабаритные показатели передачи.

Механизм передачи, выполненный по данной схеме, относится к планетарным, что обеспечивает значительные передаточные отношения передаче и позволяет при этом получать компактные конструкции.

На основе структурной схемы, показанной на рис. 1, получим формулу для определения передаточного отношения механизмов данного типа.

Скорость точки A (V_A) исходя из заданной угловой скорости входного вала 1 (ω_1) может быть определена

$$V_A = \omega_1 \cdot OA \cdot \sin\theta . \quad (1)$$

С другой, учитывая, что сателлит совершает сферическое движение и при этом мгновенная ось его вращения – это ось ОД, скорость V_A может быть подсчитана по следующей формуле

$$V_A = \omega_4 \cdot OA \cdot \sin(9\theta - \gamma) , \quad (2)$$

где ω_4 – угловая скорость сателлита 4.

Проекцию угловой скорости ω_4 на ось вращения входного вала ω_8 получим из следующего выражения

$$\omega_8 = \omega_4 \cdot \cos(9\theta - \theta - \gamma) . \quad (3)$$

$$\omega_4 = \frac{\omega_8}{\cos(9\theta - \theta - \gamma)} ; \quad (4)$$

$$\omega_1 \cdot \sin\theta = \frac{\omega_8 \cdot \sin(90 - \gamma)}{\cos(9\theta - \theta - \gamma)} ; \quad (5)$$

Отношение угловых скоростей ω_1 и ω_8 составляет передаточное отношение механизма, показанного на рисунке 1.

$$\frac{\omega_1}{\omega_8} = \frac{\sin(90 - \gamma)}{\cos(9\theta - \theta - \gamma) \cdot \sin\theta} ; \quad (6)$$

$$i = \frac{\cos\gamma}{\sin(\theta + \gamma) \cdot \sin\theta} . \quad (7)$$

Таким образом, выражение (7) позволяет определить передаточное отношение прецессионной передачи фрикционного типа, схема которой показана на рис. 1.

Следует отметить, что на настоящий момент на основе проведенных исследований удалось доказать, что при передаточном отношении 200 и более возможна трансформация вращающего момента порядка 50 Нм. Это доказывает то, что область применения разработанных прецессионных передач фрикционного типа не может ограничиваться чисто кинематическими приводами. Они могут использоваться и в силовых механизмах.

УДК 621.921.34

АЛМАЗОПОДОБНЫЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

Е. В. ОВЧИННИКОВ, *В. А. СТРУК, Н. М. ЧЕКАН, Е. И. ЭЙСЫМОНТ
УМЦ «Промагромаш» ОАО «Белкард»
*Учреждение образования
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Янки Купалы»
Гродно, Беларусь

В настоящее время большое внимание уделяется методам получения сверхмелкозернистых объемных и дисперсных материалов. Было обнаружено, что уменьшение размера структурных элементов (частиц, кристаллитов, зерен) материалов, ниже некоторой пороговой величины приводит к существенному изменению физико-механических свойств.

Такие свойства появляются, когда средний размер зерен у материалов менее 40 нм, и которые, согласно классификации веществ и материалов, принято называть нанокристаллическими. Анализ результатов показывает, что помимо размеров зерен, важную роль в нанокристаллических материалах играют структура и состояние границ разделов зерен. Это влияние особенно для таких материалов, в которых границы разделов зерен находятся в неравновесном состоянии (интерметаллические соединения), что приводит к самопроизвольной релаксации таких границ, даже при комнатной температуре, ростом зерен. Необходимо также отметить, что и сами зерна могут содержать различные дефекты (вакансии, дислокации, комплексы их), количество и распределение которых качественно иное, чем в крупных зернах. Для формирования таких металлических материалов в основном используются такие методы, как интенсивная пластическая деформация, кристаллизация аморфных сплавов, компактирование порошков и т.д. Однако, аналогичные по составу, но микрозернистые по структуре, можно получать эти материалы в виде нанокристаллических и нанокомпозитных многокомпонентных и многослойных покрытий на основе боридов, силицидов, нитридов, карбидов и пр. При этом может формироваться зеренная структура с различной степенью структурной неравновесности, спектром разорентации, дефектностью и разным химическим составом границ. Установлено, что образование таких структур связано с сегрегацией одной фазы к границам другой. При этом твердые зерна не внедрены в матрицу другой фазы, а отделены друг от друга или покрыты очень тонким слоем сегрегированных атомов второй фазы. Тем не менее, перечисленные структурные модели не в полной мере отражают структурные виды покрытий на основе соединений металл-неметалл. Поэтому, изучение закономерностей формирования нанокристаллических, нанокомпозитных мате-

Анализируя полученные данные измерений, можно утверждать, что увеличение твердости покрытий происходит за счет действия режимов МЭШ. В процессе обработки поверхностный слой газотермического защитного покрытия подвергается термическому и электроэрозионному воздействию технологического тока, силовому воздействию зерен абразивного круга, а также энергии внешнего магнитного поля. В процессе обработки происходит удаление дефектного слоя, уменьшается шероховатость поверхности, происходит оплавление поверхностного слоя упрочняющего покрытия.

С изменением значений технологического тока I = 15…20 А твердость покрытия резко увеличивается. Это связано с тем, что в поверхностном слое покрытия образуется мелкозернистая структура и происходит перераспределение карбидной и боридной фаз в никелевой матрице.

С дальнейшим увеличением значения технологического тока с 25 до 30 А твердость покрытия резко уменьшается. Это связано с реализацией в зоне обработки больших мощностей, что приводит к перегреву материала покрытия, химическому изменению в его поверхностном слое и образованию оксидных соединений. Анализируя результаты экспериментальных данных, выделены следующие параметры режимов МЭШ, при которых твердость покрытия достигает максимального значения (табл.1).

Табл. 1. Значения режимов МЭШ, при которых достигается максимальная твердость покрытия

Твердость, *HRA*	Шероховатость поверхности *Ra*, мкм	*n*, мин$^{-1}$	*S*, мм/мин	*I*, А	*t*, мм	*B*, Тл
52–56	1,15	2000	120	20	0,025	-
59,3–61	1,5	2000	2800	15	0,005	0,01
59–63	1,58	4000	120	5	0,05	0,01
61–63	0,49	4000	2800	5	0,005	0,01
60,3–62	1,47	4000	2800	5	0,05	0,15
55–58	2,0	4000	2800	15	0,005	0,2
56,3–60	0,57	3000	120	10	0,025	0,15
57,7–60	1,2	3000	1400	10	0,025	0,01

УДК 621.833.68

ПАРАМЕТРЫ ПРОТИВОВЕСОВ ДЛЯ ПОЛНОЙ БАЛАНСИРОВКИ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЛАВНОРЕГУЛИРУЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ

А. М. ДАНЬКОВ, А. А. ГОРБАЧЕВ, И. М. ЛОБОРЕВ, Ю. М. РЕУТ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

При полной балансировке планетарной плавнорегулируемой передачи особую важность имеет вопрос, способны ли основной и дополнительный противовесы обеспечить полную балансировку сателлита во всем диапазоне изменения значений радиуса $\boldsymbol{r_s}$ кривошипа. Анализ возможностей возможной конструкции передачи удобно провести на примере, в котором масса сателлита принята равной $\boldsymbol{m_s}$ =2,522 кГ, радиус кривошипа принимает значения $\boldsymbol{r_s}$ = 4,5; 13,5; 22,5; 31,5; 40,5 мм. Приняв значения радиусов сателлита и противовесов одинаковыми $\boldsymbol{r_s} = \boldsymbol{r_b} = \boldsymbol{r_c}$ = 40,5 мм; привязки противовесов $\boldsymbol{l_s}$ = 85 мм; $\boldsymbol{l_b}$ = 51 мм и воспользовавшись известным алгоритмом балансировки, определим массы основного и дополнительного противовесов, которые будут равны $\boldsymbol{m_b}$ = 4,203 кГ и $\boldsymbol{m_c}$ = 1,681 кГ. Предположим, что радиус кривошипа и радиус основного противовеса относительно оси ведущего вала изменяются по одному закону, и в соответствии с упомянутым алгоритмом при постоянных массах сателлита, основного и дополнительного противовесов определим значения радиуса дополнительного противовеса. Приведенные на рис. 1 результаты подтверждают, что радиус дополнительного противовеса относительно оси ведущего вала изменяется по тому же закону, что и радиусы кривошипа и основного противовеса.

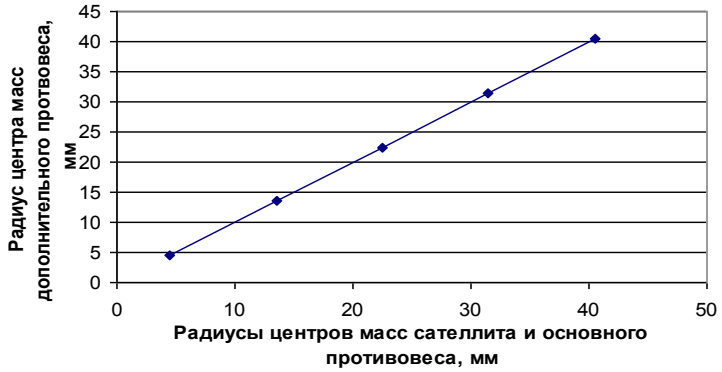


Рис. 1. Изменение радиуса центра масс дополнительного противовеса

Руководствуясь естественным стремлением уменьшить массы противовесов, примем исходные (минимальные) значения радиусов r_s = 4,5 мм; r_b = 9 мм; r_c = 12 мм. Тогда при неизменной массе сателлита получим значение массы основного противовеса m_b = 2,101 кГ, а дополнительного – m_c = 0,631 кГ, что представляется значительно более приемлемым, чем в первом случае. Если при этих условиях принять величины перемещений сателлита и противовесов одинаковыми, то для обеспечения полной балансировки сателлита массы противовесов должны принимать значения в соответствии с графиками на рис. 2.

Изменение массы противовесов в процессе функционирования передачи представляется весьма проблематичным. То, что даже максимальные значения масс противовесов меньше, чем в первом случае, представляется недостаточным стимулом для решения этой проблемы. Радиусы подвижных элементов при этом также изменяются, что не представляется неприемлемым, и конструктивно вполне осуществимо.

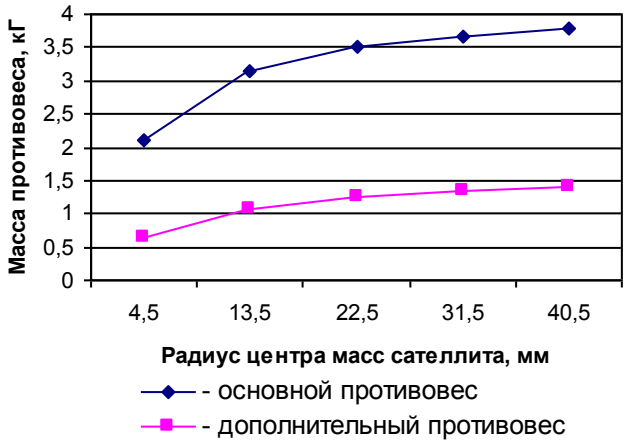


Рис. 2. Изменение массы противовесов при различных исходных значениях центров масс и их одинаковых изменениях по величине

Объективно существует принципиальная возможность сохранить постоянными минимальные значения масс противовесов, но при этом законы изменения радиусов всех подвижных элементов должны быть одинаковыми, например, двукратное увеличение радиуса кривошипа повлечет за собой двукратное увеличение радиусов противовесов при неизбежном неравенстве абсолютных величин их перемещений. Реализация таких изменений радиусов подвижных элементов осуществима, но приведет к усложнению конструкции передачи.

УДК 621.9.048.4.06.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

М. В. НЕРОДА
Учреждение образования
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Барановичи, Беларусь

Развитие технологий восстановления поверхностей деталей машин газотермическими защитными покрытиями, обладающими высокой прочностью, твердостью и малой вязкостью, существенно повышает роль шлифования для их обработки.

Магнитно-электрическое шлифование (МЭШ), представляет собой способ комбинированной электрофизической обработки, при котором производится совмещение микрорезания абразивными зернами с электроконтактными и электроэрозионными воздействиями на обрабатываемую поверхность при наложении на зону обработки магнитного поля.

Эксплуатационные свойства детали зависят от твердости поверхности, восстановленной упрочняющими покрытиями. В данной работе рассмотрено влияние режимов МЭШ на твердость напыленных поверхностностей газотермических упрочняющих покрытий из самофлюсующихся материалов марок ПГ-СР4 и ПГ-СР2. Для измерения твердости поверхности покрытия использовали твердомер модели ТКС–1М.

Изменение твердости газотермических упрочняющих покрытий до и после обработки МЭШ показана на диаграмме (рис. 1). Из диаграмм видно, что твердость поверхностного слоя газотермических упрочняющих покрытий после обработки МЭШ при различных режимах изменяется.

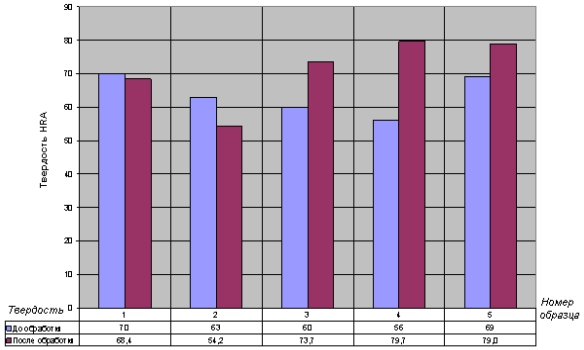


Рис. 1. Диаграмма изменения твердости газотермического упрочняющего покрытия ПГ-СР2 до и после обработки МЭШ

Электрическое сопротивление dR элементарного участка микровыступа высотой dl определяется по формуле

$$dR = \rho \cdot \frac{dl}{S}, \qquad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление микровыступа (для никеля $\rho=7{,}3\cdot10^{-8}$ Ом·м); l – элементарная высота микровыступа, м; S – площадь поперечного сечения микровыступа, м^2.

Площадь поперечного сечения микровыступа можно определить по формуле

$$S = \pi r^2 = \pi\left(l \cdot tg\beta\right)^2 \qquad (2)$$

где r – радиус, м; β – угол при вершине конуса, град.

Подставляя уравнение (2) в (1) и интегрируя его по высоте микровыступа h, получим формулу для определения электрического сопротивления конуса или сопротивление участка микровыступа $R_{уч}$ поверхности упрочняющего покрытия:

$$R_{уч} = \frac{\rho}{\pi tg^2\beta}\left(\frac{1}{h_1} - \frac{1}{h_2}\right), \qquad (3)$$

где h_1, h_2 – начальная и конечная высоты, ограничивающие участок микровыступа, м.

Теплота, выделяемая при прохождении технологического тока через микровыступ в единицу времени, определяется по формуле

$$d\Theta = I^2 R_{эл} dt. \qquad (4)$$

Так как площадь поперечного сечения участка микровыступа у вершины $S_в$ меньше, чем у основания $S_о$, то значение электрического сопротивления при вершине конуса будет соответственно больше, чем у основания. Следовательно, значение теплоты, выделяемой на вершине микровыступа $d\Theta_в$ будет выше, чем теплота, выделяемая у его основания $d\Theta_о$. Поэтому при МЭШ происходит оплавление вершин микронеровностей.

В результате оплавления шероховатость поверхности уменьшается, т.к. выступы становятся более пологими, увеличивается площадь опорной поверхности упрочняющего покрытия, что оказывает влияние на его эксплуатационные свойства.

УДК 621.866.12

СВЯЗИ МЕЖДУ ДЛИНАМИ ЗВЕНЬЕВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А. В. ДЕМОКРИТОВА, В. Н. ДЕМОКРИТОВ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Ульяновск, Россия

Ранее был рассмотрен основной алгоритм оптимизации рычажного механизма. Один из последних его этапов – варьирование длин звеньев был только назван.

В настоящей публикации описаны связи между длинами звеньев, входящие в систему ограничений.

Пусть имеется рычажный подъемник в виде четырехзвенника (рис. 1), где груз навешивается в точке B_0, а после поворота кривошипа $OA = r$ и балансира $BC = r$ отцепляется в точке B_1, после чего кривошип продолжает вращение, а качающийся балансир возвращается в исходное положение.

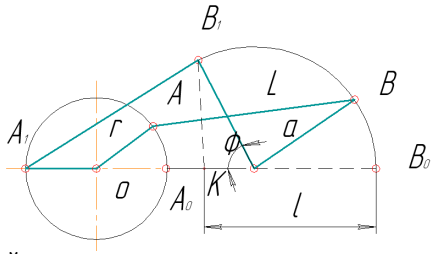


Рис. 1. Шарнирный четырехзвенник

При таком замысле расстояние между центрами вращения кривошипа и балансира $OC = r + L - a$ (1)

Для полного поворота кривошипа необходимо $r + OC \prec L - a$, откуда с учетом (1)

$$r \prec a \qquad (2)$$

Соотношения (1) и (2) учитываются при варьировании длин звеньев.

Представляет интерес определения расстояния KB_0 между точками навешивания и отцепления груза.

Из $\Delta A_1 B_1 C_1$ по теореме косинусов

$$L^2 = a^2 + (r + OC)^2 - 2a(r + OC)\cos\varphi,$$

откуда

$$\cos\varphi = \frac{a^2 + (r + OC)^2 - L^2}{2a(r + OC)}.$$

Тогда искомая величин

$$KB_0 = l = a(1 + \cos\varphi). \qquad (3)$$

Если l задано, то входит в систему ограничений при вариации длин. Если l не задано, то оно определяется после оптимизации.

УДК 620.004.5

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОВАЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ НА ОСНОВЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

А. В. ДРАГАН
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

Признанная актуальность проблемы повышения эффективности и достоверности оценки технического состояния механических приводов на основе зубчатых передач требует постоянного совершенствования методов и средств диагностики. На сегодняшний день в ходе многолетних исследований убедительно доказана высокая информативность виброакустических сигналов в качестве диагностических параметров, что привело к созданию целого ряда методов и средств для решения отмеченных задач. В то же время следует отметить, что наряду с рядом несомненных достоинств средств виброакустической диагностики, имеется все еще значительный резерв для повышения их эффективности, обусловленный чрезвычайно быстрыми темпами развития средств электроники, на основе которых они создаются. Также можно отметить необходимость создания инженерных прикладных методик диагностики и мониторинга механических приводов, недостаток которых сдерживает широкое применение виброакустической диагностики в промышленных условиях.

Принимая во внимание отмеченное, в университете проводятся исследования, направленные на дальнейшее развитие данного направления. С использованием современного многофункционального аппаратно-программного комплекса для исследования и диагностики механических систем по виброакустическим и кинематическим параметрам (далее – комплекс) в ходе экспериментальных работ разработаны методики мониторинга и диагностики зубчатых колес и пар в составе многовальных механизмов.

Для проверки эффективности результатов проведен ряд экспериментов на различных по сложности и конструкции объектах (коробках скоростей привода главного движения металлорежущего оборудования, коробке передач производства МЗКТ), при этом на объектах устанавливались в различных сочетаниях зубчатые колеса, на которых был смоделирован ряд таких распределенных и локальных дефектов как погрешность профиля в результате изготовления или износа, дефект части и поломка целого зуба.

Для учета непостоянства частоты вращения, характерного для эксплуатационных условий, затрудняющего анализ спектральных характери-

УДК 621.9.048.4.06

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТОКА ПРИ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ШЛИФОВАНИИ (МЭШ) НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

М. В. НЕРОДА, Н. М. ЦИОНЕНКО
Учреждение образования
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Барановичи, Беларусь

Технологический ток при МЭШ оказывает влияние на формирование шероховатости поверхности упрочняющих покрытий. Из профилограмм поверхностей упрочняющих покрытий, полученных традиционным шлифованием и после МЭШ видно, что микровыступы во втором случае более пологие, чем в первом (рис. 1). Это связано с тем, что в результате МЭШ при прохождении технологического тока через микровыступы происходит их оплавление.

а) б)

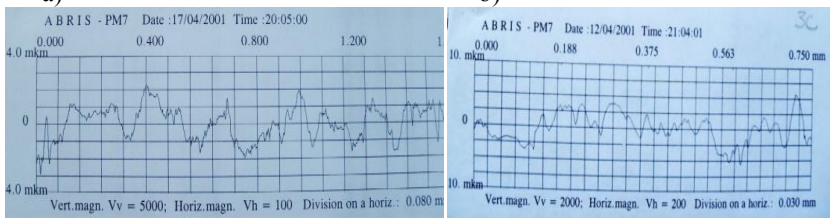


Рис. 1. Профилогаммы поверхности газотермического упрочняющего покрытия из самофлюсующегося материала марки ПГ-СР4 после обработки традиционным шлифованием (а) и после МЭШ (б)

Для объяснения явления оплавления микровыступа поверхности упрочняющего покрытия представим его в виде конуса с геометрическими размерами, показанными на рис. 2.

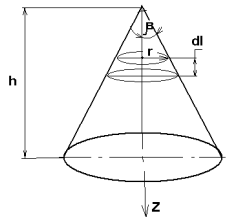


Рис. 2. Микровыступ профиля упрочняющего покрытия, представленный в виде конуса

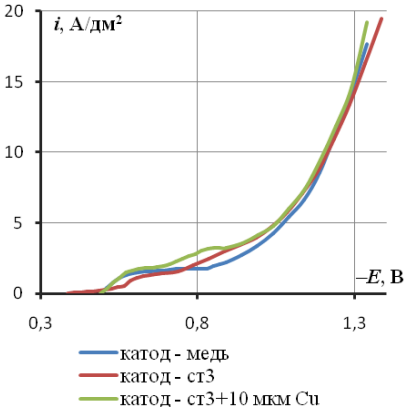


Рис. 1. Катодные поляризационные кривые на различных катодах

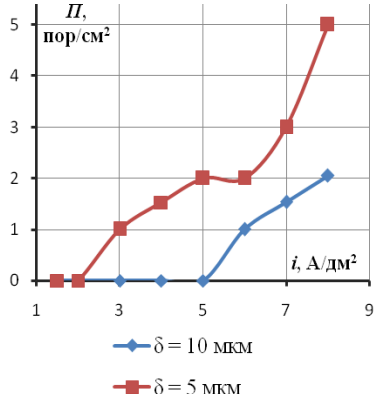


Рис. 2. Зависимость пористости покрытия от катодной плотности тока

Проведение поляризационных исследований на различных марках стали позволило сделать вывод о влиянии количества углерода на кинетику катодного процесса. Таким образом, увеличение количества углерода в стали приводит к смещению потенциала катода в более электроотрицательную сторону, что должно приводить к улучшению структуры полученных покрытий.

Проведение измерений в ячейке Хулла позволило определить диапазон рабочих плотностей тока, при котором получаются удовлетворительные по качеству покрытия. Для данного электролита этот диапазон находится в интервале 1,5–8 А/дм^2.

Как видно из рис 2, при увеличении плотности тока происходит увеличение пористости покрытия, при этом увеличение пористости покрытия толщиной 10 мкм начинается при плотности тока равной 5 А/дм^2. Увеличение пористости связано с увеличением зерен кристаллов металла и уменьшением выхода по току, при увеличении катодной плотности тока.

Таким образом, применение данного электролита позволяет получать гладкие, равномерные покрытия с минимальной пористость при плотности тока до 6 А/дм^2.

стик колебательных процессов при работе привода и проявляющегося в нечеткости спектров, в программной системе комплекса предусмотрена функция синхронного накопления, предполагающая синхронное снятие данных о закономерности вращения и виброакустических сигналов, позволяющая упростить решение данной проблемы. В результате имеется возможность получить четкие спектры колебательных процессов элементов с каждого из валов кинематической цепи привода, не перегруженные компонентами, обладающими низкой информативностью.

Кроме того, разработана методика автоматизированной обработки спектральных характеристик колебательных процессов многовальных приводов, которая позволяет производить определение частот и амплитуд имеющих диагностическую ценность составляющих (оборотных частот и их гармоник, частот зацепления зубьев и их гармоник, а также комбинированных частот с любым порядковым номером) всех элементов исследуемого привода и упрощает процесс применения диагностических признаков различных видов дефектов зубчатых колес многовальных приводов в процессе их эксплуатации.

Численное представление частот и амплитуд позволило предложить ряд интегральных количественных показателей для оценки состояния элементов зубчатых приводов, характеризующих соотношение суммы кратных зубцовых гармоник и гармоники на частоте пересопряжения зубьев анализируемой зубчатой пары, а также соотношение суммы амплитуд боковых полос и гармоник зубцовой частоты. Их применение в ходе подобных работ позволит повысить объективность принимаемых решений о фактическом состоянии объекта и снижает требования к квалификации пользователя.

Высокую информативность при обнаружении локальных дефектов показал время-частотный анализ посредством преобразования Габора.

Методика и комплекс, позволяющие упростить процедуру анализа виброакустических характеристик механических приводов, внедрены для мониторинга технического состояния приводов станочного оборудования механических мастерских. Их использование предполагает осуществление обслуживания приводов станков по фактическому техническому состоянию и снижение вероятности внезапных отказов, связанных с выходом из строя зубчатых колес.

Развитие данных результатов предполагается в ходе дальнейших работ, предусматривающих доведение полученных методик и средств до инженерного уровня, позволяющего внедрить и широко применять их в эксплуатационных условиях на объектах, содержащих зубчатые передачи.

УДК 620.184

О ПРИРОДЕ УСТАЛОСТИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

В. Э. ЗАВИСТОВСКИЙ
Учреждение образования
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Новополоцк, Беларусь

Долговечность коленчатых валов определяется сопротивлением усталости и износостойкостью. Если получение износостойких покрытий не представляет труда, то нанесение покрытий на изношенные шейки валов с целью повышения сопротивления усталости до уровня новых является сложной комплексной проблемой.

Отрицательное влияние на сопротивление усталости оказывают растягивающие напряжения, которые вызываются неоднородностью пластической деформации, различием коэффициентов расширения основного и наплавленного металлов, структурными превращениями в наплавленном металле и зоне термического влияния. Результатом возникновения остаточных растягивающих напряжений являются низкая прочность и малая пластичность слоя, образующегося в процессе наплавки на границе сплавления основного и наплавочного металлов.

Трещины при наплавке образуются в результате резкого неравномерного распределения температур по сечению коленчатого вала. Если пластические деформации, возникшие в результате значительного градиента температур, достигнут значений выше предела прочности, то в наплавленном слое и зоне термического влияния неизбежно возникнут трещины.

Усталостная трещина зарождается в поверхностных слоях и затем развивается вглубь образца или детали, образуя острый надрез. Распространение усталостной трещины обычно длительно. Оно продолжается до тех пор, пока сечение не окажется столь малым, что действующие в нем напряжения превысят разрушающие. Тогда произойдет быстрое разрушение, как правило, хрупкое из-за наличия острого надреза.

Усталостные изломы имеют ряд характерных признаков, позволяющих их отличать от других видов изломов. Одним из них является наличие усталостных бороздок, которые располагаются в зоне развившейся трещины усталости, волнообразно расходящиеся от очага разрушения. Форма усталостных бороздок зависит от формы детали и характера нагружения. Циклическое расширение и сжатие берегов трещины приводит к образованию типичного рисунка, причем каждый новый цикл нагружения добавляет новую бороздку. На рис. 1 показаны макроусталостные линии на поверхностях изломов коленчатых валов, изготовленных из чугуна ВЧ50.

УДК 544.654.2:546:56

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МЕДИ НА СТАЛЬНУЮ ОСНОВУ ИЗ АММИАКАТНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

Е. В. МИХЕДОВА, А. А. ЧЕРНИК, И. М. ЖАРСКИЙ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Для придания поверхности определенного вида и обеспечения адгезии фрикционных композиций со стальной основой дисков сцепления автотракторной техники используют электрохимически осажденные медные покрытия.

При погружении стального изделия в простые электролиты меднения наблюдается цементация меди на поверхности изделия, что недопустимо для таких элементов конструкции как диски сцепления. С целью смещения потенциала меди в более электроотрицательную сторону и, как следствие, предотвращения цементации используются комплексные электролиты меднения. С этой точки зрения представляют значительный интерес аммиакатные электролиты меднения, которые обладают рядом достоинств: простота состава, доступность реактивов, широкий диапазон плотностей тока.

В качестве объекта исследования выступает аммиакатный электролит следующего состава, моль/л: $c(CuSO_4)$ = 0,6; $c((NH_4)_2SO_4)$ = 0,6; $c(NH_4NO_3)$ = 0,5; с(25 %-й водный раствор NH_3) = 90 мл/л; pH = 9,3–9,5; t=20 °C.

Поляризационные измерения проводились на потенциостате ПИ-50-1.1 в комплекте с программатором ПР-8 в стандартной трехэлектродной ячейки ЯСЭ-2. В качестве электрода сравнения применяли насыщенный хлорсеребряный электрод.

На рис. 1 представлены катодные поляризационные кривые в исследуемом электролите на медном, стальном, стальном с электрохимическим медным покрытием толщиной 10 мкм катодах.

По данным поляризационных измерений (рис. 1) наибольшая поляризация наблюдается на стальном катоде, так как первичное осаждение металла на чужеродную основу требует больших затрат энергии и, как следствие, увеличивается катодное перенапряжение.

УДК 621.762

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОВЫХ И ХРОМОЦИРКОНИЕВЫХ 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

В данной работе исследовалось влияние содержания в отдельности или комплексно Cr и Zr, взятых в количестве 0,7…30,0 % по массе, на структуру и свойства материалов. Исходными компонентами служат стандартный порошок меди ПМС-1, в который вводился порошок хрома и циркония. Гранулированная композиция, полученная обработкой в механореакторе вибрационного типа, брикетировалась методом холодного двухстороннего прессования до плотности ≈ 75 % и экструдировалась при температуре 800 ^{o}C с коэффициентом вытяжки – 20. Изучение структуры и свойств проводилось по стандартной методике. Металлографический анализ проводился на световых микроскопах Unimet (Япония), Reichert (Австрия), сканирующем электронном микроскопе TESCAN-LSH (Чехия) с приставкой для энергодисперсионного микроанализа INCA-ENERGY (ФРГ). Субструктура и фазовый состав материалов изучались на просвечивающем электронном микроскопе TeslaBS-540, с использованием гониометрических приставок.

Анализ полученных результатов исследований позволяет сделать следующие выводы:

– скомпактированные экструзией материалы характеризуются гомогенным и дисперсным распределением элементов;

– структура материала относится к микрокристаллическому типу с величиной зерна до 5 мкм, размер частиц легирующих элементов не превышает 2 мкм;

– фазовый состав материала представлен такими фазами как Cи(Zr,Cr), $Cи_3Zr$, Zr, Cr, Fe;

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

– материалы характеризуются высоким комплексом механических свойств. Твердость составляет 165…205 НВ; предел прочности 560…780 МПа при относительном удлинении 4…12 %;

– материалы перспективны как лигатуры при получении бронз электротехнического назначения, так и в качестве конструкционных бронз.

Появление макрополос связано со значительными изменениями режима нагружения.

а) б)

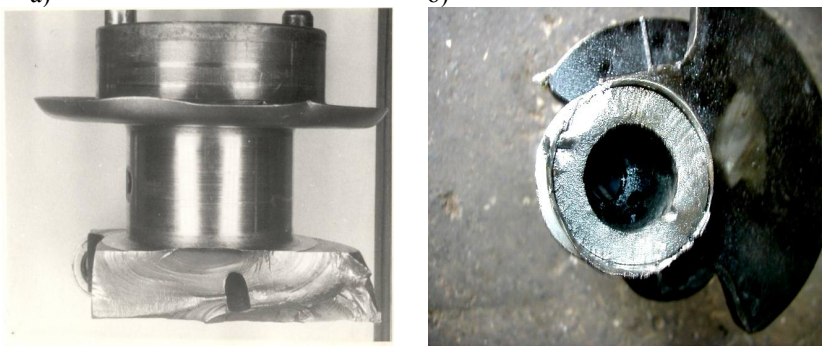


Рис. 1. Макроусталостные линии на поверхностях излома щеки (а) и шейки (б) коленчатого вала, изготовленного из чугуна ВЧ50

Полученные данные о трещиностойкости при циклическом нагружении чугуна ВЧ50 показали, что этот материал обладает сравнительно высоким сопротивлением развитию усталостных трещин. Физический механизм этого может быть объяснен временным торможением трещины, так как на ее пути возникают нарушения сплошности в виде графитовых включений, приводящие к снижению концентрации напряжений у вершины трещины (особенно в упрочненном слое), где эти включения благоприятным образом деформированы.

В настоящее время, достаточно сложно выделить единую общепризнанную теорию усталостного разрушения, построенную на физических процессах, сопровождающих это явление. Многие исследователи объясняют это тем, что в зависимости от структурного состояния материала и условий циклического нагружения возникают и действуют различные механизмы зарождения и развития усталостных трещин.

Теория дислокаций, структурно-энергетическая теория и др. существенно помогают раскрыть природу явления усталости. Исследование изломов крупногабаритных деталей показали, что между зонами псевдобороздчатого рельефа излома и бороздчатого рельефа существует переходный участок в развитии трещины. Он характеризуется тем, что в отдельных зонах излома на фасетках выявляются усталостные бороздки. Их шаг составляет несколько сотых долей микрометра и в направлении развития трещины его величина изменяется дискретно, а сами бороздки наблюдаются лишь в отдельных участках излома. Если усталостные бороздки формируются в каждом цикле приложения внешней нагрузки, то, рассчитав их число в направлении роста трещины, можно судить о числе циклов нагружения.

УДК 631.3.072

МЕТОД РАСЧЕТА КИНЕМАТИКИ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА ТРАКТОРА

А. В. ЗАХАРОВ, И. О. ЗАХАРОВА
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

На рис. 1. приведена схема для расчета механизма навески, а также указаны длины и углы наклона к вертикали:

– r_{BC} и α_{BC} –стойки BC;

– r_{DC} и β – верхней тяги DC, $\beta = 90°-\alpha_{DC}$;

– r_{AB} и γ – нижней тяги AB, $\gamma = 90°- \alpha_{AB}$;

– r_{FE} и α_{EF} – раскосов FE;

– r_{DE} и α_{DE} – подъемного рычага DE навески;

– r_{DG} и α_{DG} – поворотного рычага DG;

– r_{AG} и τ –гидроцилиндра AG;

– r_{BK} и υ – условного рычага BK, соединяющего ось подвеса и точку к приложения результирующей силы тягового сопротивления, расположенную на продольном расстоянии $L_{пл}/2$ и на глубине $h_{пл} = 0{,}125$м;

– X_0 – продольное расстояние между шарнирами крепления D верхней и A нижних тяг на тракторе;

– $У_0$ – вертикальное расстояние между шарнирами крепления D верхней и A нижних тяг на тракторе.

Из четырехугольника ABCD запишем уравнение проекций длин тяг и стойки на горизонтальную и вертикальную оси:

$$X = 0; \quad r_{DC}\cos(\beta-90^0) + r_{BC}\sin\alpha_{BC} + X_0 = r_{AB}\cos(\gamma-90^0),$$
$$Y = 0; \quad r_{DC}\sin(\beta-90^0) + r_{BC}\cos\alpha_{BC} + Y_0 = r_{AB}\sin(90^0-\gamma). \quad (1)$$

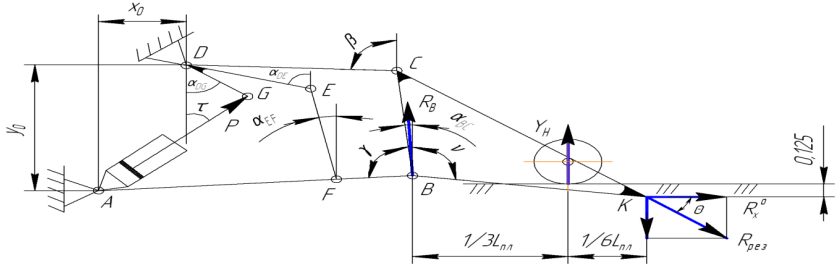


Рис. 1. Схема для расчета размеров подъемно-навесного устройства

го лома нецелесообразно. При совместном присутствии в сернокислом электролите ионов меди и олова их совместное катодное осаждение возможно при введении в электролит комплексообразователей или поверхностно-активных веществ. При отсутствии добавок в сернокислом сульфатном электролите бронзирования наблюдается процесс селективного восстановления металлов.

Повышение температуры с 20 до 30 °С во всех исследуемых электролитах приводит к увеличению предельных токов осаждения меди почти на 30 %, однако, катодный выход по току меди при этом уменьшается. Перемешивание электролита способствует устранению диффузионных ограничений, выравниванию концентраций ионов металла в приэлектродных областях и в объеме электролита. Наблюдаемое при этом некоторое ухудшению структуры катодного осадка может быть связано как с уменьшением поляризации, так и взмучиванием находящегося в электролите анодного шлама. Кроме того, при интенсивном гидродинамическом режиме наблюдается значительное увеличение предельных токов осаждения, особенно в условиях повышенных температур. В сернокислом электролите бронзирования использование интенсивного гидродинамического режима приводит к увеличению предельных токов осаждения меди на 30 % при температуре 20 °С и на 50 % при температуре 35 °С. Негативное влияние перемешивания на структуру катодного осадка компенсируется повышением плотности тока.

Для оптимизации технологических параметров процесса катодного извлечения меди из сернокислых растворов была проведена серия опытов. Установлена зависимость катодного выхода по току от состава ионного электролита и параметров электролиза.

В результате проведенных исследований установлено, что процесс катодного восстановления меди из отработанных сернокислых электролитов целесообразно проводить при температуре 18…20 °С, катодной плотности тока 0,005…0,025 А/см^2. Использование более высоких температур нецелесообразно, так как на катоде не протекает процесс выделения водорода, и выход по току меди составляет, примерно, 100 %. Кроме того, повышение температуры приводит к ухудшению качества катодного осадка и интенсификации химических процессов в прикатодной области. Введение в электролит депассиваторов (0,14…0,28 моль/л Cl^-), комплексообразователей (0,6 моль/л NH_3, Трилона Б) не только позволяет увеличить скорость анодного растворения и анодный выход по току меди, но и существенно интенсифицировать катодный процесс с получением более компактных осадков меди.

В качестве катода целесообразно использовать титан с гладкой поверхностью, который обеспечивает легкость съема катодного осадка, обладает высокой коррозионной стойкостью и длительным ресурсом работы.

УДК 541.13: 621.357

КАТОДНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕДИ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ СЕРНОКИСЛЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

И. И. КУРИЛО, А. А. ЧЕРНИК, И. М. ЖАРСКИЙ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

В промышленных сточных водах ежегодно теряется более 460 тонн меди, десятки тысяч тонн кислот и щелочей. Помимо указанных потерь соединения меди, выносимые сточными водами из очистных сооружений, оказывают весьма вредное влияние на экосистему.

Применение для переработки металлсодержащих отходов и отработанных электролитов электрохимических методов позволяет не только утилизировать отходы, но и извлекать цветные металлы в пригодном для повторного использования виде, предотвратить образование побочных агрессивных продуктов, многократно использовать рабочие растворы, селективно извлекать металлические составляющие сплавов, автоматизировать процесс переработки. Это является веским аргументом для обоснования актуальности и целесообразности разработки и внедрения в Республике Беларусь эффективных электрохимических технологий извлечения цветных металлов из промышленных технологических отходов.

Целью работы явилось изучение процессов катодного восстановления меди из отработанных сернокислых электролитов.

Проведенные хроновольтамперометрические исследования катодных процессов, протекающих при растворении меди в сернокислых растворах, показали, что в области потенциалов от –0,23 В до +0,35 В на потенциодинамических кривых наблюдается пик катодного тока, соответствующих процессу восстановления меди. Дополнительное введение сульфат-ионов в сернокислый электролит смещает потенциал начала осаждения металла в область положительных значений и увеличивает предельный ток и, соответственно, скорость осаждения меди, что отчасти объясняется увеличением электропроводности и ионной силы раствора.

Введение в сернокислый электролит хлорид-ионов в количестве 0,01…0,14 моль/л приводит к увеличению скорости осаждения меди в 1,5–2,5 раза и снижению энергозатрат при осаждении меди на 20…30 %. Это объясняется увеличением концентрации соединений Cu(I) в результате образования комплексных ионов $CuCl_2^-$ и $CuCl_3^{2-}$.

Установлено, что с увеличением концентрации ионов металла от 0,04 до 0,50 моль/л максимальная скорость осаждения меди увеличивается более чем в 10 раз. При более высоком содержании меди в растворе инициируется солевая пассивация анода, поэтому использование более концентрированных по ионам меди электролитов для переработки промышленно-

Далее установим зависимости углов наклона к вертикали α_{BC} стойки BC и γ нижней тяги AB от угла поворота β верхней тяги DC. Систему уравнений (1) преобразуем и возведем в квадрат:

$$(r_{DC}\sin\beta - r_{AB}\sin\gamma + X_0)^2 = (-r_{BC}\sin\alpha_{BC})^2$$
$$(r_{DC}\cos\beta - r_{AB}\cos\gamma - Y_0)^2 = (-r_{BC}\cos\alpha_{BC})^2 .$$

После преобразования исключив α_{BC}, получено уравнение:

$$Y_0^2 + X_0^2 + r_{DC}^2 + r_{AB}^2 - r_{BC}^2 + 2r_{DC}(X_0\sin\beta + Y_0\cos\beta) =$$
$$= 2r_{AB}(X_0\sin\gamma - Y_0\cos\gamma) + 2r_{DC}r_{AB}\cos(\beta-\gamma) . \quad (2)$$

Подставляя в уравнение (2) значения углов наклона $\gamma = 90°-\alpha_{BC}$ нижней тяги для трех положений навески (рабочего и двух крайних – нижнего и верхнего), рассчитаем соответствующие им значения угла β наклона к горизонтали верхней тяги DC.

Аналогичным образом из четырехугольника ABCD и системы уравнений (1), запишем систему уравнений для расчета угла α_{BC} наклона стойки BC и возведем ее члены в квадрат после преобразований, исключив $\gamma = 90°-\alpha_{AB}$, получим необходимое уравнение. Подставляя в полученное уравнение значения углов наклона $\beta = 90°-\alpha_{CD}$ верхней тяги DC для названных положений навески, рассчитываем соответствующие им значения углов наклона α_{BC} стойки BC.

Далее рассчитываем углы наклона к вертикали α_{DE} подъемного рычага DE и α_{EF} раскоса EF в функции от угла β. Для этого по аналогии с уравнением (1.1,*а*) запишем из четырехугольника AFED систему уравнений проекций на горизонтальную и вертикальные оси. Углы α_{DE} поворота подъемного DE и α_{DG} поворотного рычагов DG отличаются на величину $\Delta\theta$.

Тогда угол наклона α_{DG} поворотного рычага DG к вертикали:

$$\alpha_{DG} = \alpha_{DE} - \Delta\theta . \quad (3)$$

Обозначив длину AG цилиндра навески l_{AG} , получим систему уравнений для расчета длины l_{AG} гидроцилиндра AG и угла его наклона к вертикали τ:

$$\left.\begin{array}{l} \Sigma X=0,\ [X_{ПУ}+r_{DG}\cos(90^0-\alpha_{DG})]^2 = (l_{AG}\sin\tau)^2 \\ \Sigma Y=0,\ [Y_{ПУ}-r_{DG}\sin(90^0-\alpha_{DG})]^2 = (l_{AG}\cos\tau)^2 \end{array}\right\}$$
$$\mathrm{tg}\,\tau = \frac{X_{Ï Ó} + r_{DG}\sin\alpha_{DG}}{Y_{Ï Ó} - r_{DG}\cos\alpha_{DG}} . \quad (4)$$

Задавая угол α_{DG}, можно рассчитать угол наклона к вертикали гидроцилиндра. Исключив значение угла наклона τ гидроцилиндра AG к вертикали, получим уравнение, которое связывает длину гидроцилиндра l_{AG} с углом α_{DG} наклона поворотного рычага DG

$$X_{ПУ}^2 + Y_{ПУ}^2 + r_{DG}^2 - l_{AG}^2 + 2X_{ПУ}r_{DG}\sin\alpha_{DG} - 2Y_{ПУ}r_{DG}\cos\alpha_{DG} = 0,$$

откуда

$$l_{AG} = \sqrt{X_{Ï Ó}^2 + Y_{Ï Ó}^2 + r_{DG}^2 - 2r_{DG}\ X_{Ï Ó}\sin\alpha_{DG} - Y_{Ï Ó}\cos\alpha_{DG}} . \quad (5)$$

Полученные уравнения позволяют рассчитать углы наклона к вертикали звеньев подъемно-навесного устройства и длину гидроцилиндра.

УДК 621.833.68

ПРИНЦИПЫ ПОЛНОЙ БАЛАНСИРОВКИ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЛАВНОРЕГУЛИРУЕМОЙ ПЕРЕДАЧИ

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

Частота вращения современных двигателей внутреннего сгорания достигает нескольких тысяч оборотов в минуту. Поэтому для планетарной двухколесной плавнорегулируемой передачи задача балансировки сателлита актуальна настолько, что отсутствие приемлемого решения этой проблемы практически исключает использование этой передачи в трансмиссиях транспортных средств. Сложность решения проблемы балансировки сателлита обусловлена, прежде всего, переменным радиусом кривошипа, на котором он установлен. Задача балансировки обоймы вспомогательной планетарной передачи, также актуальна, но более проста, так как позволяет ограничиться статической балансировкой.

Схема балансировки сателлита планетарной плавнорегулируемой передачи приведена на рис. 1. На этой схеме m_s – масса сателлита, m_b – масса основного противовеса, m_c – масса дополнительного противовеса, 1-1 и 2-2 плоскости коррекции. В плоскости коррекции 1-1 установлен основной противовес, в плоскости коррекции 2-2 – дополнительный противовес. Массы противовесов определяются на основании следующих рассуждений [1].

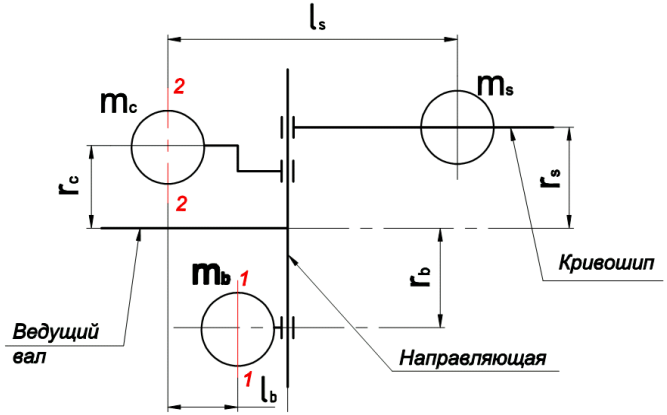


Рис. 1. Схема балансировки сателлита планетарной плавнорегулируемой передачи

– термогидролитическое выделение V_2O_5 из растворов с предварительным окислением пероксидом водорода или персульфатом аммония соединений ванадия до высших валентных форм;

– отделение V_2O_5 от раствора.

Введение в схему переработки ультразвуковой обработки растворов первичного выщелачивания обусловлено необходимостью получения более мелкодисперсного материала, чем при механическом измельчении, поскольку, как было установлено, это влияет на степень выделения соединений ванадия из ОВК. Наложение ультразвукового поля способствует увеличению скорости растворения ОВК более чем в 40 раз по сравнению с необработанными ультразвуком образцами, общая потеря массы ОВК увеличивается с 35…37 % до 51…52 %, степень извлечения ванадийсодержащих соединений увеличивается с 35…37 % до 57…60 %.

Выщелачивание соединений ванадия растворами серной кислоты обусловлено тем, что при растворении в воде ОВК образуются кислые растворы с pH 2,7. Увеличение содержания серной кислоты до pH 1,2–1,3 в растворах выщелачивания приводит к образованию сульфатов и полисульфатов, а также сульфата ванадила, более растворимых, чем V_2O_5. Интервал pH обусловлен оптимальным соотношением растворимости V_2O_5 и степени выделения соединений ванадия из ОВК. При pH << 1 растворимость V_2O_5 несколько возрастает (с 5,2 г/л при pH 1,2–1,3 до 5,8 г/л), однако степень выделения соединений ванадия резко падает и достигает нуля при pH < 0,3.

При осуществлении первых двух стадий способа из ОВК выделяется до 90 % соединений ванадия.

Для увеличения степени выделения соединений ванадия из ОВК в схему переработки включена стадия восстановительного выщелачивания, поскольку соединения ванадия в степенях окисления < 5 более растворимы. В качестве восстановителя оптимально использовать сульфит натрия, так как он является относительно дешевым реагентом и при его введении в растворы выщелачивания ОВК значительно не изменяется их ионный состав. Оптимальная концентрация 0,001 моль/л установлена экспериментально и обеспечивает максимальную степень выделения соединений ванадия из ОВК.

Использование окислителей перед термогидролитическим выделением соединений ванадия из растворов приводит к повышению степени выделения соединений ванадия из ОВК и увеличению скорости процесса.

Использование указанного способа переработки ОВК позволяет выделять до 98 % ванадия из ОВК и получать соединения ванадия с содержанием V_2O_5 85–87 %. Полученный продукт соответствует ТУ–14-5-92–90 на технический оксид ванадия (V) (не менее 72 % V_2O_5 и не более 0,5 % $S_{общ.}$).

Остаточное количество V_2O_5 в твердых остатках ОВК после выщелачивания не превышает 0,28 % от общей массы, что позволяет использовать его в различных промышленных производствах без каких-либо экологически неблагоприятных последствий.

УДК 66.097.3

ВЫДЕЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ВАНАДИЯ ИЗ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ СЕРНОКИСЛОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е. В. КРЫШИЛОВИЧ, С. Е. ОРЕХОВА
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Использование вторичных ресурсов для выделения различных веществ в Республике Беларусь, не имеющей значительных запасов различных руд, является приоритетным. Среди источников вторичного ванадиевого сырья важное место занимают твердые отходы сжигания мазутов на энергетических установках тепловых электростанций (ТЭС), а также отработанные ванадиевые катализаторы (ОВК) сернокислотного производства. Сжигание мазута приводит к образованию шламов, содержащих ванадий и никель в значительных (до 15 масс.%) количествах. Хранение таких шламов представляет серьезную опасность для окружающей среды, поскольку отходы, как правило, обогащены отдельными элементами по сравнению с их усредненным содержанием в земной коре в большей степени. Актуальность исследований в этой области обусловлена и тем, что в настоящее время в Республике Беларусь широко представлены сернокислотные производства, в которых используются ванадиевые катализаторы (ВК) типа сульфованадата на силикагеле (СВС). Ежегодно около 20 % катализатора теряет свою активность и подлежит замене. Регенерация и переработка катализаторов СВС в Республике Беларусь не осуществляется, и после накопления значительного количества, отработанные ванадиевые катализаторы вывозятся (ОВК) в Российскую Федерацию за счет предприятий. Содержание оксида ванадия (V) в отработанных катализаторах в среднем составляет 5–10 масс.%. Таким образом, государство несет значительные материальные убытки. ОВК СВС относятся к третьему классу опасности, поэтому их хранение на территориях предприятий до вывоза приводит к распространению соединений ванадия в водном бассейне.

На основе анализа литературных данных сделан вывод о целесообразности использования гидрометаллургического метода для выделения V_2O_5 из ОВК типа СВС, используемых на предприятиях Республики Беларусь.

Способ получения соединений ванадия из ванадийсодержащих отходов (ОВК) включает следующие стадии:

– измельчение ОВК;

– растворение ОВК в растворах серной кислоты при Т:Ж = 1:5, pH 1,2–1,3 и наложении ультразвукового поля (время обработки 5 мин);

– восстановительное выщелачивание при Т:Ж = 1:5 в 0,01 М раствор Na_2SO_3;

– отделение твердого остатка после выщелачивания;

Предположим, что сателлит плавнорегулируемый планетарной передачи не имеет дисбаланса относительно собственной оси вращения (она же ось симметрии сателлита). Дисбаланс $\boldsymbol{D_s}$ сателлита относительно оси ведущего вала передачи определяется по формуле

$$\boldsymbol{D_s = m_s \times r_s},$$

где $\boldsymbol{r_s}$ – текущее значение радиуса кривошипа.

Момент $\boldsymbol{M_s}$ дисбаланса сателлита относительно плоскости коррекции 2-2, в которой расположен дополнительный противовес, определяется из выражения

$$\boldsymbol{M_s = D_s \times l_s},$$

где $\boldsymbol{l_s}$ – расстояние между центрами тяжести сателлита и дополнительного противовеса.

Очевидно, что для динамической балансировки сателлита, необходимо выполнение условия

$$\boldsymbol{M_s = M_b},$$

где $\boldsymbol{M_b}$ – момент дисбаланса основного противовеса относительно плоскости коррекции 2-2.

Поскольку масса $\boldsymbol{m_s}$ сателлита и радиус $\boldsymbol{r_s}$ кривошипа известны, то дисбаланс $\boldsymbol{D_b}$ основного противовеса можно определить из выражения

$$\boldsymbol{D_b = M_s / l_b},$$

где $\boldsymbol{l_b}$ – расстояние между плоскостями коррекции (центрами тяжести основного и дополнительного противовесов).

Зная величину дисбаланса $\boldsymbol{D_b}$, несложно определить массу $\boldsymbol{m_b}$ основного противовеса по формуле

$$\boldsymbol{m_b = D_b / r_b},$$

где $\boldsymbol{r_b}$ – радиус центра тяжести основного противовеса.

Для статической балансировки сателлита и основного противовеса необходимо добиться выполнение условия

$$\boldsymbol{D_c = D_b - D_s},$$

где $\boldsymbol{D_c}$ – дисбаланс дополнительного противовеса.

Теперь представляется возможным определить массу $\boldsymbol{m_c}$ дополнительного противовеса [1]

$$\boldsymbol{m_c = D_c / r_c},$$

где $\boldsymbol{r_c}$ – радиус дополнительного противовеса относительно оси вращения ведущего вала передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Машков, А. А.** Теория механизмов и машин / А. А. Машков.– Минск, Вышэйшая школа, 1971. – 472 с.

УДК 534.1+538.56

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К АНАЛИЗУ КОЛЕБАНИЙ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ СО МНОГИМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

В. Н. ЛАПТИНСКИЙ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН БЕЛАРУСИ»
Могилев, Беларусь

Рассматривается задача о периодических решениях нелинейной системы

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt}=\mathbf{f}\ \mathbf{x}\ ,\quad \mathbf{x}\ t+T\ =\mathbf{x}\ t\ , \tag{1}$$

где $t,\mathbf{x}\ \in\mathbf{R}\times\mathbf{R}^n,\mathbf{f}\in C^1\ \ D,\mathbf{R}^n\ ,\ D=\ \mathbf{x}:\|\mathbf{x}\|<\rho\ ;\ 0<\rho\le\infty$.

Известно [1, с. 210], что задача (1) равносильна следующей задаче:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dz}=T\mathbf{f}\ \mathbf{x}\ ,\quad \mathbf{x}\ 1\ =\mathbf{x}\ 0\ . \tag{2}$$

В данной работе, являющейся продолжением и развитием [2], для решения задачи (2) получено определяющее уравнение

$$\int_0^1\mathbf{H}^{-1}\ s,T,\mathbf{x}_0\ \ ds\mathbf{f}\ \ \mathbf{x}_0\ =\mathbf{0}, \tag{3}$$

где $\mathbf{x}_0$ – постоянный вектор.

Матрица $\mathbf{H}\ z,T,\mathbf{x}_0$ представляет собой решение уравнения

$$\frac{d\mathbf{H}}{dz}=T\int_0^1\mathbf{f}'\ \mathbf{x}_0+\mu\ \mathbf{x}-\mathbf{x}_0\quad d\mu\mathbf{H},\quad \mathbf{H}\big|_{z=0}=\mathbf{E};$$

здесь $\mathbf{f}'\ \mathbf{x}$ – матрица Якоби для $\mathbf{f}\ \mathbf{x}$, $\mathbf{x}=\mathbf{x}\ z,T,\mathbf{x}_0$, $\mathbf{E}$ – единичная матрица.

Решение $\mathbf{x}=\mathbf{x}\ z,T,\mathbf{x}_0$ системы (2), определенное в промежутке $0\le z\le 1$, представляет собой ее T - периодическое решение в том и только том случае, когда выполняется соотношение (3). Предлагаемый подход может быть использован при решении широкого круга задач естествознания и техники, связанных с анализом колебательных процессов периодического типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Холодниок, М.** Методы анализа нелинейных динамических моделей / М. Холодниок [и др.]. – М.: Мир, 1991. – 368 с., ил.

2. **Лаптинский, В. Н.** Конструктивный анализ управляемых колебательных систем / В. Н. Лаптинский. – Минск: ИМ НАН Беларуси, 1998. – 300 с.

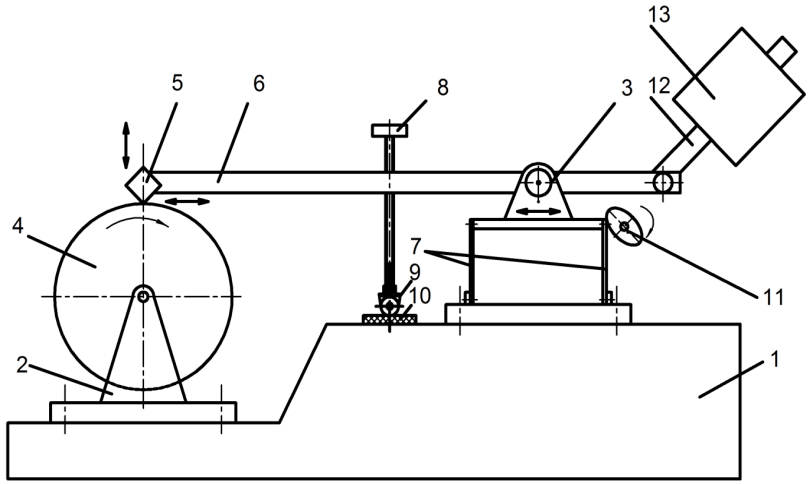


Рис. 1. Принципиальная схема распиловочной секции, обеспечивающей периодическое циркуляционное движение заготовки

При работе кулачка 11 заготовка совершает горизонтальное колебательное движение. За счет того, что центр тяжести противовеса 13 расположен выше оси качания стрелы 6 инерционные силы, действующие на него, создают переменный вращающий момент, вызывающий колебательные смещения заготовки по дуге окружности. В результате заготовка совершает колебательное движение в вертикальном направлении с частотой, равной частоте вынужденных горизонтальных перемещений.

Таким образом, заготовка совершает два перпендикулярных колебания с одной частотой, что, как известно [3], приводит к возникновению периодического циркуляционного движения, при котором траектория заготовки относительно режущего инструмента будет соответствовать фигурам Лиссажу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Епифанов, В. И**. Технология обработки алмазов в бриллианты / В. И. Епифанов, А. Я. Лесина, Л. В.Зыков; под ред. В.И. Епифанова. – Минск : Высш. шк., 1987. – 335 с.

2. **Дроздов, А. В.** Повышение производительности и качества распиливания сверхтвердых кристаллов путем сообщения заготовке вынужденных колебаний : автореф. дис. … канд. техн. наук. – Минск : 2005. – 21 с.

3. **Быховский, И. И.** Основы теории вибрационной техники / И. И. Быховский. – М.: Машиностроение, 1968. – 362 с.

УДК 621.9.048.4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАСПИЛИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА ПРИ СООБЩЕНИИ ЗАГОТОВКЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ

М. Г. КИСЕЛЕВ, А. В. ДРОЗДОВ, Д. А. ЯМНАЯ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Распиливание монокристаллов алмаза – одна из основных операций в технологическом процессе изготовления бриллиантов и других изделий [1]. Данная операция характеризуется весьма низкой производительностью, что обусловлено высокой твердостью обрабатываемого материала.

Известно, что одним из эффективных направлений повышения производительности и качества распиливания монокристаллов алмаза является введение в зону обработки вынужденных колебаний [2], создаваемых с помощью центробежного вибратора. Однако низкий частотный диапазон (до 100 Гц), малый ресурс его работы, а также невозможность регулирования направления колебательных смещений заготовки относительно режущей кромки инструмента, не позволило широко распространиться предложенному методу распиливания.

В результате авторами предложено сообщать периодическое циркуляционное движение заготовки относительно кромки распиловочного диска в процессе её распиливания.

На рис. 1 представлена принципиальная схема модернизированной распиловочной секции, которая позволяет обеспечить периодическое циркуляционное движение заготовки. Распиловочная секция содержит станину 1, на которой установлены стойки передняя 2 и задняя 3 пары стоек. В передней паре стоек 2 вращается распиловочный диск 4. Кристалл 5 закрепляется на стреле 6, установленной в задней паре стоек 3, которые связаны со станиной 1 с помощью пары плоских пружин 7, образующих параллелограммный подвес, допускающий перемещение стоек 3 вдоль горизонтали. Стрела поддерживается в рабочем положении регулировочным винтом 8, с вилкой на его конце, в проушине которой смонтирован ролик 9, опирающийся на упругую прокладку 10. Перемещение стоек 3 обеспечивается кулачком 11, закрепленным на выходном валу привода (на чертеже не показан). Для создания рабочего давления на кристалл 5, на стреле 6 с помощью качающегося рычага 12 установлен регулируемый противовес 13.

УДК 621.833.6

ЗАВИСИМОСТЬ КПД РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНЫХ РЕДУКТОРОВ ОТ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

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

Износ редукторов оказывает влияние на их КПД, нагрузочную способность и кинематическую точность. Для редукторов, использующихся в силовых приводах, наиболее важной характеристикой является КПД. Поэтому были проведены исследования влияния износа деталей зацепления редукторов на их КПД.

Для интенсификации износа в смазку редукторов с передаточными отношениями 17 и 45 добавлялся абразив зернистостью 32…40 мкм.

После определенной наработки проводились измерения ширины и длины следов шаровых плунжеров на рабочих поверхностях зубьев центрального колеса и поверхности ведущего эксцентрика, а также измерения свободного хода ведомого вала редуктора.

Ведущие кулачки (эксцентрики) редукторов при этом получали износ в виде радиусных канавок, аналогичных канавкам на кольцах шарикоподшипников. Зубья многопериодного кулачка (центрального колеса) изнашивались от вершине к впадине по их рабочим поверхностям. При этом наибольший износ имел место у вершин зубьев. В случае реверсивной работы редуктора происходил симметричный износ зубьев, и это всегда приводило к снижению КПД. В процессе работы редуктора происходило также уменьшение диаметра шаровых плунжеров и превращение цилиндрических отверстий сепаратора в эллипсные. Имело место также нарастание свободного хода ведомого вала.

Измерения указанных величин проводились после 0,5 часа работы редуктора в среде абразива, что соответствовало началу приработки, после 3 часов работы – окончанию приработки, после 10 и 26 часов работы – зоне нормального износа, а также после 54 часов работы – началу катастрофического износа и после 56 часов работы – катастрофическому износу.

Анализ полученных данных показал, что зависимость износа одних деталей зацепления от величины износа других является линейной, и коэффициент линейной корреляции составляет 0,89…0,98. Следовательно, для диагностики состояния редуктора можно использовать единый диагностический параметр – свободный ход ведомого вала. По значению этого параметра и уравнениям регрессии могут быть определены величины износа всех деталей зацепления, а также срок службы редуктора при известной интенсивности износа этих деталей.

УДК 621.833.6

ЗАВИСИМОСТЬ КПД РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНЫХ РЕДУКТОРОВ ОТ ВИДА СМАЗКИ И ВИДА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

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

Радиально-плунжерные редукторы содержат ведущий кулачок (эксцентрик), ведомые толкатели, движущиеся в отверстиях сепаратора и неподвижный многопериодный кулачок – центральное колесо. Ведомым звеном является сепаратор, а в качестве толкателей используются шарики.

Анализ сил в зацеплении передачи позволил получить приближенную зависимость для определения величины КПД редуктора

$$\eta = K\left[tg(\alpha_2 + \varphi) + tg(\alpha_1 + \varphi)\right] / \left[tg(\alpha_1 + \varphi)U\right],$$

где α_1 и α_2 – углы подъема ведущего и неподвижного кулачков соответственно; f – угол трения между плунжером и кулачками; U – передаточное отношение редуктора; К – экспериментально определяемый коэффициент, характеризующий конструктивные параметры редуктора, величину передаваемой нагрузки, твердость и шероховатость взаимодействующих поверхностей, а также тип смазки. Например, для редуктора с U=45 при смазке ТАД-17и К = 1,0466 ln(МВ) –1,6236. Здесь МВ – момент на ведомом валу редуктора.

Были проведены также исследования редукторов с различными передаточными отношениями, различными видами смазки и видами обработки поверхностей деталей зацепления. Были сделаны следующие выводы.

Самый низкий КПД имеют редукторы, детали зацепления которых обработаны лишь чистовой лезвийной обработкой, а наиболее высокий КПД достигается в редукторах с закаленными до 58…62 HRC деталями зацепления и шлифованными до Ra = (0,63…0,32)мкм.

КПД радиально-плунжерных редукторов выше КПД червячных и ниже КПД планетарных зубчатых редукторов. Так, для редуктора с U=17, закаленными и шлифованными деталями КПД составил 0,85…0,90, а для редуктора с U=45 – 0,82…0,87 при работе с номинальными нагрузками.

Наиболее низкие значения КПД имеют место при консистентных и высоковязких смазках, а самые высокие – при смазке трансмиссионным маслом ТАД17и, а также моторным автомобильным маслом.

При увеличении нагрузки на ведомом валу КПД редуктора несколько возрастает и стабилизируется при приближении к номинальной нагрузке с некоторой тенденцией к увеличению при возрастании нагрузки.

подвергались лазерной обработке. После лазерной обработки глубина нарушенного слоя уменьшилась и составила 60…80 мкм. Глубина нарушенного слоя измерялась методами микротвердости и эллипсометрии.

Металлические пленки формировались в вакуумной камере установки ВУП-5. Осаждаемый металл в виде плоской спирали Архимеда располагался в 5 мм от металлизируемой поверхности образца. Спираль нагревалась электротоком до температуры 2500 К при напылении молибдена или тантала и до 3000 К при напылении вольфрама. Предварительно образцы керамики нагревались излучением СО2–лазера. Напыление металлов производилось при температуре поверхности образцов керамики 1000…1200 К. Температура измерялась термопарой, которая помещалась в глухое отверстие с обратной стороны образца. Расстояние от дна глухого отверстия до металлизируемой поверхности было 0,3 мм. Температура, измеренная с обратной стороны образцов, была на 300…400 К меньше, то есть по толщине образца создавался градиент температуры 700…800 К.

Толщина металлической пленки измерялась с помощью интерферометра МИИ-11 по величине ступеньки между чистой поверхностью керамики и поверхностью металлического покрытия. Результаты измерений показали, что толщина пленки составила 0,2…0,3 мкм. Металлические пленки имели зеркальный вид.

Плотность пленки проверялась с помощью оптического микроскопа МБС-9 при 40-кратном увеличении. Дефектов пленки не обнаружено.

Электросопротивление металлической пленки измерялось четырехзондовым методом. Измерения показали, что удельное сопротивление пленок в 1,5…2,4 раза выше сопротивления массивных металлов.

Адгезия металлического покрытия к подложке определялась методом отрыва припаянного титанового стержня. Стержень припаивался к образцу в вакууме медно-молибденовым припоем без применения флюса. Соединяемые детали в процессе пайки сжимали с небольшим усилием, обеспечивающим получение паяного шва минимальной толщины. При испытании на растяжение разрушение происходило по керамике. Усилия измерялись образцовыми динамометрами ДОР-0,5, ДОР-1,0.

Тонкопленочные металлические пленки, сформированные на кварце и керамике, имеют поликристаллическую структуру, хорошую адгезию к подложке, незначительные термоупругие механические напряжения. Применение лазерного излучения для очистки металлизируемой поверхности образцов перед осаждением металла и ее активации является одним из условий получения качественных металлических покрытий.

Тонкие металлические пленки на керамических подложках могут применяться для формирования микросхем, а также позволяют получать прецизионные неразъемные соединения керамики с металлами и керамики с металлизированными ферритами.

УДК 539.216; 621.382

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ

Б. И. ИГНАТОВ
Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»
Могилев, Беларусь

Тонкопленочные металлические покрытия на керамических подложках получают широкое применение в связи с микроминиатюризацией при создании различных микроэлектронных устройств. Металлические пленки на диэлектрических подложках должны выдерживать высокотемпературные технологические операции, иметь высокую адгезию и быть металлургически совместимыми с другими материалами, применяемыми при монтаже микроэлектронных устройств. Для формирования тонких металлических пленок применяются три группы методов: испарение в вакууме, ионное распыление и химическое осаждение. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. Для обеспечения воспроизводимости электрофизических характеристик тонких пленок необходимо применение методов их формирования, обеспечивающих получение металлопокрытия высокой чистоты.

В данной работе тонкие металлические пленки формировались в вакууме 10^{-5} Па на подложках из кварца и поликристаллической алюмооксидной керамики К95, 22-ХС. В качестве осаждаемого металла применялись молибден, тантал и вольфрам. Эти металлы имеют температурные коэффициенты линейного расширения (ТКЛР) незначительно отличающиеся от ТКЛР кварца и керамики в широком диапазоне температур. Поэтому остаточные термоупругие механические напряжения в металлической пленке будут незначительной величины. Особенностью примененного метода осаждения тонких пленок является формирование потока атомов напыляемых металлов за счет сублимации при температуре на 150…200 К ниже температуры плавления.

Необходимым условием получения покрытий с высокой адгезией и однородной структурой является качественная подготовка металлизируемой поверхности. Шероховатость поверхности образцов полировкой доводилась до 0,02…0,04 мкм. В процессе абразивной обработки при полировке образуется приповерхностный нарушенный слой, глубина которого 100…140 мкм. Подготовленные образцы промывались с применением ультразвука в растворе поверхностно-активных веществ, дистиллированной воде и этиловом спирте. Известно, что при самой тщательной очистке на поверхности образцов остается 2…3 слоя атомов кислорода. С целью дополнительной очистки поверхности от адсорбированных газов образцы

УДК 621.01

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕМЕТОВ КОНСТРУКЦИЙ НА ЗАДАННУЮ РЕЗОНАНСНУЮ ЧАСТОТУ

В. Г. НАЗАРЕНКО, П. В. МИРОНОВА
«ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» УО «БГУИР»
Минск, Беларусь

На практике часто требуется подобрать геометрические размеры конструктивного элемента, обеспечивающие заданную собственную частоту. При этом элемент конструкции представляют в виде упрощенной модели, а связи с отброшенной механической системой чаще всего выбирают в виде жестких заделок или шарниров.

Метод условной разгрузки является универсальным и пригоден для любых балочных элементов (кронштейны, детали крепления и др.) и пластинчатых (монтажные платы и т. п.). Его успешно применяли при конструировании резонаторов [1] и плит приспособлений [2]. Сущность метода заключается в следующем.

По заданной частоте f_{00} рассчитывают геометрические размеры ненагруженного элемента (масса нагрузки M=0). Частота f_{00} при нагружении элемента массой $M \neq 0$ уменьшается до значения f_{0M}, компенсируют которое последующим уточнением размеров.

Рассмотрим методику применения метода для различных балочных конструкций, собственная частота которых определяется выражением

$$f_{ом} = K_1 \sqrt{\frac{EJ}{l^3 \cdot m_{пр}}}, \qquad (1)$$

где $J = bh^3/12$ – момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной оси; b и h – соответственно ширина и высота балки; l – длина пролета; E – модуль упругости материала; $m_{пр} = M + K_2 m$ – приведенная масса колебательной системы, m – распределенная масса балки, M – сосредоточенная масса нагрузки, приложенная в центре балки.

Значения коэффициентов K_1 и K_2 зависят от выбранной расчетной модели, например, при жестком защемлении концов балки K_1=2,21 и K_2=0,74; для шарнирно-опертой балки K_1=1,1 и K_2=0,485, для консольной балки K_1=0,55 и K_2=0,24. Подставляя значения $m = blh\rho$ (ρ – удельная плотность материала) и J в формулу (1), получим

$$f_{ом} = f_{оо} / K_м, \quad K_м = \sqrt{1 + M / K_2 m}\ ; \qquad (2)$$

где $K_м$ – коэффициент массы, учитывающий снижение собственной частоты колебательной системы при нагружении балки.

Рассмотрим пути повышения собственной частоты.

1. При увеличении в K_h раз высоты балки приведенная масса колебательной системы равна $m_{np} = M + K_2 K_h m$. Из уравнения (2) получим зависимость, графически представленную на рис. 1.

$$\frac{M}{K_2 m} = K_h^3 - K_h .$$

2. При уменьшении длины пролёта в K_l раз, приведенная масса системы равна $m_{np} = M + K_2 m / K_l$, а коэффициент длины находим методом итераций

$$K_l = \sqrt[3]{\frac{1}{K_l} + \frac{M}{K_2 m}}.$$

Зависимость $K_l = f\ (M/K_2 \cdot m)$ представлена на рис. 1.

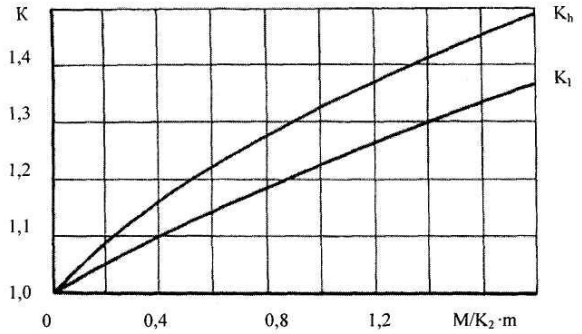


Рис.1. Зависимости поправочных коэффициентов K_h и K_l

Для уточнения высоты или длины балки вычисляют $M/K_2 \cdot m$, по которому с помощью рис. 1 находят K_h и K_l. Затем уточняют высоту или длину балки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сурин, В. М.** Резонатор для вибрационных испытаний ИЭТ СВЧ / В. М. Сурин, В. Г. Назаренко, П. И. Цай // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. – 1989. – Вып. 7 (421). – С. 49–51.

2. **Назаренко, В. Г.** Метод условной разгрузки для проектирования несущих конструкций ИЭТ на заданную резонансную частоту / В. Г. Назаренко // Современные средства связи. Известия Белорусской инженерной академии. – 2005. – № 1(19)/5.– С. 125–127.

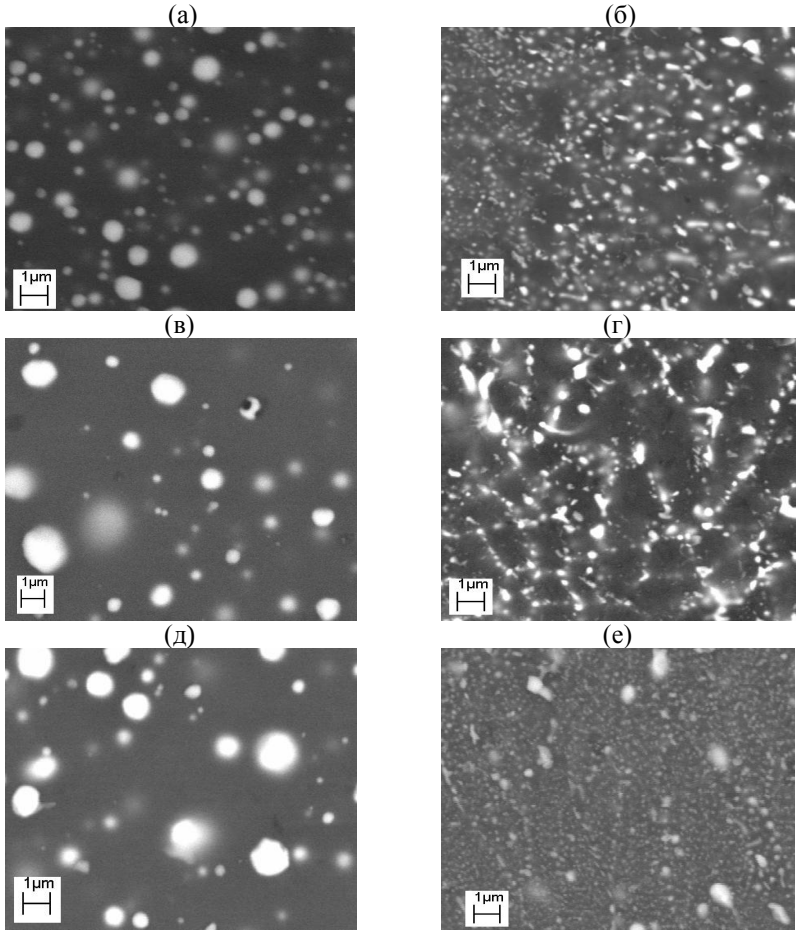


Рис. 1. Поверхность массивных образцов (а, в, д) и фольг (б, г, е) с содержанием индия: а, б ─ 12 масс. %, в, г ─ 17 масс. % и д, е ─ 20 масс. %.

Таким образом, установлено, что в быстрозатвердевших фольгах алюминия с различным содержанием индия наблюдается общая тенденция измельчения частиц индия по сравнению с массивными образцами сплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метастабильные и неравновесные сплавы. Под ред. Ю. В. Ефимова.– М.: Металлургия, 1987.– С. 406–438.

2. **Мирошниченко, И. С.** Закалка из жидкого состояния / И. С. Мирошниченко.– М.: Металлургия, 1982. – 167 с.

УДК 539.21: 669.715

МИКРОСТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ–ИНДИЙ

Л. В. ЖИЛКО, В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Сплавы алюминия с металлами, в которых наблюдается монотектическое превращение, рассматриваются как перспективные материалы, которые могут быть использованы для создания подшипников, фильтров и других технических устройств. Структура таких сплавов и их свойства существенно зависят от условий их получения. Метод сверхбыстрой закалки из расплава позволяет получить особое состояние, для которого характерна кристаллическая структура, появление дисперсных стабильных и метастабильных фаз, образование пересыщенных твердых растворов [1,2]. В данной работе исследовались закономерности формирования структуры материала при производстве фольг сплавов системы Al–In сверхбыстрой закалкой из расплава.

Объектами исследования являлись массивные образцы сплава Al–12 масс. % In, Al–17 масс. % In, Al–20 масс. % In, а также фольги, полученные сверхбыстрой закалкой из расплавов исследуемых образцов. При изготовлении фольг капля расплава массой 0,2…0,3 г выплескивалась на полированную внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра диаметром 20 см и частотой вращения 25 об/с. Скорость охлаждения массивных образцов составляет 10^2 К·с$^{-1}$, скорость охлаждения расплава при получении фольг достигает 10^6 К·с$^{-1.}$ Толщина исследуемых фольг 40...80 мкм. Для изучения морфологии поверхности массивных образцов и быстрозатвердевших фольг сплавов использовался растровый электронный микроскоп LEO 455 VP. Исследования проводились при следующих режимах работы микроскопа: ускоряющее напряжение 20 кВ.

При исследовании микроструктуры быстрозатвердевших фольг и сплавов системы Al–In, установлено, что в них происходит измельчение частиц индия по сравнению с массивными образцами (рис.1). В фольгах алюминия с содержанием индия 12 и 17 масс. % преимущественно выделяются частицы, не превышающие 0,5 мкм. При этом около половины выделившихся частиц имеют размеры до 0,2 мкм. В фольге алюминия с содержанием индия 20 масс. % частота выделения частиц с размером до 0,2 мкм составляет ~ 90 %. В результате статистической обработки установлено, что средний размер частиц индия в фольгах всех сплавов в ~ 3,5 раза меньше, чем в массивных образцах и составляет ~ 0,3 мкм.

УДК 621.81

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ЭЛЕМЕНТОВ АРОЧНОГО КАРКАСА НА МЕСТНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ БАЛОК СПЛОШНОГО СЕЧЕНИЯ

В. Я. НЕДОВОДЕЕВ, Д. М. НЕФЕДОВА
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Ульяновск, Россия

Низкий коэффициент использования металла в стенках балок, воспринимающих поперечную нагрузку, является известным их недостатком при том, что масса стенок составляет до половины массы всей конструкции. Толщина стенок лимитируется местной устойчивостью, потеря которой приводит к разрушению всей конструкции.

Предложения по укреплению вертикальных стенок дополнительными ребрами жесткости [1, 2], образующими совместно с основными элементами балки (поясами) геометрически неизмененный каркас особенно интересны при арочной форме ребер (рис. 1а), когда арка является расчетным элементом и, принимая на себя часть поперечной нагрузки, позволяет сохранять несущую способность стенки без потери местной устойчивости.

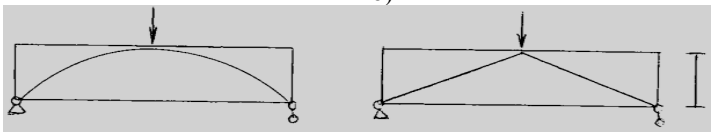


Рис. 1. Схема нагружения: а – расчетная; б – приближенная

Рассмотрим расчетный случай максимального нагружения мостовой балки коробчатого сечения, стенки которой укреплены арочными ребрами, при нагрузке в середине пролета, причем используем приближенную расчетную схему с заменой арочных ребер на прямолинейные (рис. 1). Тогда, принимая методику расчета рассмотренную ранее [2], когда потенциальная энергия деформации такого стержня, равная работе внешних сил условно представляется в виде суммы потенциальных энергий от прогиба основного стержня сплошного сечения и потенциальной энергии деформации элементов каркаса, получим нагрузку

$$P = P_{\text{с}} + P_{\text{к}}, \qquad (1)$$

в виде суммы внешней нагрузки $P_{\text{с}}$, воспринимаемой сплошной балкой и нагрузки $P_{\text{к}}$, воспринимаемой каркасом, включающем арочные ребра и нижний пояс балки.

Записав уравнение состояния для деформированного стержня (рис. 1б) и учитывая совместность деформаций основного стержня и каркаса, получим

$$P_к = P\left[1+\frac{3J_с}{h^2}\left(\frac{1}{F_п}+\frac{1}{F_р}\right)\right]^{-1}, \qquad (2)$$

где $J_с$ – момент инерции основного стержня сплошного сечения; h – высота поперечного сечения; $F_п$ – площадь поперечного сечения растянутого пояса с учетом или без учета примыкающих к нему частей стенок; $F_р$ – площадь поперечного сечения арочного каркаса с учетом или без учета примыкающих к нему частей стенок.

Из выражения (2) видно, что при отсутствии каркаса ($F_р = 0$) вся нагрузка воспринимается основным стержнем ($P_к = 0$).

В работе [2] рассматривался пример расчета мостовой балки двухбалочного крана пролетом L = 22,5 м грузоподъемностью 20 т.с. при использовании дополнительного каркаса в виде раскосной решетки из уголка, позволившей снизить вес кранового моста на 0,5 т.с.

Если вместо раскосной решетки в данном примере использовать арочные ребра, установленные как показано на рис. 2, то это позволить снизить вес кранового моста на 1,2 т.с., что составляет 10 % от первоначального веса моста без арочного каркаса.

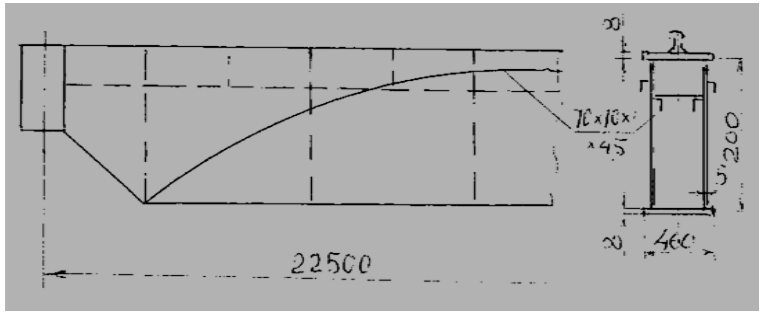


Рис. 2. Балка пролетного строения мостового крана

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Недоводеев, В. Я.** Перспективы снижения металлоемкости стержневых элементов, воспринимающих поперечную нагрузку // Современные научно-технические проблемы транспорта России : сб. материалов II междунар. науч.-техн. конф. – Ульяновск, 2002. – С.51–54.

2. **Недоводеев, В. Я**. К вопросу о влиянии дополнительного каркаса на металлоемкость крановых мостов сплошного сечения // Современные проблемы проектирования и эксплуатации транспортных и технологических систем : сб. трудов междунар. науч.-техн. конф. – СПб. : 2006. – 113–115.

При анодной поляризации в растворах, содержащих восстановители, на поляризационных анодных кривых в интервале потенциалов 500–1100 мВ, наряду с процессом выделения кислорода, наблюдается процесс окисления ионов восстановителей. На катодной ветви поляризационной кривой в области потенциалов 1150, 350 и (–250) мВ можно выделить три пика, соответствующих процессам стадийного восстановления ванадат-аниона. Процесс активного выделения водорода протекает при потенциалах отрицательнее (-800) мВ.

Анализ результатов исследования показал, что использование электрохимического метода позволяет оптимизировать процесс переработки ОВК на стадии проведения восстановительного выщелачивания, а также анодного выделения ванадийсодержащих компонентов из растворов выщелачивания.

Катодная поляризация ОВК (i = 1–5 А/дм^2) в течение 1 часа в процессе первичного выщелачивании позволяет совместить стадии водного и восстановительного выщелачивания. При этом скорость процесса растворения увеличивается в 9 раз по сравнению со скоростью выщелачивания соединений ванадия в водных растворах, при этом степень извлечения ванадийсодержащих соединений составляет около 95 %, общая потеря массы ОВК – более 60 % от массы исходной навески. В процессе электрохимической обработки растворов выщелачивания ОВК в прикатодной области формируется осадок, содержащий около 40 % ванадия.

Процесс анодного окисления компонентов раствора катодного выщелачивания проводили в электролизере с донным графитовым анодом при плотностях тока 1 и 5 А/дм^2. При анодной плотности тока 5 А/дм^2 максимальное содержание соединений ванадия (V) в растворе достигается после одного часа анодной поляризации. Дальнейшее увеличение времени электролиза приводит к интенсификации процессов гидролиза и образованию в прианодной области осадка, содержащего около 85 масс.% V_2O_5. В процессе термогидролиза электролитов, окисленных методом электролиза, из растворов выщелачивания извлекается до 98 масс.% V_2O_5.

Таким образом, использование электрохимических методов в процессе комплексной переработки ОВК позволяет достичь: совмещения стадий первичного и восстановительного выщелачивания; увеличения степени извлечения ванадийсодержащих компонентов; катодного восстановления ванадийсодержащих компонентов из рабочих электролитов непосредственно в процессе выщелачивания; электрохимического окисления предгидролизных растворов; анодного выделения V_2O_5 из растворов выщелачивания ОВК.

Использование электрохимического метода позволяет выделить ванадийсодержащие компоненты с высоким содержанием V_2O_5, отвечающим требованиям ТУ на данный реагент.

УДК 541.13: 621.357

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ СТАДИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

И. М. ЖАРСКИЙ, С. Е. ОРЕХОВА, И. И. КУРИЛО, Е. В.КРЫШИЛОВИЧ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Комплексная переработка промышленных отходов, содержащих ценные компоненты, широко реализуется во всем мире, вопросы, связанные с ней, актуальны и для ряда предприятий Республики Беларусь. Одним из приоритетных направлений в этой области является разработка высокоэффективных технологий переработки металлосодержащих промышленных отходов, в том числе отработанных ванадиевых катализаторов (ОВК) сернокислотного производства и ванадийсодержащих шламов газомазутных ТЭС.

Анализ элементного состава ванадийсодержащих промышленных отходов, образующихся на предприятиях Республики Беларусь, показал, что содержание ванадия в них в пересчете на V_2O_5 в среднем составляет: 7–10 % в ОВК, и 1,5–15 % в шламах ТЭС.

В результате проведенных исследований, установлена перспективность использования гидрометаллургических методов для утилизации и переработки ванадийсодержащих промышленных отходов. Схема переработки включает: стадию измельчения ОВК; стадию первичного водного выщелачивания; стадию восстановительного выщелачивания в водных растворах, содержащих восстановители; термогидролитическое осаждение V_2O_5 из растворов выщелачивания. Предложенная схема позволяет извлекать до 98 масс.% ванадийсодержащих соединений в пересчете на V_2O_5.

Целью данной работы является изучение возможности использования электрохимических методов для увеличения степени извлечения ванадийсодержащих компонентов и интенсификации стадий гидрометаллургического способа переработки ОВК, включающих окислительно-восстановительные процессы.

Исследования модельных кислых электролитов, содержащих соединения ванадия в различных степенях окисления, а также электролитов первичного и восстановительного выщелачивания ОВК показали, что на анодной ветви поляризационной кривой в области потенциалов (–250)–200 мВ наблюдаются пики анодного тока. Эти пики можно объяснить процессом десорбции водорода, а также окислением соединений ванадия (III–IV) до соединений ванадия (V). Процесс активного выделения кислорода протекает при потенциалах положительнее 1200 мВ.

УДК 634.377

АНАЛИЗ ВИБРОУСКОРЕНИЙ УПРОЧНЕННЫХ КОНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ПЕРЕДНЕГО ВЕДУЩЕГО МОСТА ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА ТТР–401

М. Н. ПИЩОВ, С. Е. БЕЛЬСКИЙ, А. Л. БОРИСЕВИЧ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Исследованиями установлено, что детали трансмиссии трелевочного трактора ТТР-401 при трелевке испытывают повышенные динамические нагрузки на конечные элементы трансмиссии, в частности на конические передачи переднего ведущего моста. Это вызывает необходимость дополнительного упрочнения серийно выпускаемых конических передач переднего ведущего моста трелевочных тракторов ТТР-401 способами, позволяющими получать более высокую микротвердость контактных поверхностей зубьев. Проведенными практическими исследованиями доказана перспективность использования для упрочнения зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов процесса боросилицирования с разработанным составам насыщения, при котором наряду с высокой микротвердостью и износостойкостью поверхности образуется упрочненный слой с низкой хрупкостью, что препятствует его выкрашиванию в процессе эксплуатации трелевочного трактора.

В связи с этим организованы сравнительные производственные испытания упрочненных цементацией и боросилицированием конических зубчатых колес переднего ведущего моста трелевочного трактора. Боросилицирование осуществлялось в разработанном составе насыщения (пат. № 11380 Республики Беларусь) при температуре насыщения 950 °С и времени насыщения 3–3,5 часа, что способствует образованию упрочненного слоя толщиной 200–250 мкм с поверхностной микротвердостью 11000–12000 МПа. Ограничение номенклатуры деталей трансмиссии, принятых для исследований объясняется, прежде всего, сложностью испытаний их в реальных условиях, связанной с большой продолжительностью процесса эксплуатации, необходимостью практически полной разборки и сборки сложных механизмов для исследования отдельных деталей и существенным непостоянством реальных условий испытаний во времени.

Производственные испытания упрочненных конических колес трелевочных тракторов ТТР-401 организованы в ОАО «Плещеницлес» и ГЛХУ «Слуцкий лесхоз». Основным параметром измерений зубчатых колес являлось виброускорение, которое генерировалось коническими парами при

эксплуатации трелевочного трактора. По изменению уровня виброускорений конических пар можно косвенно судить об износе зубчатых колес. При этом увеличение уровня виброускорений зубчатых колес приводит к повышению интенсивности их изнашивания.

Измерение виброускорений конических передач, упрочненных цементацией и боросилицированием, проводилось при наработке трелевочного трактора ТТР-401 в 50 моточасов, что соответствует новым парам и 2700 моточасов. Испытания трелевочного трактора проводились на первой, второй и третьей передачах КПП. В ходе испытаний датчик для измерения виброускорений монтировался к переднему ведущему мосту трелевочного трактора ТТР-401 в месте установки подшипников. Посредством шнура сигнал от датчика передавался к измерительному прибору, виброанализатору ВШВ-003-М2.

При измерении виброускорений конической передачи трелевочного трактора при наработке 2700 моточасов отмечается значительное повышение их уровней, особенно на второй и третьей передачах, для упрочненных боросилицированием пар на 2–3 дБ по сравнению с базовым, в то время как для цементированных зубчатых колес на 9,8–10 дБ. Это свидетельствует о повышенной интенсивности изнашивания цементированных конических зубчатых колес уже в период наработки трелевочного трактора ТТР-401 в 1700–1800 моточасов.

Осмотр зубьев конических колес показал наличие на контактной поверхности пластической деформации, задиров и заедания, что подтверждают полученные результаты измерений уровня виброускорений цементированных зубчатых колес, а также результаты исследований упрочненных образцов и стендовых испытаний. На зубьях колес, упрочненных боросилицированием видимых изменений контактной поверхности не обнаружено, уровни виброускорений возрастают незначительно, что свидетельствует о возможности длительной эксплуатации конической зубчатой пары. Полученные результаты по состоянию контактных поверхностей зубчатых колес, упрочненных цементацией и боросилицированием подтверждаются опытно-промышленными проверками в ОАО «Плещеницлес», которые проводились в период 2007–2010 гг.

шнековой экструзии материал подается в формующий канал в вязкотекучем состоянии, что и определяет конечные свойства изделий, обладающих монолитной, однородной по сечению структурой. Введение в формующий канал пресс-материала в твердой фазе позволяет технологически регулировать процессы плавления и отверждения материала в объеме формуемого изделия.

Предлагаемая технология плунжерной экструзии перспективна для изготовления высокопрочных погонажных изделий из измельченных отходов древесины и различных полимерных волокон.

В Институте инновационных исследований новым методом плунжерной экструзии были изготовлены трубы диаметром 127 мм и 159 мм с толщиной стенки 10 мм. Изготовление труб осуществлялось из высоконаполненных композиционных материалов, включающих в своем составе:

– измельченную древесину – 60 %, смесь измельченных отходов полиоксадиазольных и углеродных волокон в массовом соотношении 2,2-2,7:1 – 15 %, связующее в виде смеси фенолформальдегидной и кремний-органической смол в массовом соотношении 3:1 по сухому остатку – 22 %, модифицирующие добавки в виде стеарата алюминия, поливинилбутираля, поливинилового спирта и мочевины – 3 % (патент РБ № 10587);

– бесщелочное стекловолокно – 62 %, углеродное волокно – 5 %, фенолформальдегидную смолу по сухому остатку – 30 %, модифицирующие добавки – стеарат цинка, йодистый кадмий и фенилин – 3 % (патент РБ № 9630).

При изготовлении труб в качестве армирующего элемента использовали рифленую стальную проволоку диаметром 2,5 мм, которая располагалась в среднем сечении стенки трубы, что исключало ее корродирование при работе труб в агрессивных средах.

Изготовленные трубы использовали для производства корпусов роликов ленточных конвейеров, предназначенных для работы в наземных и шахтных условиях ПО «Беларуськалий», а также для изготовления элементов технологических трубопроводов для перекачки солевых растворов.

Использование армированных полимерных труб для изготовления трубопроводов и роликов ленточных конвейеров позволило в два раза увеличить срок их службы по сравнению с металлическими за счет снижения корродирующего влияния агрессивных сред. Значительно снизились их себестоимость и эксплуатационные расходы.

УДК 678.67.05

ПРОИЗВОДСТВО ПОГОНАЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПЛУНЖЕРНОЙ ЭКСТРУЗИИ

А. Н. ЕКИМЕНКО, С. Н. КОЛДАЕВА, Л. Н. ПОЛИЩУК,
А. С. РОМАНОВИЧ
Научно-производственное унитарное предприятие
«ИНСТИТУТ ИННОВАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»
Учреждение образования
«МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И.П. Шамякина»
Унитарное производственное предприятие
«НИВА»
Гомель, Мозырь, Солигорск, Беларусь

В связи со значительным ростом объемов производства, переработки и потребления полимерных материалов и древесины увеличиваются и их отходы. Использование таких отходов расширяет сырьевую базу промышленности, снижает потребность в первичном сырье, экономит средства производства. Кроме того, рациональное использование вторичных продуктов позволяет снизить экологическую напряженность предприятий деревообрабатывающей и химической промышленности.

Основными проблемами, препятствующими утилизации отходов в полном объеме существующими методами их промышленной переработки, являются недостаточная глубина переработки, существующие ограничения на состав перерабатываемых материалов и низкая рентабельность производств.

В Институте инновационных исследований разработана технология, позволяющая перерабатывать как отходы полимерных волокон, так и отходы древесины в виде щепы, опилок, стружки методом плунжерной экструзии. Измельченные отходы включаются в качестве наполнителя в пресс-материалы, перерабатываемые в погонажные изделия вида труб, досок, брусков, поручней, направляющих и других профилей. В качестве связующего используются термореактивные смолы, либо отходы термопластичных материалов в виде измельченной тары, пленки, крошки, стружки и т.п.

Одной из потребностей предлагаемой технологии, открывающей новые возможности для переработки композиционных материалов, является то, что пресс-материал вводится в формующий канал в сыпучем состоянии, когда отдельные его частицы находятся в твердой фазе. Переход материала в вязко-текучее состояние с последующим отверждением осуществляется непосредственно в формующем канале. При использовании

УДК 634.377

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ТРАКТОРОВ

М. Н. ПИЩОВ, С. Е. БЕЛЬСКИЙ, А. Л. БОРИСЕВИЧ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Исследование нагруженности колесных агрегатных машин на трелевке и вывозке древесины должно производиться комплексно с учетом преобладающих факторов, оказывающих наибольшее влияние и встречающихся чаще в различных условиях их эксплуатации. Основное внимание при работе колесной лесной техники уделяется эксплуатационной надежности, которая моментально не может быть определена в связи с большим количеством факторов объективного и субъективного характера происхождения.

Наука и исследования по эксплуатационной надежности, как прикладная отрасль знаний базируется на фундаментальных, математических и естественных науках. Особое значение для таких научных исследований имеет вопрос о применении математического аппарата, позволяющего осуществлять оценку и прогнозирование эксплуатационной надежности специальных лесных машин. Достоверные методы прогнозирования долговечности основных узлов и деталей лесных машин необходимы для обоснования проекта на стадии проектирования транспортного средства с учетом специфики эксплуатационных условий, а также для решения таких конструкторско-технологических вопросов как:

– выбор оптимальной структуры энергетического агрегата;

– расчет потребности в запасных частях;

– периодичность плановых технических обслуживаний;

– обоснование требований по эксплуатационной надежности сопряженных деталей.

На наш взгляд главная задача прогнозирования состоит в сокращении сроков доводки проектируемых колесных лесных агрегатных транспортных средств за счет комплексного использования информации о результатах расчетов, испытаний, опытов эксплуатации аналогов в настоящем и прошлом. Процесс создания более современных с точки зрения конструкторов лесных машин на протяжении всего исторического пути сопровождается повышением мощности силовой установки, что приводило к увеличению числа деталей отдельных систем, критическим по надежности. Все это определяет необходимость совершенствования методик расчетного

прогнозирования за счет систематизации ранее выполненных работ и исследований, а также широкого использования статистических данных по результатам эксплуатации машин данной модели и расчетов ресурса на ПЭВМ.

Существует несколько методов для выполнения исследований и расчетов, базирующихся на наличии статистического материала и аппаратно–вычислительного обеспечения самого исследования. В каждом методе есть свои преимущества и недостатки и чтобы избежать их количественного влияния необходимо пользоваться комбинированными методами, объединяющими достоинство основных. Методы расчета основных деталей и узлов специальных колесных лесных машин, заимствованы из автотракторастроения и позволяют с учетом специфики работы оценить динамическую нагруженность, которая и позволяет выйти на прогнозные показатели ресурса работы. В практике расчетных исследований по прогнозированию ресурса обычно преобладают следующие методы:

– прогнозирование по результатам завершенных эксплуатационных испытаний;

– прогнозирование по результатам незавершенных эксплуатационных испытаний;

– прогнозирование по результатам ускоренных испытаний на натурных моделях;

– прогнозирование по результатам испытаний имитационными методами на расчетных моделях;

– прогнозирование ресурса экономико-вероятностными методами.

Каждый из указанных методов прогнозирования надежности в той или иной мере зарекомендовал себя с лучшей стороны для каких-то определенных условий.

Источникам внешних воздействий для колесных агрегатных машин является трелевочный волок, по которому они транспортируют заготовленную древесину. Основной статистической характеристикой случайного процесса является корреляционная функция, по которой могут быть определены дисперсия и спектральная плотность. Для практической оценки динамической нагруженности необходимо знание дисперсии и спектральной плотности процесса. Обычно спектральную плотность процесса получают с помощью прямого функционального преобразования Фурье.

В последующем была разработана математическая модель колесный трелевочный трактор – пачка деревьев с учетом параметров базовой машины, позволяющая использовать результаты спектрального анализа внешнего воздействия при расчетах динамической нагруженности элементов трансмиссии. Представленная методика определения внешних возмущающих воздействий может быть применена при динамической нагруженности шестерен переднего и заднего мостов.

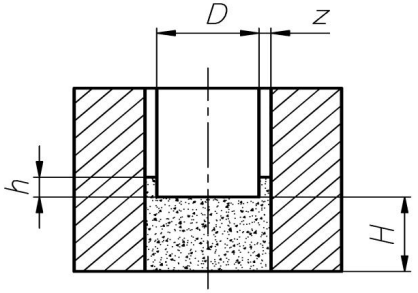


Рис. 1. Принципиальная схема испытаний

Предметом исследования являлись характеристики структур: пористость на четвертой и пятой стадии уплотнения, величина эффективного межинструментального зазора, температурный градиент, уровень межчастичного сращивания. Были определены физико-механические характеристики отпрессованного материала: механическая прочность $\sigma_в$, пластичность δ, φ, твердость HB, интенсивность искажения кристаллографических плоскостей I, полуширина дифракционного пика тонкой структуры β. Были реализованы многократные эксперименты, использован метод математической статистики.

Получены комплексные параметрические модели в виде полиномов множественного порядка, определяющие влияние плотности, зазора и влажности на плотность четвертой, пятой стадии прессования железосодержащих порошков (1), а также влияние зазора и влажности механической смеси на массоперенос (2):

$$Y1 = 0{,}905179 - 0{,}241071x1 + 0{,}8375x2 + 0{,}0975x_3,$$
$$Y2 = 0{,}960321 - 0{,}071429x1 + 0{,}45x2 + 0{,}04x3; \quad (1)$$
$$Y3 = 0{,}144643 - 0{,}892857x1 + 8{,}75x2 + 0{,}75x_3,$$
$$Y1 = - 0{,}0025278 + 10{,}355556x1 + 0{,}2x2. \quad (2)$$

Проведенные исследования позволяют существенно расширить эффективность процесса уплотнения порошковых материалов за счет рационального выбора влажности смеси, конструкции оснастки и физических свойств транспортирующей жидкости.

С целью получения прогностических решений при разработке технологии уплотнения необходимо решить оптимизационные задачи на основе стандартных методов (штрафных функций, метода Ньютона, симплекс метода, целевой функции).

УДК 621.762.01

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СТРУКТУР

И. Ф. ДЬЯКОВ, С. Г. БЕЛОБОРОДОВ, В. Н. КОКОРИН
Государственное общеобразовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Ульяновск, Россия

В условиях развития рыночных отношений в России особенно остро стоит проблема развития и модернизации промышленного производства, повышения его эффективности на основе создания и внедрения инновационных технологий и улучшения качества продукции. Основной тенденцией современного машиностроения является создание новых машин и механизмов с высокими рабочими параметрами на основе изготовления деталей и заготовок, обладающих требуемым уровнем физико-механических, технологических и потребительских свойств.

На кафедре «М и ОМД» и «ОПМ» УлГТУ проведено исследование по оптимизации технологического процесса прессования высокоплотных заготовок и деталей, имеющих существенную потребительскую стоимость.

В экспериментальных работах были проведены комплексные исследования с целью выявления функциональных (качественных и количественных) связей между контролируемыми входными технологическими параметрами и выходными откликами, определяющими характеристику формоизменения и уплотнения. Исследовалось влияние физических свойств жидкостей (плотность ρ при температуре 20°С), величины межинструментального зазора (z) и исходной влажности (w) механической смеси на процесс консолидации железного порошка при получении высокоплотных структур. В качестве параметров оптимизации (откликов) были приняты: плотность структуры на четвертой и пятой стадиях уплотнения, а также температура жидкости, вытесняемой в зазор (измерение температуры производилось с помощью цифрового мультиметра ДТ-838, погрешность измерения составила ± 1 %. На рис 1 представлена принципиальная схема испытаний.

УДК 621.785.532

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ 25ХГТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЛЕКСНОГО БОРИРОВАНИЯ

М. Н. ПИЩОВ, С. Е. БЕЛЬСКИЙ, Ю. П. НЕСТЮК
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Лесная промышленность Республики Беларусь представлена лесными и лесопромышленными предприятиями, которые оснащены различной техникой: агрегатными лесосечными машинами, трелевочными тракторами, лесовозными автопоездами и другим оборудованием. Условия эксплуатации ряда сложнонагруженных деталей машин характеризуются значительным трением, интенсивным износом их рабочих поверхностей, а также вибрациями широкого амплитудно-частотного диапазона. Работа трелевочного трактора постоянно сопровождается наездами на препятствия разного рода: пни, валежник, неровности, валуны, и т.д. Нагрузки на трансмиссию также создаются при трогания с места и при трелевке пачки деревьев. Доказано, что динамические крутящие моменты в трансмиссии колесного трактора имеют наибольшее значение при интенсивном трогании с места.

Для повышения надежности и срока службы подобных изделий возникает необходимость применения различных способов поверхностного упрочнения. Одним из наиболее простых и доступных способов повышения поверхностной твердости, а также износостойкости деталей является их диффузионное упрочнение, которое проводится следующим образом. Деталь помещается в контейнер, выполненный из жаростойкой стали. На зубья шестерни наносится специально приготовленная обмазка на расстоянии 2 см от поверхности контейнера с каждой стороны, далее контейнер вместе с шестерней помещаются в нагревательную печь на 3–4 часа для образования необходимой толщины диффузионного слоя. Упрочнению подвергались только зубья шестерни.

Для осуществления низкочастотного и высокочастотного нагружения был разработан, а позднее модернизирован комплекс магнитострикционных резонансных установок, позволяющий проводить испытания различных конструкционных материалов (как металлических, так и неметаллических) на больших базах испытаний в широком диапазоне частот (0,3 кГц – 18 кГц) и температур (300–1000 °К). Учитывая специфику исследований и особенно резонансный режим нагружения, с целью уменьшения разброса результатов экспериментов особое внимание обращалось

на качество и механические свойства материала заготовок. С целью исключения влияния разброса химического состава на результаты испытаний, образцы вырезались из металла одной поставки. Технология механической обработки предусматривала на заключительной стадии съем слоя минимальной толщины с целью предотвращения влияния технологической наследственности, а термообработка образцов проводилась одной партией.

Для ускоренного определения усталостных характеристик упрочненных образцов как в условиях знакопеременного изгиба, так и при растяжении-сжатии использовалась магнитострикционная установка (резонансная частота 18,0 кГц). Исследования проводились для разного времени и температур насыщения, что соответствует формированию в диффузионных слоях разных уровней остаточных напряжений сжатия.

Результаты испытаний позволили установить повышение предела выносливости σ_{-1} боросилицированных образцов по сравнению с улучшенными и закаленными ТВЧ в 1,4–1,9 раза, по сравнению с цементированными в 1,6–1,7 раза и по сравнению с борированными в 1,4–1,6 раза при меньшем разбросе долговечности благодаря более однородной структуре упрочненного слоя. Повышение усталостных характеристик при боросилицировании связано в основном с образованием в упрочненном слое остаточных напряжений сжатия, которые замедляют образование усталостной трещины. Снижение усталостных характеристик при борировании, отмечаемое при увеличении времени и температуры насыщения, связано с высокой хрупкостью упрочненного данным методом диффузионного слоя.

На основании полученных результатов по усталостной прочности упрочненной поверхности были определены допускаемые контактные напряжения и допускаемые напряжения при изгибе при боросилицировании зубчатых колес, которые увеличиваются по сравнению с цементированными соответственно в 1,45 и 1,4 раза и достаточны для работы конических передач трансмиссий трелевочного трактора. Полученные значения допускаемых напряжений могут использоваться при проектных и проверочных расчетах зубчатых колес.

На основании полученных данных установлено, что оптимальным для повышения усталостных характеристик является время насыщения 2,5–3,5 часа при температуре процесса 900–1000 $^{\circ}C$. При этом образуется упрочненный слой толщиной от 120–250 мкм достаточной для работы зубчатых передач трансмиссий в условиях интенсивного изнашивания и динамических нагрузок. Повышение времени обработки свыше 3,0 часов приводит к постепенному снижению величины $N_ц$ вследствие коагуляции Fe_2B, а также образования в поверхностном слое фазы FeB, обладающей повышенной хрупкостью.

Условия формирования отливки при литье намораживанием определяют получение плотной мелкодисперсной структуры с твердостью материала в литом состоянии 45…48 HRC, что создает определенные трудности при дальнейшей обработке. Разработан ресурсосберегающий режим отжига с использованием первичного тепла отливок, позволивший получать твердость материала не более 32 HRC. Полученная твердость обеспечивает обрабатываемость БВХЧ лезвийным инструментом с удовлетворительной производительностью. Для получения твердости материала деталей на уровне 40…41 HRC были проведены исследования режимов термообработки. Установлено, что закалка от 830 ºС с выдержкой 15 мин при этой температуре и индивидуальное охлаждение деталей на воздухе (в естественных условиях) с последующим высоким отпуском в течение 2,5 часов, обеспечивают получение требуемой твердости материала.

Микроструктура (рис. 1) опытной партии деталей (рис. 2) из БВХЧ – сорбит с включением мелкодисперсных карбидов, что соответствует требованиям ТУ серийных деталей, работающих в условиях сухого трения.

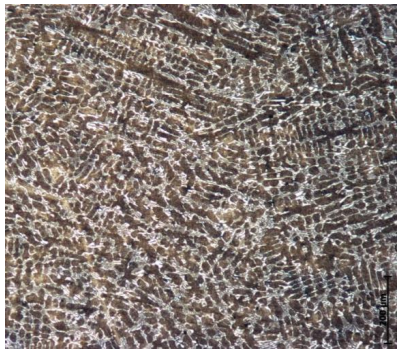


Рис. 1. Структура БВХЧ

Рис. 2. Образцы деталей из БВХЧ

Таким образом, определены принципиальная возможность и технологические основы литья методом намораживания без стержня полых цилиндрических заготовок с модулем 20 мм из БВХЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Марукович, Е. И.** Непрерывно-циклическое литье полых цилиндрических заготовок из высокохромистого чугуна / Е. И. Марукович, В. Ф. Бевза, В. П. Груша // Литье и металлургия. – 2009. – № 3 (52). – С. 165–168.

УДК 621.74.047

ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА

В. П. ГРУША
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН БЕЛАРУСИ»
Могилев, Беларусь

Среди сплавов со специальными свойствами достаточно широко распространены белые высокохромистые чугуны (БВХЧ), нашедшие широкое применение при изготовлении деталей, работающих в условиях сухого трения. Значительное количество таких деталей имеют форму полых тел вращения с диаметром до 70 мм. Существующие технологии производства заготовок для подобного рода деталей уже не всегда удовлетворяют возрастающим требованиям по качеству. Разработка ресурсосберегающей технологии получения подобных заготовок методом намораживания в непрерывно-циклическом режиме литья является своевременным актуальным направлением. Цель работы заключалась в определении возможности изготовления этим методом полых цилиндрических заготовок из БВХЧ с модулем m = 20 мм при толщине стенки 12-14 мм ($m = V_{отл}/S_{пов}$ – отношение объема отливки к ее охлаждаемой поверхности).

Для ее достижения необходимо было решить следующие задачи: разработать специальную технологическую оснастку; определить технологические параметры литья и режимы термообработки материала.

Подобные задачи были успешно решены при получении полых цилиндрических заготовок (***m=30 мм***) из высокохромистого чугуна для деталей оборудования сталепроволочного производства [1]. При достижении поставленной цели необходимо было учесть специфику процесса литья намораживанием, отличающуюся разливкой малых объемов расплава, участвующего в формировании отливки ($M_{отл} \approx 3$ кг).

Для этого, в первую очередь, необходимо обеспечить постоянство температуры жидкого металла, подаваемого в литниковую систему. Это способствует стабилизации температуры расплава, участвующего в формировании отливки, и исключает перемерзание каналов литниковой системы. Задача была решена за счет периодической порционной подачи перегретого расплава в разливочный ковш. Также была разработана специальная конструкция литниковой системы (металопровод и соединительный стакан), обеспечивающая минимальные потери тепла от расплава, постоянно находящегося в ее каналах и периодически подаваемого в кристаллизатор. Спроектирован и изготовлен специальный кристаллизатор с тонкостенной (ξ = 12 мм) стальной водоохлаждаемой рабочей втулкой.

УДК 796.01; 531.3

ГЕОМЕТРИЯ МАСС ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

*А. Е. ПОКАТИЛОВ, В. И. ЗАГРЕВСКИЙ, Д. А. ЛАВШУК
*Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»
Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.А. Кулешова»
Могилев, Беларусь

При исследовании целенаправленного движения человека в моделях динамики биомеханической системы (БМС), представляющей собой опорно-двигательный аппарат человека, масс-инерционные характеристики звеньев входят в виде коэффициентов. При силовом анализе это коэффициенты C_{ij}, куда входят массы, длины звеньев, и положения их центров масс. В уравнениях целенаправленного движения БМС, решенных относительно моментов управляющих сил мышечной системы $M_{i,i-1}$, это те же коэффициенты C_{ij} и A_{ij}, куда дополнительно входят центральные моменты звеньев биомеханической системы:

$$M_{i,i-1} = g\sum_{j=i}^{N} C_{ij}\cos Q_j + \ddot{L}_0\sum_{j=i}^{N} C_{ij}\sin\left(Q_0 - Q_j\right) + 2\dot{L}_0\dot{Q}_0\sum_{j=i}^{N} C_{ij}\cos\left(Q_0 - Q_j\right) + \\ + \sum_{k=0}^{N}\sum_{j=i}^{N} A_{jk}\ddot{Q}_k\cos\left(Q_k - Q_j\right) - \sum_{k=0}^{N}\sum_{j=i}^{N} A_{jk}\dot{Q}_k^2\sin\left(Q_k - Q_j\right).$$

Здесь Q_j, $\dot{Q}_j$, $\ddot{Q}_k$, $\dot{L}_0$, $\ddot{L}_0$ представляют собой обобщенные координаты, обобщенные скорости и обобщенные ускорения БМС и спортивного снаряда.

Таким образом, определение масс-инерционных характеристик человеческого тела является важнейшей задачей.

До недавнего времени серьезных методик решения этого вопроса не существовало, а пользовались данными, полученными во второй половине 19 века при исследовании замороженных трупов.

В 70-х годах в лаборатории ГЦОЛИФК кафедры биомеханики был разработан радиоизотопный метод определения масс-инерционных характеристик тела человека. Метод основан на результатах статистических исследований, проведенных еще в 20-м веке, и имеет все недостатки, присущие подобному подходу.

В тот же период Ю. А. Ипполитовым был предложен экспериментально-аналитический метод расчета коэффициентов A_i, входящих в уравнения для определения положения, скорости и ускорения общего центра

масс спортсмена. Коэффициенты также зависят от масс-инерционных характеристик человеческого тела. Достоинством метода является простота и применимость для каждого спортсмена. Коэффициенты определяются по уравнениям равновесия на основании взвешивания человека в горизонтальном положении с разными положениями конечностей, при этом один конец доски, на которой располагается человек, находится на напольных весах, а второй – на полу. Для трехзвенной системы коэффициенты A_i равны

$$A_1 = (m_1 S_1 + m_2 L_1 + m_3 L_1)/m_{БМС},$$
$$A_2 = (m_2 S_2 + m_3 L_3)/m_{БМС},$$
$$A_3 = (m_3 S_3)/m_{БМС}.$$

где m_i и $m_{БМС}$ – массы звена и всей биомеханической системы; L_i длина звена; S_i – положение центра масс звена.

Проведенные исследования показали, что в случае трехзвенной биомеханической системы, большую часть коэффициентов C_{ij} и A_{ij} можно рассчитать через A_i.

В табл. 1 представлены коэффициенты C_{ij} и A_{ij}, определяемые через A_i по методу Ю. А. Ипполитова.

Табл. 1. Масс-инерционные коэффициенты

№	Первоначальные C_{ij} и A_{ij}	Пересчитанные C_{ij} и A_{ij}
1	$C_{10} = m_{БМС} L_0$	$C_{10} = m_{БМС} L_0$
2	$C_{11} = m_1 S_1 + m_2 L_1 + m_3 L_1$	$C_{11} = A_1 m_{БМС}$
3	$C_{12} = m_2 S_2 + m_3 L_2$	$C_{12} = A_2 m_{БМС}$
4	$C_{13} = m_3 S_3$	$C_{13} = A_3 m_{БМС}$
5	$C_{22} = m_2 S_2 + m_3 L_2$	$C_{22} = A_2 m_{БМС}$
6	$C_{23} = m_3 S_3$	$C_{23} = A_3 m_{БМС}$
7	$C_{33} = m_3 S_3$	$C_{33} = A_3 m_{БМС}$
8	$A_{00} = m_{БМС} L_0^2$	$A_{00} = m_{БМС} L_0^2$
9	$A_{01} = (m_1 S_1 + m_2 L_1 + m_3 L_1) L_0$	$A_{01} = A_1 m_{БМС} L_0$
10	$A_{02} = (m_2 S_2 + m_3 L_2) L_0$	$A_{02} = A_2 m_{БМС} L_0$
11	$A_{03} = m_3 S_3 L_0$	$A_{03} = A_3 m_{БМС} L_0$
12	$A_{12} = (m_2 S_2 + m_3 L_2) L_1$	$A_{12} = A_2 m_{БМС} L_1$
13	$A_{13} = m_3 S_3 L_1$	$A_{13} = A_3 m_{БМС} L_1$
14	$A_{23} = m_3 S_3 L_2$	$A_{23} = A_3 m_{БМС} L_2$

Коэффициенты являются постоянными, поэтому их достаточно определить один раз и применять на всей траектории движения.

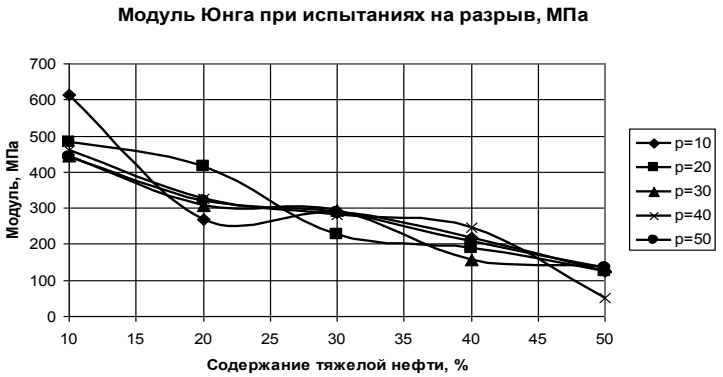


Рис. 2. Модуль упругости при испытаниях на разрыв пленок, сформированных из полиэтилена в зависимости от содержания тяжелой нефти при различном давлении формующих плит (Р, кг/см^2).

Анализ полученных данных показывает, что снижение предела прочности при испытаниях на разрыв и модуля упругости исследуемых материалов, наблюдаемое в области содержания нефти 10…20 мас.%, обусловленное пластифицирующим действием вводимой жидкости, в области 20…40 мас.% нефти сменяется стабилизацией.

Наблюдаемое при формировании гетерогенной структуры систем полимер – низкомолекулярная жидкость, изменение свойств связывается с выделением жидкости в качестве обособленной фазы. В составе полимерной матрицы содержание жидкости при этом существенно уменьшается. Повышение давления формирования способствует этому процессу. В результате свойства материала полимерной матрицы будут соответствовать свойствам композиционного материала со значительно меньшим содержанием низкомолекулярной жидкости, чем общее содержание ее в данном образце, что и обусловливает стабилизацию физико-механических свойств в рассматриваемом диапазоне концентраций.

Таким образом, можно утверждать, что пределом совместимости углеводородов нефти с полиэтиленом является их содержание в композиционном материале не более 20 мас.%. При дальнейшем увеличении содержания нефти в материале образуется система закрытых пор, заполняемых нефтью. При содержании нефти более 30…40 мас.% формируется структура, характеризуемая наличием открытых пор. Нефть из пор начинает интенсивно выделяться на поверхность пленок, наблюдается резкое уменьшение прочностных характеристик, особенно для пленок, сформированных при большом давлении (более 40 кг/ см^2).

УДК 678.742.2 – 036.742

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК, ИНГИБИРОВАННЫХ НЕФТЬЮ

Ж. Н. ГРОМЫКО, А. С. НЕВЕРОВ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
Гомель, Беларусь

При добыче, переработке и транспортировке нефти образуется большое количество отходов, утилизация которых представляет серьезную проблему. Выполненные ранее исследования показали, что полиэтиленовые пленки, наполненные нефтью, проявляют антикоррозионные свойства, что позволяет использовать их для упаковки и консервации металлопродукции. Деформационно-прочностные свойства защитного материала стоят в ряду главнейших характеристик, определяющих его пригодность для этих целей.

Для оценки физико-механических характеристик полимерного композиционного материала исследовали показатели разрушающего напряжения при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуль упругости. Испытания проводили на разрывной машине РМУ–0,05, при постоянной скорости деформации 50 мм/мин.

Результаты исследований отражены на графиках (рис.1, 2).

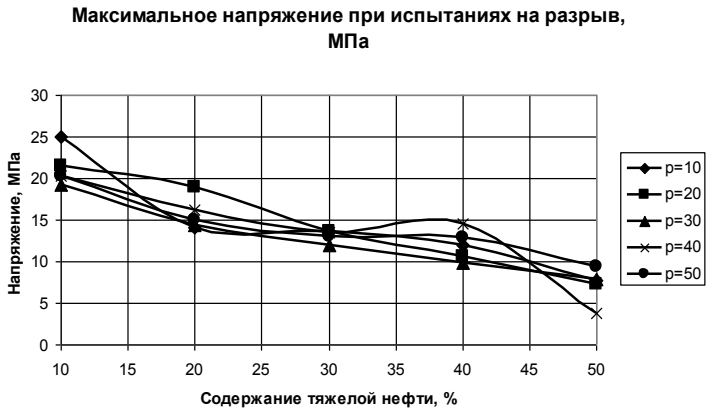


Рис. 1. Максимальное напряжение при испытаниях на разрыв пленок, сформированных из полиэтилена в зависимости от содержания тяжелой нефти при различном давлении формующих плит (Р, кг/см^2).

УДК 621.9

ПЛАВНОРЕГУЛИРУЕМЫЙ МЕХАНИЗМ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

О. А. ПОНОМАРЕВА, И. С. КОЛПАК
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Передаточное число рулевого механизма обеспечивает основные эксплуатационные качества рулевого управления. 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.

В рулевом механизме с винтовой передачей, циркулирующими шариками и зубчатой парой между гайкой и валом сошки переменное передаточное число получается в результате уменьшения радиуса зацепления зубьев сектора (рис. 1, а).

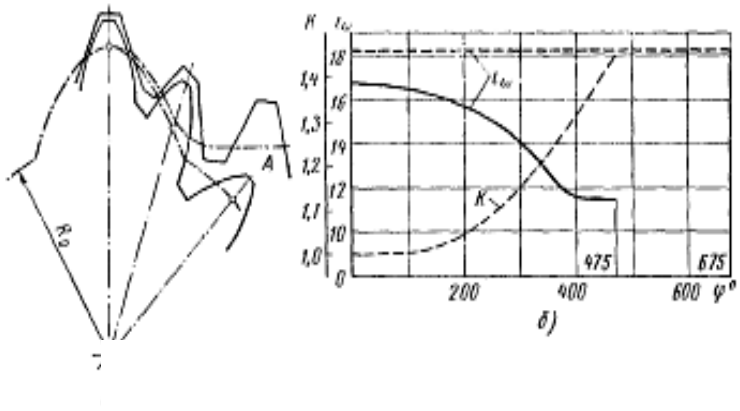


Рис.1. Винтовая передача с зубчатой парой с изменяющимся радиусом зацепления зубьев сектора

В этой передаче передний зуб сектора имеет наибольший радиус зацепления R_0 поэтому передаточное число i_ω в середине получается наибольшим и равным 16,7 (рисунок 1,б). Радиус зацепления соседних со средними и крайних зубьев уменьшается, поэтому передаточное число плавно уменьшается до 11,5 (сплошная кривая) при повороте рулевого ко-

леса на угол φ =470°. Уменьшение угла поворота рулевого колеса достигнуто не только вследствие переменного передаточного числа, но и уменьшения величины передаточного числа в середине. Средний зуб сектора получается по форме близким к нормальному, однако форма соседних со средним зубьев, расположенных на участках с наибольшим падением передаточного числа, получается чрезвычайно искаженной (рис. 1, а). Из приведенной кривой передаточного числа видно, что наиболее резкое его уменьшение получается в интервале угла 270-400° и далее оно остается постоянным до конца поворота. Однако наиболее резкое уменьшение желательно иметь и при малых углах поворота рулевого колеса.

Также очевидна и сложность изготовления сектора с таким профилем зубьев, кроме того, большие трудности возникают еще и в обеспечении способа регулировки зазоров и их компенсации при износе.

Очевидность не технологичности приведенного на рисунке 1 сектора стимулирует поиски более рационального способа реализации этой в целом полезной идеи. Из литературы известна конструкция плавнорегулируемой зубчатой передачи с цилиндрическими зубчатыми колесами. Заложенная в ней идея приводит следующей конструкции сектора механизма рулевого управления. Он, очевидно, должен представлять собой сектор цилиндрического зубчатого колеса ось вращения, которого не совпадает с центром колеса-заготовки. Зубчатая рейка этого механизма выполнена за одно целое с поступательно перемещающейся гайкой резьбовой пары качения и находится в зацеплении с таким 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 основу изобретения положена задача создания винтореечного рулевого механизма с переменным передаточным отношением, зубчатые элементы зубчатореечной передачи которого не требуют при их изготовлении специальной оснастки, то есть технологичны.

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 привлекаются студенты специальности “Техническая эксплуатация автомобилей”.

зивных частиц как извне, так и в составе технологической массы. Поэтому, в этом случае, основное внимание необходимо уделить разрушению ТП вследствие действия механизма поверхностного микрорезания. Оценку сопротивляемости материала микрорезанию можно проводить по результатам измерения микротвердости. Правомерность оценки износостойкости по измеренной микротвердости вытекает из рассмотрения механизма износа. С точки зрения молекулярно-механической теории, наиболее полно учитывающей действие всех факторов, интенсивность износа в значительной степени зависит от твердости истираемой поверхности и наличия адгезионных связей между взаимодействующими поверхностями.

Увеличение твердости защитного покрытия приводит к изменению условий износа – уменьшению или полному исключению режима микрорезания. В этом случае обеспечивается оптимальный режим – упругое взаимодействие контактирующих поверхностей. Метод оценки прочностных свойств по измеренной микротвердости получил распространение также из-за относительной простоты и невысокой трудоемкости. Исследование микротвердости проводилось с использованием индентора Кнупа, с дальнейшим поиском отпечатков в электронном и оптическом микроскопах. Измерения микротвердости по поверхности образцов с нанесенным тонкопленочным кремнийсодержащем покрытием после высокотемпературных испытаний (твердый сплав типа ВК) показали незначительный рост микротвердости при частичном снижении пластичности покрытия. Микротвердость ТП на основе оксидов кремния составила $H_k^{\mu} = 9{,}5 - 12{,}7 ГПа$. Исследование микротвердости жаростойкого кремнийсодержащего ТП на подложках из стали 40Х и У8А не дали положительных результатов. Причиной невозможности определения микротвердости является слишком большая разница в прочностных свойствах подложки и ТП. В результате действия высоких температур происходит разупрочнение подложки. Твердость образцов подложек после высокотемпературных испытаний находилась в пределах 15…20 HRC, что значительно ниже твердости ТП. Поэтому получение качественных отпечатков от индентора на поверхности ТП оказалось невозможным. Все отпечатки имели сколы покрытия по границе, что указывает на то, что собственно внедрение индентора в ТП не происходило, а наблюдаемая картина – это когезионное разрушение ТП за счет пластического деформирования поверхностных слоев подложки в зоне отпечатка индентора.

Эксплуатационные испытания показали, что данный факт не оказывает существенного влияния на защитные свойства жаростойких ТП. Это связано с невысокими контактными давлениями, возникающими в процессе их работы.

следующей дополнительной механической обработки (повторная чистовая шлифовка без применения СОЖ, например, с помощью лепестковых кругов).

Исследования фрагментов ТП, отделенных от подложки по оригинальной методике теплового удара, позволили сопоставить вид поверхности ТП с наружной стороны и со стороны подложки.

Сопоставление выявило наличие симметричных впадин и выступов, соответственно, с обеих сторон отделенных фрагментов, что указывает на повторение рельефа поверхности подложки (следов механической обработки) осаждаемым ТП. Данное явление особенно характерно для толщин ТП в интервале до 0,5 мкм. Дальнейшее увеличение приводит к сглаживанию неровностей на наружной поверхности ТП и по достижении толщины до 1,0…1,5 мкм следы повторения рельефа подложки практически неопределимы.

Наличие дефектов поверхности (следов масляных пленок, окалины, окисных пленок, остатки абразивного материала) во впадинах рельефа поверхности является источником дефектов ТП – несплошностей поверхности наносимого защитного покрытия.

УДК 621.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖАРОСТОЙКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ

А. Л. ГОЛОЗУБОВ, А. А. ГОЛОЗУБОВА
Учреждение образования
«МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И.П. ШАМЯКИНА»
Мозырь, Беларусь

Одной из основных характеристик жаропрочных тонкопленочных кремнийсодержащих покрытий (ТП) является когезионная прочность. С точки зрения работоспособности ТП наиболее важным является его способность сопротивляться механическому воздействию при контакте с технологическими средами. При производстве пластмассовых и резинотехнических изделий высоких контактных давлений нет, и основной причиной выхода из строя защитных покрытий является образование царапин на их поверхности. Это происходит из-за случайного попадания различных абра-

УДК 621.83.06

КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕКРЫТИЯ РОЛИКОВЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ

А. П. ПРУДНИКОВ, М. Е. ЛУСТЕНКОВ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Передачи с промежуточными телами качения (ППТК), не конкурируя по энергоэффективности с передачами традиционного зубчатого зацепления по всему спектру редукторов общемашиностроительного назначения, находят свое применение для создания средств малой механизации и малогабаритного технологического оборудования. Данная сфера применения определяется достоинствами этих передач, к которым относятся: малые габаритные размеры, высокий коэффициент перекрытия, многопоточность при передаче нагрузки, низкая материалоемкость, возможность создания многоступенчатых конструкций и широкие кинематические возможности.

Проведен силовой анализ передач с составными роликовыми сателлитами, который позволяет определять максимальные и средние за цикл зацепления (полный оборот ведомого вала) силы, приходящиеся на один ролик.

Также исследован коэффициент перекрытия ППТК, то есть определено количество роликов, участвующих в передаче нагрузки. Данный коэффициент необходим для проведения силового расчета передачи. Получено неравенство, связывающее углы поворота звеньев передачи и ее геометрические параметры. Подстановка угла дополнительного поворота системы координат $\varphi=0\div\varphi_н$ ($\varphi_н$ – угловой шаг расположения вершин периодического торцового профиля наружного кулачка) в данное неравенство позволяет путем расчета среднего арифметического определить среднее количество роликов, не передающих нагрузку, за один оборот ведомого вала, что дает возможность рассчитывать детали на износостойкость и более точно определять КПД передачи.

Результаты расчета (усредненные за один оборот ведомого вала) получены с помощью ЭВМ, путем автоматизации разработанного алгоритма в программном пакете Visual Basic. Определено также максимальное за один оборот ведомого вала количество роликов, участвующих в передаче усилия на ведомый вал. Это позволяет выполнять в дальнейшем расчет на прочность и износостойкость деталей передачи, а также определять ее КПД.

УДК 629.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ

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

Характерная особенность динамической модели планетарной передачи – топологическое вырождение, что усложняет разработку ее математической модели существующими методами. Предложена методика моделирования планетарных передач, позволяющая использовать высокоэффективный структурно-матричный метод формирования моделей. Он обеспечивает полную формализацию процесса получения математической модели и может применяться для объектов сложной структуры. Получаемая математическая модель представляется в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши (линейных или нелинейных).

Рассмотрим возможность использования структурно-матричного метода при моделировании планетарных передач. При моделировании планетарных передач обычно оказывается, что жесткость их элементов (зубчатых колес, водила, осей сателлитов и других деталей) значительно превышает жесткость валов. Поэтому упругими свойствами элементов в практике моделирования пренебрегают. На рис.1,*а* показана динамическая модель планетарной передачи. Она включает инерционные, трансформаторные и фрикционные элементы.

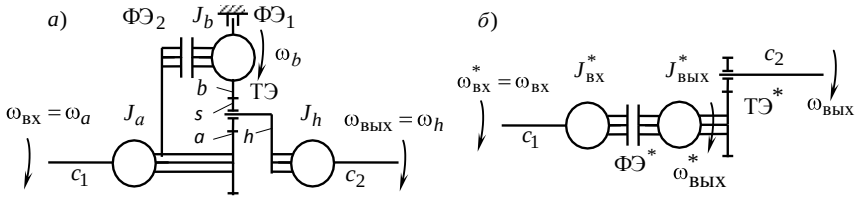


Рис.1. Динамическая модель планетарной передачи (*а*) и ее эквивалентная динамическая модель (*б*)

Инерционные элементы (сосредоточенные массы с моментами инерции J_a, J_b, J_h) отображают инерционные свойства соответственно двух центральных зубчатых колес *a* и *b* и водила *h*. Значения J_a, J_b, J_h определяются с учетом инерционных свойств сателлитов *s*. В данном случае три

УДК 621.7

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЖАРОСТОЙКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ

А. Л. ГОЛОЗУБОВ
Учреждение образования
«МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И.П. Шамякина»
Мозырь, Беларусь

Состояние поверхности подложки оказывает непосредственное влияние не только на качество наносимого покрытия, но и на его эксплуатационные свойства.

Существенное значение имеют следующие факторы:

– шероховатость поверхности;

– наличие поверхностных дефектов поверхности подложки (поры, раковины, трещины);

– наличие поверхностных загрязнений, в том числе технологического характера (поверхностные пленки консервационных материалов, следы смазывающе-охлаждающих жидкостей, остатки абразивного материла, окисные пленки, окалина).

Наличие поверхностных трудноудаляемых пленок на основе смазывающих материалов приводит к образованию дефектных участков покрытия, а также может служить очагами отслоения покрытия при действии высоких температур. Данная проблема связана с трудностью удаления масляных пленок с участков поверхностей, труднодоступных для обработки с применением растворителей. Особенно это характерно для поверхностей, имеющих шероховатость $3{,}2 \le R_a \le 6{,}3$.

Немаловажное значение имеет и основа смазывающе-охлаждающих жидкостей. Смазывающе-охлаждающие жидкости на основе минеральных масел не создают существенных проблем при обезжиривании поверхностей, подлежащих обработке. Для качественной подготовки поверхности достаточно выполнения требований ГОСТ 9.402-80 (степень обезжиривания поверхности должна быть не ниже первой), или проведения общего обезжиривания с помощью щеток и протирочного материала, смоченного бензином-растворителем (ГОСТ 3134-80) с последующей протиркой ацетоном (ГОСТ 2768-84).

Смазывающе-охлаждающие жидкости на основе живичной эмульсии имеют повышенную адгезию к обрабатываемым поверхностям и являются более агрессивной коррозионной средой. Обработанные с ее помощью поверхности практически не поддаются химической очистке и требуют по-

ось ординат дуг a_1b_1, a_2b_2' и a_3b_3, меньшей предыдущего варианта, а следовательно, с меньшими затратами энергии.

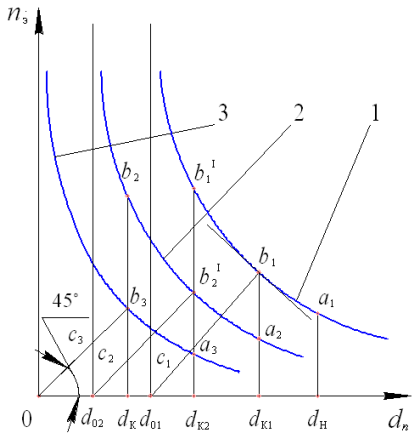


Рис. 1. Зависимость удельной энергии измельчения от размера частиц материала

По приведенным на рис. 1 графическим изображениям этих гиперболических зависимостей, для разных способов измельчения одного и того же связно-сыпучего материала представляется возможным принимать решения о последовательности использования этих способов и размерах частиц, по достижении которых следует менять способ измельчения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сиденко, П. Л.** Измельчение в химической промышленности / П. Л. Сиденко. − М.: Химия, 1968. − 382 с.

2. **Серго, Е. Е.** Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / Е. Е. Серго. − М.: Недра, 1985. − 322 с.

3. **Авакумов, Е. Г**. Механические методы активации химических процессов / Е. Г. Авакумов. − Новосибирск: Наука, 1986. − 208 с.

4. **Ложечников, Е. Б.** Прокатка в порошковой металлургии / Е. Б. Ложечников. − М.: Металлургия, 1987. − 185 с.

5. **Ложечников, Е. Б.** Переработка промышленных отходов в валковых мельницах / Е. Б. Ложечников, А. В. Бусел // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии. − Гродно, 1995. − Т.1. − С. 165–170.

6. **Ложечников, Е. Б.** Технология размола материалов в ролико-кольцевой мельнице центробежного типа / Е. Б. Ложечников, Е. М. Дубовская // Материалы, технологии, инструменты. − 1999. − № 1. − С. 79-81.

инерционных элемента взаимодействуют между собой только посредством трансформаторного элемента ТЭ. Характер их взаимодействия определяется одним из включаемых (или включенных) фрикционных элементов ФЭ1 или ФЭ2. Таким образом, динамическая модель ТДТ имеет топологическое вырождение. Удобно привести ее к эквивалентной модели, представленной на рис. 1,*б*.

Соотношения между угловыми скоростями ω_{ij} сосредоточенных масс динамической модели планетарной передачи и ее эквивалентной модели $\omega^*_{вх}$ и $\omega^*_{вых}$ имеют вид:

$$\omega_{ij} = \left(\omega^*_{вх} - \omega^*_{вых} u_i / u_j\right) / (1 - u_i);\ i = \overline{1,n},\ j = \overline{1,n+1},$$

где u_i – передаточное число, обеспечиваемое включением i-ой передачи; u_j – передаточное число включаемой (или включенной) передачи, для которой определяются значения моментов инерции $J^*_{вх}$ и $J^*_{вых}$; n – количество передач с передаточными числами, не равными единице.

Определены параметры эквивалентной динамической модели $J^*_{вх}, J^*_{вых}$:

$$J^*_{вх\,j} = J_{вх} + \sum_{i=1}^{n} J_i \left(\omega_{ij} / \omega^*_{вх}\right)^2;\ j = \overline{1,n+1},$$

Установлено соотношение между моментами фрикционных элементов обеих моделей $M_ф$ и $M^*_ф$ при включении j-ой передачи с передаточным числом u_j:

$$M^*_{ф\,j} = M_{ф\,j} \left/ \left|1 - u_j\right|\right. .$$

Соотношения между моментами блокировочного фрикциона прямой передачи обеих моделей соответствует выражению

$$M^*_ф = M_ф \left|\omega_{отн} / \omega_{вх}\right|,$$

где $\omega_{\text{ïîí}}$ – относительная угловая скорость дисков блокировочного фрикциона, определяемая при заданном значении $\omega_{вх}$ и $\omega_{вых} = 0$.

Предложенная методика позволяет использовать структурно-матричный метод при моделировании планетарных передач с двумя степенями свободы, несмотря на характерное для них топологическое вырождение динамической модели. Она может применяться также для любой кинематической схемы планетарной передачи. При числе степеней свободы передачи более 2-х она расчленяется на части и представляется в виде совокупности последовательно расположенных планетарных передач с двумя степенями свободы, между которыми вводятся упругие элементы – для исключения топологических вырождений в их соединениях.

УДК 621.833.389

ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНОГО ЗАЗОРА И ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА НАГРУЗКИ ПОДШИПНИКОВ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ КАЧЕНИЯ

С. Н. РОГАЧЕВСКИЙ, М. Э. ПОДЫМАКО, Н. И. РОГАЧЕВСКИЙ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилёв, Беларусь

В приводах рабочих органов машин и оборудования часто используются червячные передачи, благодаря известным достоинствам. Однако в этих передачах наблюдается относительное скольжении рабочих поверхностей зацепляющихся звеньев, что является причиной низкого КПД (повышенного тепловыделения и износа, склонности к заеданию). Стремление устранить эти недостатки привело к разработке червячных передач качения, в которых отсутствует причина, вызывающая значительные потери, так как в зацеплениях звеньев скольжение заменено качением.

В этих передаточных механизмах вместо червяка используется закрепленная на ведущем валу витая цилиндрическая (бочкообразная) пружина или винт с прямоугольной (трапецеидальной) резьбой, а вместо червячного колеса применяется один или два диска с закрепленными в них консольно в подшипниках пальцами. При этом каждый подшипник поочередно нагружается винтом (пружиной) не только традиционными радиальной и осевой силами, но и воспринимает изгибающий палец момент. Момент имеет значительную величину, так как плечо приложения изгибающей силы соизмеримо с диаметром рабочей поверхности пальца. Момент способствует уменьшению радиального зазора в подшипнике и осевой игры из-за относительного перекоса колец на 8…16', что приводит к распределению нагрузки между всеми телами качения, а не их половиной, как при действии только радиальной силы. При этом тела качения нагружены неравномерно. Величина воспринимаемой конкретным шариком силы пропорциональна удалению его от мгновенной оси относительного перекоса колец.

Для научно обоснованного подхода к проектированию передач качения необходимы исследования несущей способности подшипников качения. Этим исследованиям посвящена настоящая работа, в которой решены следующие задачи: разработана и реализована математическая модель подшипника с учетом контактных взаимодействий его элементов;
оценено влияние на несущую способность подшипника величин радиального зазора и эксцентриситета приложения нагрузки.

В качестве объекта исследования принят радиальный шариковый подшипник 204 с восемью телами качения. Статическая грузоподъемность подшипника составляет 6500 Н. Математическая модель подшипника реа-

УДК 621.762

МНОГООПЕРАЦИОННОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ СВЯЗНО-СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

А. К. ГАВРИЛЕНЯ
Учреждение образования
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Барановичи, Беларусь

Для улучшения и придания материалам потребительских и технологических свойств широко используются операции их измельчения. Наиболее распространены способы измельчения силовым воздействием на материал, в результате которого происходит его деформация и разрушение на мелкие куски, гранулы и порошок [1-5]. При этом с уменьшением размеров частиц удельная энергоемкость их измельчения возрастает и по достижению размеров d_o, минимальных для конкретных материалов, способов и условий процесса, измельчение прекращается.

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований [6] дает основание моделировать зависимость удельной энергоемкости измельчения $n_э$ от размеров частиц порошка $d_к$ дробной рациональной функцией

$$n_э(d_к - d_0) = E_э = 0{,}5C^2, \qquad (1)$$

где $E_э$ − параметр, зависящий от свойств и состояния материала, способа, режима и условий процесса измельчения.

Так, например, для измельчения порошка с начального размера частиц $d_н$ до размера $d_к$ из рис. 1 следует, что по способу, описываемому кривой 1, невозможно измельчение материала до размера частиц $d_к$. Для достижения требуемой степени размола $(d_н/d_к)$ и размера частиц $d_к$ необходимо использовать измельчитель с другим механизмом и режимом силового воздействия на материал, например, описываемый кривой 2. При этом, с точки зрения возможностей и удельных энергозатрат, целесообразно по способу 1 проводить измельчение до размеров частиц ~ $d_{к1}$, а затем по способу, описываемому кривой 2, обеспечивающему возможность получения порошка требуемой дисперсности $d_к$ с общими удельными затратами энергии, равными сумме проекций дуг a_1b_1 и a_2b_2 на ось ординат. Из рис. 1 очевидно, что удельные энергозатраты можно уменьшить при использовании измельчителя, описываемого кривой 3. При этом во втором измельчителе целесообразно проводить измельчение до размеров частиц $d_{к2}$. Тогда общие удельные энергозатраты будут равны сумме проекций на

$$\frac{2}{n}Me_mO_{n(тв)} + C_{(тв)} = \frac{2m}{n}Me_{(тв)} + CO_{2(г)}$$

Для повышения физико-механических свойств материалов необходимо, чтобы описанные реакции протекали в прямом направлении (в направлении восстановления оксидов металлов и образования карбидов). Возможность протекания реакций в прямом направлении оценивается изменением изобарного потенциала реакции (ΔG°_T) при определенной температуре, которое при этом должно быть меньше нуля. Изменение изобарного потенциала реакций определяли по уравнению Темкина-Шварцмана. В свою очередь ΔG°_T определяется:

$$\Delta G^\circ_T = \Delta H^\circ_{298} - T\Delta S^\circ_{298} - T(\Delta aM_0 + \Delta bM_1 + \Delta cM_2),$$

где ΔH°_{298} – стандартная теплота реакции при 298 К, кДж/моль; Т – абсолютная температура протекания реакции, К; ΔS°_{298} – разность стандартных абсолютных энтропий продуктов реакции и исходных веществ, кДж/(моль•град); Δa, Δb, Δc – алгебраические суммы коэффициентов температурного ряда теплоемкостей, кДж/(моль•град); M_0, M_1, M_2 – константы уравнения, зависящие от температуры.

Термодинамические расчеты реакций показывают:

– оксид углерода (II) активно восстанавливает оксиды Fe, Ni, W, Mo и не восстанавливает оксиды Cr, Mn, Si, V, Ti;

– свободный углерод при температурах цементации 960…1000 ºС является сильным восстановителем оксидов Ni, Fe, Mo, а для восстановления оксидов Si, Cr, Mn, V, Ti процесс цементации необходимо проводить при температурах выше 1230 ºС, что нереально.

Проведенные расчеты позволили разделить легирующие элементы на две группы. К первой группе относятся элементы, оксиды которых восстанавливаются при нагревании в среде оксида углерода (II): Fe, Mo, Ni, W; ко второй – элементы с невосстанавливающимися оксидами: Cr, Mn, Ti, Si, V. Исследованием установлено, что легирование элементами первой группы приводит к снижению характеристик прочности и пластичности материалов. По мере негативного влияния они могут быть расположены в следующем порядке: Cr, Mn, Si, Ti, а элементы второй группы или не оказывают существенного влияния на прочность и пластичность (Mo), или приводят к некоторому их повышению (Ni).

лизована методом конечных элементов с учетом упругопластического характера деформирования. В модели учтены контактные взаимодействия между телами качения и обоймами, ее разрешающая способность в местах контактов составляет 80 мкм. В модели приняты допущения: элементы подшипника приняты идеальными без учета погрешностей формы; подшипник опирается на детали передачи жестко, то есть не учитываются их деформативные свойства; материал элементов подшипника рассматривается как однородный и изотропный.

Нагрузка на подшипник величиной $F = 2500\ H$ приложена консольно к отверстию внутренней обоймы, величина эксцентриситета ее приложения варьировалась от 0 до 21 мм. Несущая способность подшипника оценена по критерию допускаемых контактных напряжений по ГОСТ 18854-94 «Подшипники качения. Статическая грузоподъемность». Для радиальных шариковых несамоустанавливающихся подшипников допускаемые контактные напряжения $[\sigma] = 4200 МПа$. В стандарте отмечено, что его применение нецелесообразно для подшипников, работающих в условиях выхода площадки контакта на бортики колец.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1) максимальные контактные напряжения между телами качения и обоймами без радиального зазора не превышают допускаемых, однако при эксцентриситете приложения силы $e \geq 14\ мм$ происходит выход площадок контакта тел качения, расположенных в плоскости действия изгибающего момента (№1 и №5), на бортики;

2) подшипник с радиальным зазором 15 мкм не удовлетворяет условию прочности по контактным напряжениям при $e = 21 мм$, так как напряжения в зонах контакта тел качения №1 и №5 с внутренними обоймами составляют соответственно 4970 и 4765 МПа; при $e \geq 7\ мм$ происходит выход площадок контакта тел качения №1 и №5 на бортики;

3) подшипник с радиальным зазором 25 мкм не удовлетворяет условию прочности при $e \geq 14\ мм$, так как напряжения в зонах контакта тел качения №1 и №5 с внутренними обоймами превышают допускаемые; при $e \geq 7\ мм$ происходит выход площадок контакта тел качения №1 и №5 на бортики, а при эксцентриситете $e = 21 мм$ – и ближайших к ним двух других тел качения;

4) в контактных парах «тело качения – наружная обойма» с увеличением эксцентриситета приложения силы происходит пропорциональное возрастание контактных напряжений;

5) радиальный зазор оказывает незначительное влияние на уровень контактных напряжений в парах «тело качения – наружная обойма».

УДК 621.81:539.382

МАКРОЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

А. Г. СИДОРЕНКО
Государственное научное учреждение
«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Разработан комплексный метод оценки сопротивления усталости деталей машин, изготавливаемых из малоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей с позиции их химической и структурной однородности. Метод основан на предположении, что основным фактором, определяющим рассеяние характеристик сопротивления усталости, надежность и долговечность, является сопротивление зарождению и распространению негомогенной макропластической (макролокализованной) деформации [1–3]. При этом наибольшее снижение характеристик сопротивления усталости, максимальный уровень рассеяния энергии – в качестве критерия использовался логарифмический декремент затухания колебаний ($\delta_к$) – происходит при предварительной деформации, равной величине деформации Чернова–Людерса (1–3 %) [3−4]. Вместе с тем, влияние на указанные характеристики способности или склонности материалов деталей к локализации деформации, и в первую очередь к макролокализации пластической деформации, исследовано недостаточно.

Изменение состояния материала при циклическом нагружении является гипертрофированно локальным, многостадийным, кинетическим процессом [2, 5]. Поэтому для его описания использовано уравнение из кинетической теории механической усталости, согласно которому рассеяние по числу циклов до разрушения обусловлено рассеянием «начальной степени повреждения» деталей [5]

$$N = \frac{Q}{\sigma}\ln\left\{1+\left[\exp\left(\frac{\sigma-\sigma_R}{\nu_0}\right)-1\right]^{-1}\right\},$$

где N – число циклов нагружения до разрушения; σ – максимальное напряжение цикла, МПа; σ_R – предел выносливости, МПа; Q – коэффициент выносливости, МПа·цикл; ν_0 – параметр с размерностью напряжения (МПа).

Для рассматриваемых сталей в качестве одного из элементов «начального повреждения» и локализации пластической деформации принята внутризеренная неоднородность, определяемая химической и структурной неоднородностью приграничных объемов зерен металла [1]. Таким образом, оценка сопротивления усталости с учетом склонности материалов деталей к макролокализации пластической деформации осуществлялась по результатам сравнительного анализа полученных экспериментально-аналитическим методом характеристик сопротивления усталости.

Образцы с различной склонностью к макролокализации пластической деформации изготавливались из сталей 20, 10ХСНД, 08Ю, 09Г2, 09Г2СФ в исходном состоянии, а также после низкотемпературной термообработки (охлаждения в воде с 500–540 ºС) и в армированном квазимонолитном исполнении [1]. Испытания проводились в условиях повторного растяжения,

УДК 621.785

ПРОИЗВОДСТВО ЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВЫХ ЦЕМЕНТУЕМЫХ СТАЛЕЙ

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

В работе исследовано влияние условий спекания в древесноугольном карбюризаторе на окислительно-восстановительные процессы, происходящие при цементации. Спекание образцов совмещали с науглероживанием.

Необходимость легирования объясняется тем, что порошковое железо имеет низкую прокаливаемость и его охлаждение при закалке производят в воде или в водных растворах солей. Это нежелательно, так как в связи с наличием пористости в материалах могут развиваться процессы внутренней коррозии, что приводит в снижению физико-механических свойств. Легирование позволяет исключить отмеченный недостаток.

В порошковой металлургии в качестве легирующих, вероятно, целесообразно применять легирующие элементы, широко используемые в практике производства литых сталей: Cr, Ni, Mn, Ti, W, V и др.

Легирование в порошковой металлургии в настоящее время осуществляют, в основном, смешиванием порошка железа с порошками легирующих элементов или ферросплавов, содержащих те или другие легирующие элементы. Гомогенизация материалов и физико-механические свойства при этом в большой мере зависят от характера окислительно-восстановительных процессов, протекающих при цементации. Иными словами, если цементационная среда препятствует окислению и восстанавливает оксиды тех или иных металлов, то можно ожидать повышения механических свойств и, напротив, если в цементационной среде металлы окисляются, то это может привести к снижению механических характеристик полученных материалов.

При спекании в твердом карбюризаторе может иметь место несколько реакций взаимодействия оксидов металлов с компонентами насыщающей среды:

$$\frac{1}{n}Me_mO_{n(тв)} + CO_{(г)} = \frac{m}{n}Me_{(тв)} + CO_{2(г)}$$

$$\frac{1}{n}Me_mO_{n(тв)} + C_{(тв)} = \frac{m}{n}Me_{(тв)} + CO_{(г)}$$

раллельных пластин, что свидетельствует о сдвиговом механизме перестройки кристаллической решетки при фазовом превращении. В процессе охлаждения фольги происходит мартенситное превращение, которое не завершается полностью. Остаточной фазой является кубическая фаза.

Легирование индия кадмием (в области образования твердых растворов) оказывает незначительное влияние на зеренную структуру быстрозатвердевших фольг. Так, средний размер зерна в фольге сплава In – 4 ат. % Cd составляет 59 мкм, а величина удельной поверхности межзеренных границ – 70 мкм$^{-1}$. Доля зерен, в которых наблюдаются субзеренные границы, не превышает 15 %.

Быстрозатвердевшие фольги сплавов индия являются текстурированными. В табл. 1 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий индия и сплава In – 4 ат. % Cd.

Табл. 1. Значения полюсных плотностей дифракционных линий

Материал	Дифракционные линии							
	002	110	112	200	103	211	202	213
In	0,7	0,6	0,7	0,8	0,4	0,7	3,5	о,6
In-1 ат.%Cd	0,1	0,0	0,9	0,8	9,1	0,1	5,0	1,0
In-4 ат.%Cd	0,6	0,7	0,7	1,0	0,5	0,2	3,7	0,6

Наибольшим значением полюсной плотности характеризуется линия 202, что указывает на формирование текстуры (101) в фольге. Около 50 % объема фольги ориентировано плоскостью (101) параллельно ее внешней поверхности. По мере перемещения фронта кристаллизации от поверхности, контактирующей поверхности с кристаллизатором, к противоположной поверхности текстура (101) ослабевает. Формирование текстуры в быстрозатвердевших фольгах индия и его сплавов с кадмием обусловлено тем, что расстояние между плоскостями (101) является наибольшим. Это обеспечивает наибольшую скорость роста тех зерен, у которых указанные плоскости совпадают с межфазной границей кристалл-жидкость и перпендикулярны направлению теплоотвода.

Микротвердость быстрозатвердевших фольг сплавов индия с кадмием увеличивается с ростом концентрации легирующего элемента, что свидетельствует о действии твердорастворного механизма упрочнения. Различие размеров и валентностей атомов индия и кадмия приводит к упругому и электрическому взаимодействию движущих дислокаций с нарушениями периодичности кристаллической решетки, которые тормозят движение дислокаций в матрице.

плоского и кругового симметричного изгиба. Установлено, что наиболее чувствительным к локализации деформации параметром является коэффициент выносливости (Q), характеризующий накопление повреждения. Показано, что снижение склонности к макролокализации пластической деформации приводит к существенному росту долговечности (увеличению значений Q и N_G в 1,5–2 раза, а на готовых деталях до 8 раз [1]) даже при малых изменениях (росте на 12–15 %) предела выносливости ($\overline{\sigma_R}$). Параметр ν_0, который вместе с пределом выносливости определяет угол наклона кривой усталости, изменяется незначительно. Таким образом, число циклов до точки нижнего перегиба кривой усталости (N_G) определяется величиной предела выносливости и коэффициентом выносливости. Причем, для сталей с одной степенью локализации деформации этот коэффициент можно считать величиной постоянной, что позволяет использовать параметры Q, ν_0 и σ_R для прогнозирования долговечности однотипных объектов без проведения дополнительных испытаний.

Демпфирующую способность ($\delta_к$) определяли на плоских образцах из указанных выше сталей по методу свободных затухающих колебаний [4]. Выбор этой характеристики определялся тем, что демпфирующая способность может быть мерой усталостного повреждения только для циклически упрочняющихся сталей [6]. Показано, что снижение степени локализации деформации в армированных квазимонолитных материалах (АКМ) приводит к уменьшению $\delta_к$ при низких и средних уровнях напряжений и увеличению при высоких при существенном (от 0,4 до 1,9 %) уровне декремента колебаний, что в 1,5–2 раза выше, чем у обычных сталей. После низкотемпературной термообработки значения $\delta_к$ на стадии установившегося деформирования снижаются на 15–50 %. Таким образом, метод определения характеристик демпфирующей способности может выступать в качестве одного из способов оценки склонности стали к макролокализации пластической деформации, а применение его в качестве меры усталостного повреждения может быть использовано для установления зависимости между характеристиками сопротивления усталости и рассеянием энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Моисеенко, В. И**. Макролокализация пластической деформации и сопротивление усталости пластин крупных втулочных цепей / В. И. Моисеенко, Е.К. Почтенный, А.Г. Сидоренко // Вес. Нац. акад. навук Беларусi. Сер. фiз.-тэхн. навук. – 2005. – № 3. – С. 72 – 77.

2. **Терентьев, В. Ф.** Усталость металлических материалов / В. Ф. Терентьев. – М. : Наука, 2002. – 248 с.

3. **Майер, П.** // Основы поведения стали при циклических нагрузках / П. Майер // Поведение стали при циклических нагрузках. – М. : Металлургия, 1983. – С. 144–173.

4. **Писаренко, Г. С.** Вибропоглащающие свойства конструкционных материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Киев: Наукова думка, 1971. – 359 с.

5. **Почтенный, Е. К.** Кинетика усталости машиностроительных конструкций / Е. К. Почтенный. – Минск: УП «Арти-Фекс», 2002. – 186 с.

6. **Шульгинов, Б. С.** Исследование связи циклической долговечности с характеристиками демпфирующей способности сталей / Б. С. Шульгинов, А. И. Быковский // Проблемы прочности. – 1978. – № 7. – С. 17–23.

УДК 621.882

РАСЧЕТ СОЕДИНЕНИЙ С САМОСТОПОРЯЩИМИСЯ ГАЙКАМИ

В. И. ТАРХАНОВ, Р. М. САДРИЕВ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Ульяновск, Россия

Самостопорящиеся стальные гайки предназначены для предохранения резьбовых соединений от самоотвинчивания за счет дополнительных сил трения, возникающих между деформированным участком резьбы цельнометаллической гайки или неметаллической вставкой в гайку и резьбовым участком стержневой детали (болта, винта, шпильки). Крутящие моменты, необходимые для вращения в процессе закручивания самостопорящейся гайки на болт до начала затяжки и последующего откручивания гайки после снятия силы затяжки называются стопорящими моментами T_c. Самостопорение гаек характеризуется (ISO 2320–2008) уменьшением в определенных пределах величин стопорящих моментов при каждом последующем откручивании и закручивании.

Крутящий момент в резьбе от затяжки болта с осевой силой $F_{зат}$:

$$T_p = 0{,}5F_{зат}d_2\,\mathrm{tg}(\psi+\varphi_1), \qquad (1)$$

где d_2 – средний диаметр резьбы с наружным диаметром d и шагом P, $d_2 = d - 0{,}65P$; ψ – угол подъема резьбы, $\psi = \mathrm{arctg}(P/(\pi d_2))$; φ_1 – приведенный угол трения, $\varphi_1 = \mathrm{arctg}\, f_1$; для однозаходной треугольной метрической резьбы без покрытия (или при использовании покрытой гайки типа NF с нормальным трением) принимают приведенный коэффициент трения $f_1 = 0{,}15$, а следовательно, $\varphi_1 = 8{,}531°$.

Эквивалентное номинальное напряжение в болте, нагруженном при затягивании осевой силой $F_{зат}$ и крутящим моментом $T_{зат} = T_p + T_c$, в соответствии с энергетической теорией прочности

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_p^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left[F_{зат}/(\pi d_p^2/4)\right]^2 + 3\left[(T_p + T_c)/(\pi d_p^3/16)\right]^2}, \qquad (2)$$

где d_p – расчетный диаметр резьбового стержня, $d_p = d - 0{,}938P$.

В выражение (2) подставим значение крутящего момента (1), вынесем за скобки сомножитель, извлечем его корень $\sigma_p = F_{зат}/(\pi d_p^2/4)$ и получим формулу для эквивалентного напряжения в болте при затягивании

$$\sigma_{экв} = \sigma_p\sqrt{1 + 12\left[(d_2/d_p)\mathrm{tg}(\psi+\varphi_1) + 8T_c/(\pi d_p^3\sigma_p)\right]^2}.$$

УДК 548.735:669.872

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВАХ СИСТЕМЫ ИНДИЙ – КАДМИЙ

ВАН ЦЗИНЦЗЕ, В.Г. ШЕПЕЛЕВИЧ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Сплавы индия находят применение в электронике и электротехнике, в авиационной и автотракторной промышленности, в машиностроении и медицине. Из-за немалой стоимости индия целесообразно использовать для изготовления его полуфабрикатов энерго- и ресурсосберегающие технологии, к которым относится и высокоскоростная кристаллизация. В связи с этим в данной работе представлены результаты исследования структуры и механических свойств быстрозатвердевших фольг сплавов системы индий – кадмий, содержащих от 1 до 5 ат. % Cd.

Быстрозатвердевшие фольги сплавов получены кристаллизацией капли расплава, инжектируемой на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра. Для исследования использовались фольги толщиной 40…80 мкм. Скорость охлаждения расплава составляла ~$5\cdot10^5$ К/с. Рентгеноструктурные исследования выполнены на дифрактометре ДРОН – 3. Межплоскостное расстояние d_{101} определялось по положению дифракционной линии 606. Полюсные плотности дифракционных отражений рассчитывались по методу Харисса. Растровый электронный микроскоп LEO 1455 фирмы «Карл Цейс» использовался для исследования морфологии поверхности и микроструктуры сплавов. Микротвердость фольг измеряли на приборе ПМТ – 3 с использованием нагрузки 2,0 г. Время выдержки индентора под нагрузкой 60 с.

Быстрозатвердевшие сплавы, содержащие 1…4 ат. % Cd, являются однофазными. Относительное различие концентраций кадмия в различных участках фольги сплава In – 4 ат. % Cd не превышает 10 %, что находится в пределах погрешности ее измерения. Наблюдаемое распределение кадмия в индии указывает на отсутствие его вытеснения из твердой фазы в жидкость в процессе перемещения фронта кристаллизации. Таким образом, образование твердого раствора кадмия в индии при высокоскоростной кристаллизации со скоростью $5\cdot10^5$ К/с происходит с «захватом» кадмия. В твердых растворах системы индий – кадмий наблюдается уменьшение межплоскостного расстояния d_{101} с увеличением концентрации кадмия, что обусловлено различием металлических радиусов кадмия индия.

Быстрозатвердевший сплав In – 4,5 ат. % Cd является двухфазным. На дифрактограмме наблюдаются дифракционные рефлексы кубической фазы (200, 220, 331) и тетрагональной фазы (101, 200, 211, 202). На границах зерен, выходящих на поверхность фольги, наблюдаются выступы плоскопа-

и легирующих элементов. Перед выливом из печи проводили графитизирующую обработку расплава скрытокристаллическим графитом ГЛС-3. Модифицирование чугуна в ковше осуществляли смесью ферросилиция ФС75 с графитом ГЛС-3. Разливали металл на литейной машине ЛЗМ-1 с производительностью 4 отливки в минуту.

Структура полученных заготовок состояла из аустенита и тонкого отбеленного слоя толщиной около 1мм по наружной поверхности отливки. Количество цементита в этом слое составляло 20…25 %. В остальной части по толщине стенки заготовки количество цементита не превышало 6 %. Это соответствует требованиям технических условий (ТУ). При этом цементит присутствовал в структуре чугуна в виде очень мелких изолированных включений.

Твёрдость чугуна составила 156-166 НВ (требования по ТУ-120-180 НВ). Небольшая глубина отбеленного слоя и высокая дисперсность карбидных включений обеспечили удовлетворительную механическую обработку отливок.

Анализ результатов предварительных экспериментов показал, что имеет место неравномерность распределения цементита по периметру отливки и неудовлетворительное распределение графитовых включений. Необходимо решить вопросы, связанные с корректировкой химического состава чугуна, технологией приготовления расплава, модифицированием, режимом охлаждения отливок вне формы и др.

Вместе с тем на основе результатов проведенных экспериментов, можно сделать заключение о принципиальной возможности литья качественных заготовок из аустенитного никелевого чугуна методом направленного затвердевания. Анализ этих результатов позволил определить направления дальнейших исследований по разработке методов обеспечения стабильности процесса литья, заданной структуры и специальных свойств чугуна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности производства литых деталей насосов из аустенитного чугуна с шаровидным графитом / Н. С. Гущин [и др.] // Литейное производство.- 2008. – № 6. – С. 23–26.

2. **Роготовский, А. Н.** Особенности модифицирования «нирезиста» на шаровидный графит для производства отливок насосных агрегатов / А. Н. Роготовский, А. А. Шипельников // Заготовительные производства в машиностроении. – 2009. – № 9. – С. 3–6.

УДК 621.431.73–232.174

ПРОБЛЕМА ПРОЧНОСТИ ШАТУННЫХ БОЛТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В. И. ТАРХАНОВ, Р. М. САДРИЕВ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Ульяновск, Россия

При стандартизации механических свойств и методов испытаний стальных болтов, винтов и шпилек с треугольной метрической резьбой [1] не были установлены значения их пределов выносливости. Отсутствие последних исключает возможность применения крепежных изделий централизованного изготовления в резьбовых соединениях, подверженных действию циклических нагрузок. По этой причине машиностроители вынуждены изготовлять резьбовые детали целевого назначения на неспециализированных предприятиях.

Как известно, шатунные болты двигателей внутреннего сгорания автомобильных транспортных средств подвержены многократному действию циклических нагрузок. Однако в технических требованиях [2] установлены механические свойства изделий только при статических нагрузках, а показатели сопротивления усталости носят всего лишь декларативный характер, например: «Ресурс шатунных болтов, поставляемых на комплектацию, должен быть не менее ресурса двигателя до капитального ремонта». В действительности же, согласно методам испытаний: «Ресурс шатунных болтов оценивают по результатам подконтрольной эксплуатации двигателей по методикам предприятий-изготовителей». Поэтому целесообразно воспользоваться пунктом технических требований: «Для повышения прочностных показателей резьбы допускается применение специальных резьб с сохранением указанных полей допусков».

В условиях, где требуется повышенная усталостная прочность резьбовых соединений, для применения предназначена метрическая резьба с профилем MJ [3]. Профиль резьбы MJ является модификацией профиля метрической резьбы [4] и отличается от него увеличенным срезом по внутреннему диаметру гайки и увеличенным радиусом R закругления впадины резьбы болта. В этой связи увеличились по сравнению с обычной резьбой диаметр по дну впадины d3 и внутренний диаметр d1 (по точке перехода от боковой стороны к впадине) резьбы болта, а также внутренний диаметр D1 резьбы гайки.

Для крепежных деталей с диаметрами d от 8 до 39 мм рекомендуются резьбы с мелким шагом P:

d, мм …	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39
P, мм …	1	1,25	1,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2	2	2

Исследованию влияния величины радиуса закругления впадины резьбы болтов на сопротивление усталости резьбовых соединений посвящены работы многих авторов [5, 6]. Анализ результатов испытаний тщательно изготовленных образцов резьбовых деталей показывает, что при одинаковом отношении R/P шаг резьбы практически не влияет на предел выносливости резьбовых соединений. С увеличением отношения R/P очаг усталостной трещины смещается к точке перехода от впадины к боковой стороне витка, что подтверждается снижением концентрации напряжений во впадине резьбы болта.

Необходимо отметить, что уменьшение перекрытия витков (из-за увеличения внутреннего диаметра резьбы гайки) тоже приводит к повышению сопротивления усталости резьбовых соединений. Это объясняется увеличением податливости витков болта и, как следствие, более равномерным распределением осевой нагрузки по виткам резьбы на длине свинчивания соединения. Существенное повышение предела выносливости резьбовых соединений при увеличении радиуса закругления впадины резьбы болтов от R = 0,144P до R = 0,18P достигается без заметного снижения статической прочности. При этом рабочая высота профиля резьбы уменьшается не более чем на 10 %. Следует добавить, что увеличение радиуса закругления впадины резьбы болтов является резервом повышения не только предела выносливости резьбовых соединений, но и стойкости инструмента при нарезании и накатывании резьбы на высокопрочных шатунных болтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52627–2006) (ИСО 898-1:1999) «Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний».

2. ГОСТ Р 53557–2009 «Автомобильные транспортные средства. Болты шатунные. Общие технические требования и методы испытаний».

3. ГОСТ Р 30892–2002 (ИСО 5855-1–99, ИСО 5855-2–99, ИСО 5855-3–99) «Резьба метрическая с профилем MJ. Профиль, диаметры и шаги, допуски».

4. ГОСТ Р 9150–2002 (ИСО 68-1–98) «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Профиль».

5. **Биргер, И. А.** Резьбовые соединения / И. А. Биргер, Г. Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1973. – 256 с.

6. **Якушев, А. И.** Повышение прочности и надежности резьбовых соединений / А. И. Якушев, Р. Х. Мустаев, Р. Р. Мавлютов. – М.: Машиностроение, 1979.– 215 с.

УДК 621.74.047

ЛИТЬЁ ЗАГОТОВОК ИЗ АУСТЕНИТНОГО ЧУГУНА МЕТОДОМ НАПРАВЛЕННОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

[*]В. Ф. БЕВЗА, Г. П. ГОРЕЦКИЙ, Р. Ж. ОРУНОВ

[*]Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН БЕЛАРУСИ»
Государственное научное учреждение
«ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАН БЕЛАРУСИ»
Могилёв, Минск, Беларусь

Для производства отливок агрегатов нефтедобывающей промышленности используют легированные и высоколегированные чугуны, к которым предъявляются жёсткие требования: высокая коррозионная стойкость, ростоустойчивость, жаропрочность, низкий коэффициент магнитной восприимчивости и др. Всем этим требованиям удовлетворяет никелевомедистый аустенитный чугун типа ЧН15Д7 с пластинчатым (ПГ), или его зарубежный аналог ЧН16Д7ГХШ с шаровидным (ШГ) графитом известным под названием «нирезист».

В настоящее время отливки из нирезиста получают методом литья по выплавляемым моделям, стопочной формовкой по технологии cold-box-amin- процессу, в многоместные песчаные формы. При этом литейный брак составляет от 15 до 50 % [1,2]. Основные виды дефектов: спай, недолив, несоответствие структуры, раковины, дефекты усадочного происхождения. В связи с этим разработка новых более эффективных технологий литья заготовок из аустенитного никелевого чугуна является своевременной и актуальной.

Целью настоящей работы является определение принципиальной возможности получения полых заготовок из аустенитного чугуна методом направленного затвердевания. Этот метод по принципу формирования отливок исключает, практически, все указанные виды брака. Однако большая интенсивность теплоотвода от затвердевающей отливки (литьё осуществляется в металлическую водоохлаждаемую форму) обусловливает высокую скорость охлаждения чугуна, что затрудняет получение отливок без включения карбидов. Это особенно проблематично при литье чугуна с содержанием хрома более 0,5 %.

Предварительные эксперименты получения полых заготовок наружным диаметром 62 мм, с толщиной стенки 12…14 мм, длиной 270 мм методом направленного затвердевания без применения стержня были проведены на чугуне ЧН15Д7 с ПГ следующего химического состава: C–2,8 %; Si–2,9 %; Mn–0,9 %; Cr–2,1 %; Ni–15,2 %; Cu–5,4 %.

Плавку металла проводили в индукционной электропечи на шихте с использованием литейного чушкового чугуна ЛЗ, стального лома, возврата

Экспериментальные исследования проводили методом направленного затвердевания без применения стержня полых цилиндрических заготовок из ЧШГ высотой 250 мм с наружным диаметром 139 мм и толщиной стенки 17-18 мм.

Приготовление расплава следующего химического состава, С–3 %; Si–2,5 %; Mn– 0,7 %; Cu– 0,2 %; Ni–0,15 %; Cr–0,15 % осуществляли в индукционной печи на шихте с использованием чушковых чугунов (ПЛ2, Л3), стального лома, возврата и легирующих элементов. Ковшевое модифицирование проводили смесью модификатора «Сферомаг 611» и графита ГЛС-3. Разливку осуществляли на литейной установке ЛЗМ1 в стальной водоохлаждаемый кристаллизатор.

Твердость материала отливок составляла 100-102 HRB, предел прочности на разрыв свыше 500 МПа. Металлическая матрица материала – перлито-ферритная П85(Ф15), распределение графита по толщине стенки отливки – равномерное, форма – ШГф5; ШГф4, диаметр включений ШГд25, количество – ШГ15. В наружном слое отливки, глубиной до 1,5…2 мм, присутствовали мелкодисперсные включения цементита до 2 %.

Результаты проведенных предварительных исследований позволили выявить технологические особенности получения заготовок методом направленного затвердевания и определить направления исследований для достижения поставленной цели. Необходимо изучить влияние исходной структуры металлической матрицы, морфологии, количества и распределения графитовых включений на условия пластической деформации, конечную структуру и свойства чугуна.

Получение заданной структуры металлической матрицы будет осуществляться выбором определенного режима вторичного охлаждения отливок, управлением первичной кристаллизацией за счет модифицирования и изменения интенсивности теплоотвода от затвердевающей отливки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Щербединский, Г. В.** Чугун как перспективный материал XXI столетия / Г. В. Щербединский // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – № 7. – С. 83–93.

2. Взаимосвязь исходного состояния с физико-механическими свойствами деформированного высокопрочно чугуна / А. А. Снежко [и др.] // Процессы литья. – 1993. – № 1. – С. 71–75.

3. **Антошин, Ю. Т**. Пластическая деформация чугуна / Ю. Т. Антошин. – Минск: Навука и тэхника, 1991. – 110 с.

УДК 621.833

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОДРЕЗАНИЯ ЗУБЬЕВ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

С. Н. ХАТЕТОВСКИЙ, Н. В. КОРОТУН, М. С. ПАВЛОВИЧ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Подрезание зубьев механических передач является отрицательным явлением, так как приводит к таким нежелательным последствиям, как поломка зуба вследствие его ослабления в основании, заклинивание и др.

Проблема прогнозирования явления подрезания зубьев для многих механических передач, в том числе и эвольвентных передач, решена: еще на стадии проектирования расчетным путем можно установить, будут ли подрезаны зубья проектируемого колеса.

Однако, для большинства механических передач такой расчетной методики не существует. При этом исследователям этих передач часто приходится прибегать к специальным методам твердотельного моделирования, чтобы спрогнозировать подрезание зубьев.

Для решения проблемы прогнозирования подрезания зубьев механических передач была выдвинута гипотеза, позволяющая для любых видов зацеплений колес применить одну и ту же методику прогнозирования подрезания зубьев. Данная гипотеза основана на известном уравнении зацепления и предполагает, что известно уравнение производящего колеса, положение осей контактирующих зубчатых колес рассматриваемой передачи, а также передаточное отношение.

Согласно гипотезе было установлено, что при подрезании зуба на его боковой поверхности образуются так называемые сингулярные точки. В этих точках не существует нормали к поверхности зуба. При этом данные точки образуют кривые, принадлежащие боковой поверхности зуба и делящие эту поверхность на области. При переходе из одной области в другую момент единичной нормали меняет знак, оставаясь по модулю неизменным. Для того чтобы отбирать точки, принадлежащие только одной области, следует использовать следующее условие отбора: момент нормали к поверхности относительно оси вращения должен быть или только положительным, или только отрицательным, например

$$(\vec{r}\times\vec{n})\cdot\vec{k}<0,$$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор точки, принадлежащей боковой поверхности зуба; $\vec{n}$ – единичная нормаль к указанной поверхности в рассматриваемой точке; $\vec{k}$ – единичный вектор оси вращения колеса, по направлению совпадающий с направлением угловой скорости этого колеса.

УДК 544.654.2:546.74

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ С АЦЕТАТОМ НАТРИЯ И АММОНИЯ

И. В. АНТИХОВИЧ, А. А. ЧЕРНИК
Государственное учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Никелевые покрытия широко используются в современной гальванотехнике, как в качестве декоративно-защитных покрытий, так и в качестве металла-связки для композиционных покрытий при изготовлении алмазного режущего и обрабатывающего инструмента.

Особенностью электролитов считается применение повышенных до 50…55 °С температур. Поэтому и разработка новых низкотемпературных электролитов является актуальной задачей современной гальванотехники. Возможное направление исследования по уменьшению температуры процесса никелирования является применение в качестве компонентов электролита ацетатов натрия и аммония.

Преимуществом таких электролитов можно считать возможность реализации довольно высоких плотностей тока (3…4 А/дм^2) при пониженной до 20…30 °С температуре, а также при снижении в 2 и более раза концентрации солей никеля по сравнению со стандартным электролитом Уоттса. Это позволяет пропорционально снизить унос солей никеля при промывке деталей, а также уменьшить нагрузку на системы регенерации электролита и очистки сточных вод. Данные преимущества упомянутого электролит –: образование комплексного катиона с ацетат-ионами в качестве лигандов, что способствует высокой буферной емкости, а также позволяет поддерживать pH постоянным в прикатодной области.

В данной работе исследовались ацетатсодержащие электролиты с суммарным содержанием Ni^{2+} 0,95 моль/л, CH_3COO^--0,36 моль/л в виде CH_3COONa или CH_3COONH_4.

Для определения диапазона рабочих плотностей тока использовали ячейку Хулла. Установлено, что в электролите с CH_3COONa более широкая область рабочих плотностей тока (до 4 А/дм^2 при pH=4). Замена ацетата натрия на ацетат аммония приводит к сужению рабочей области плотностей тока – до 2 А/дм^2, pH=4. При этом в электролите с добавкой CH_3COONa выход по току составляет 90…95 % в области плотностей тока 1…4 А/дм^2. В электролите с ацетатом аммония ВТ составляет 85…93 %, 1…2,5 А/дм^2. Следует отметить, что в оптимальных диапазонах плотностей тока, покрытия получаются блестящими, компактными, хорошо сцепленными с подложкой.

Для защитно-декоративного никелевого покрытия пористость является одним из важнейших параметров. Установлено, что при осаждении покрытий при i =2,5 А/дм^2 условно беспористое покрытие с пористостью 2 пор/см^2 было получено при толщине покрытия 30 мкм.

УДК 621.74.047

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ ДЛЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В. Ф. БЕВЗА, *А. И. ПОКРОВСКИЙ, В. П. ГРУША
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН БЕЛАРУСИ»
*Государственное научное учреждение
«ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАН БЕЛАРУСИ»
Могилев, Минск, Беларусь

Создание сплавов с новыми и повышенными свойствами - это одна из важнейших задач металлургии. Изменяя фазовое состояние и структуру сплавов, можно воздействовать на их свойства в широком диапазоне величин. Изменять фазовое состояние можно подбирая состав сплавов, а структуру – путем создания соответствующей технологии обработки: пластической, термической, магнитной и др.

Чугун с шаровидным графитом (ЧШГ) после пластической деформации приобретает уникальное сочетание прочности, пластичности и вязкости, переводящие его в разряд новых конструкционных материалов, позволяющих изготавливать высококачественные изделия методом деформации в широком диапазоне размеров и конфигурации, в том числе деталей в форме тел вращения. При этом достигается комплекс свойств, превышающих свойства исходного материала [1].

Исследования в этой области [2,3] показывают, что с увеличением степени деформации прочностные характеристики ЧШГ повышаются, достигая наиболее высоких значений при ε = 60…80 %.

При этом свойства деформированного чугуна в определенной степени зависят от структуры исходного состояния, которая во многом определяется методом литья заготовок. Причем, следует ожидать, что чем более высокие свойства чугун имеет в литом состоянии, тем выше должны быть свойства деформированного чугуна. Известно, что наиболее высокое качество заготовок можно получить по технологии, основанной на использовании принципа направленности затвердевания металла. В связи с этим целью настоящей работы является создание технологических основ литья полых цилиндрических заготовок из низколегированного ЧШГ методом направленного затвердевания (намораживания) для исследования его структурной наследственности при горячей пластической деформации.

Разрабатываемая технология предусматривает следующие этапы: подготовку шихтовых материалов, приготовление расплава, легирование и модифицирование, получение литых заготовок намораживанием с различной структурой металлической матрицы (перлитной, феррито - перлитной, ферритной), механическую обработку.

УДК 621.7; 621.373.826

ГЕНЕРАТОР НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ АРГОНА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

В. В. БАТРАК, А. И. ВЕРЕМЕЙЧИК, М. И. САЗОНОВ
Учреждение образования
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Брест, Беларусь

В различных технологических процессах, связанных с преобразованием энергии, широкое применение находят электрические дуги и генераторы низкотемпературной плазмы с межэлектродной вставкой (МЭВ) - плазмотроны, в которых осуществляется горение дуги в потоке различных газов и получение плазменной струи для осаждения тонких износостойких углеродных покрытий на детали машин и режущий инструмент.

В данной работе изучены локальные электрические характеристики дуги в потоке аргона в широком диапазоне изменения определяющих параметров, получены полуэмпирические формулы на основе теории подобия для расчета напряженности электрического поля вдоль дуги и ее вольт-амперных характеристик. Установлено, что напряженность и локальная мощность дуги значительно увеличиваются на турбулентном участке горения дуги, причем напряженность электрического поля в турбулентном потоке в несколько раз выше ее величины в ламинарном потоке.

Исследования показали, что локальный тепловой к.п.д. сильно зависит от интенсивности вдува холодного защитного газа по длине межэлектродной вставки. Наличие даже небольшого вдува газа с параметром вдува m= 0,017…0,019 увеличивает локальный тепловой к.п.д. до $\eta_i = 0,72$.

За счет увеличения локальных энергетических характеристик плазмотрона достигается эффективный нагрев газа и появляется возможность создания плазмотронов с тепловым к.п.д. η= 0…0,76 при нагреве аргона.

Применение в конструкции плазмотрона межэлектродной вставки и специального выходного электрода – анода позволило увеличить температуру нагреваемой аргоновой плазмы вплоть до 20000 К и реализовать на выходе плазмотрона сверхзвуковую струю, что необходимо для осаждения углеродных пленок с высокой адгезией.

Для повышения качества осаждаемых покрытий перед анодом плазмотрона подается метан, а на срезе его – водород с небольшими расходами газа.

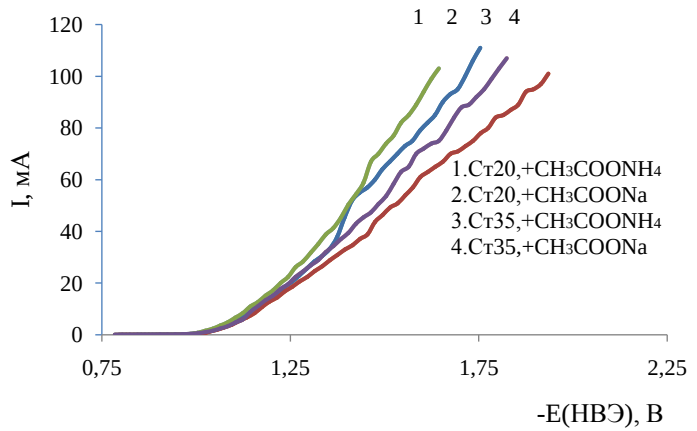


Рис. 1. Влияние материала катода и добавки в электролит на поляризационные характеристики катодного ($S_к$=1 см^2)

Как следует из рис. 1, в электролите с CH_3COONH_4 уменьшается суммарная катодная поляризация в присутствии меньше, чем в присутствии CH_3COONa. Применение в качестве материала основы стали с большим содержанием углерода приводит к увеличению катодной поляризации в обоих электролитах.

Исследование буферных свойств показало, что электролиты никелирования, содержащие соли CH_3COONH_4, и CH_3COONa, имеют высокую буферную емкость (табл. 1).

Табл. 1. Буферная емкость электролитов никелирования

Вид электролита	Буферная емкость электролитов в интервале pH(M NaOH)										
	1,5-2,5	2,0-3,0	2,5-3,5	3,0-4,0	3,5-4,5	4,0-5,0	4,5-5,5	5,0-6,0	5,5-6,5	5,5-6,5	pH
Электролит с H_3COONa	0,370	0,34	0,290	0,180	0	0,120	0,168	0,21	0,228	0,28	6,5
Электролит с CH_3COONH_4	0,122	0,11	0,090	0,060	0,01	0,058	0,090	0,11	0,119	0,14	6,4
Электролит Уоттса	-	0,03	0,009	0,0074	0,0054	0,005	0,031	-	-	-	5,6

Таким образом, установлено, что из электролитов никелирования в присутствии CH_3COONH_4, и CH_3COONa можно получать никелевые покрытия в широком диапазоне плотностей тока.

УДК 621.763; 621.74

ОТЛИВКИ ИЗ ИЗНОСОСТОЙКИХ ЧУГУНОВ, АРМИРОВАННЫЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

К. Э. БАРАНОВСКИЙ, В. М. ИЛЬЮШЕНКО, П. Ю. ДУВАЛОВ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН БЕЛАРУСИ»
Могилев, Беларусь

Износ сменных деталей центробежных дробилок, работающих в условиях абразивного воздействия, является основной причиной их выхода из строя. Детали центробежных дробилок работают в условиях ударно-абразивного воздействия частиц размером 5…30 мм. Скорость дробящегося материала составляет 80…120 м/с. Наиболее часто дробятся твердые материалы (граниты, базальты, кварциты), имеющие твердость 750…900 HV. Сменные детали изготавливают из износостойкого чугуна (ИЧХ) Х28Н2, который обладает удовлетворительной износостойкостью и требуемыми механическими свойствами.

В «Институте технологии металлов» НАН Беларуси более 4-х лет ведутся исследования по повышению ресурса работы центробежного оборудования. Применение в качестве легирующих W, V, Mo позволило увеличить твердость и износостойкость хромистых чугунов. В деталях из таких чугунов микротвердость карбидов типа M_7C_3 составляет 1200…1600 HV, а микротвердость металлической матрицы после закалки 750…900 HV. Дальнейшее повышение твердости и износостойкости деталей из ИЧХ практически исчерпано. Увеличение ресурса работы возможно за счет создания композиционного материала на базе хромистых чугунов, содержащих армирующие элементы с более высокой твердостью, чем ИЧХ. Наиболее перспективными являются вольфрамо-кобальтовые твердые сплавы типа ВК.

Обычно размалываемый продукт при подаче в дробилку скользит по облицовке из ИЧХ. В этом случае изнашивается только верхняя часть сменой детали (рис. 1).

Рис. 1. Изношенная деталь «подкладной лист»

Нет необходимости получать отливку полностью состоящую из композита ВК + ИЧХ, надо расположить армирующие твердосплавные частицы только на изнашиваемой части отливки. Необязательно полностью покрывать рабочую поверхность мелкими частицами ВК, достаточно расположить относительно крупные частицы с промежутками между ними 2…3 мм (меньше минимального размера получаемого материала). В этом случае частицы щебня будут скользить по армирующим элементам из ВК, практически не касаясь основы из хромистого чугуна.

Изготовлены отливки «подкладной лист» для дробилки ДЦ-1.6 с четырьмя поперечными полосами шириной 15…20мм из твердосплавных элементов (рис. 2(а)). Изготовление опытных отливок показало, что при заливке хромистого чугуна в литейную форму твердосплавные элементы надежно соединились с матрицей из хромистого чугуна (рис. 2(б)).

а) б)

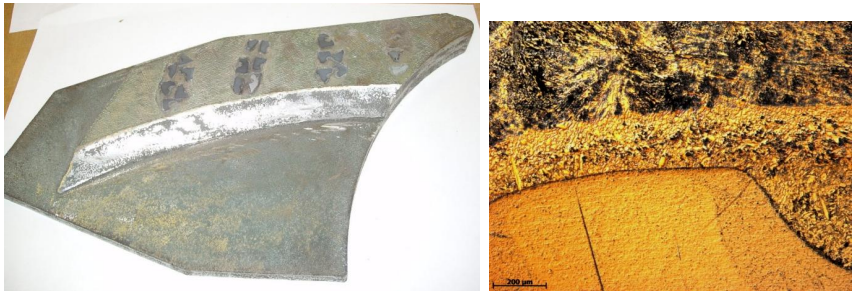


Рис. 2. Отливка «подкладной лист» с твердосплавными армирующими элементами (а); микроструктура композиционного материала (б).

Поток дробящегося материала в большей степени будет изнашивать деталь между полосами из твердосплавных элементов, постепенно на детали образуются несколько выступающих полос с армирующими элементами. Выступающие части будут воспринимать поток дробящегося материала на себя, прикрывая остальную часть отливки.

Эксперименты продемонстрировали принципиальную возможность получения композиционного материала ВК+ИЧХ. Твердосплавные элементы прочно удерживаются в матрице из ИЧХ за счет сжатия при усадке и диффузионного взаимодействия на поверхности раздела.