

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ

№ 1 /2012

Журнал издается с 1998 г.

Свидетельство о регистрации № Г-01457.
Выдано 25 февраля 1998 г. Западно-Сибирском
региональным управлением
Госкомитета РФ по печати и информации

Главный редактор
А. А. Ситников

Редакционная коллегия:

В. А. Бородин
В. В. Дмитриев
Г. В. Леонов
А. М. Марков
Б. В. Сёмкин
В. И. Сташко
В. М. Суверов
Е.Ю.Татаркин
Г. И. Швецов

Под общей редакцией

д. т. н., проф., А. М. Гурьева и
д. т. н., проф., А. М. Маркова

Адрес редакции:

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
тел: 36-75-84, 26-04-98, 29-09-46

Адрес издательства:

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
тел: 36-09-46, 29-09-48
e-mail: agtu@nm.ru

© Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова, 2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Ю В. М. Константинов, Г. А. Ткаченко, А. Г. Слуцкий, М. В. Семенченко ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА.....	5
П. Аганаев, А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Н. Г. Бильтриков ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ТРЕЩИН ПРИ СВАРКЕ СТАЛИ 30ХГСА.....	8
И. В. Рафальский, Д. С. Морозов, А. В. Арабей АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ В АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМА- ТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ.....	10
А. В. Мархасаев, Б. Д. Лыгденов, Б. Ш. Цыреторов ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В НАСЫЩАЮЩЕЙ СРЕДЕ СОДЕРЖАЩЕЙ КОБАЛЬТ И БОР.....	13
Ф. М. Поломошнов, А. А. Шнейдер, А. С. Григор, В. А. Марков ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕЗАГРЕГАЦИИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ОБОРОТНОЙ СМЕСИ.....	15
В. М. Константинов, Г. А. Ткаченко СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ ПРИ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОМ ПРЕДВА- РИТЕЛЬНОМ И СОВМЕСТНОМ НАГРЕВЕ.....	18
Б. П. Бимбаев, Т. В. Будаев, В. А. Бутуханов, Б. Д. Лыгденов ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИЛИЦИРОВАНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ.....	21
П. Е. Луцки, И. В. Рафальский АРМИРУЮЩИЕ И МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ЛИГАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ AL-TI-SiC.....	24
Ф. М. Поломошнов, А. А. Шнейдер, А. С. Григор, В. А. Марков ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА АТАКИ ПЛУЖКА ПРИ РАБОТЕ СМЕСИТЕЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ.....	27
И. В. Рафальский, А. В. Арабей ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФАЗ КОМПОНЕНТОВ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al-SiO ₂	29
А. Г. Овчаренко, А. Ф. Мельников ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКОБАЛЬТА ПРИ ОБКАТКЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.....	33

Г. А. Околович, А. В. Габеев, Е. О. Чертовских ВЛИЯНИЕ ПРОДУВКИ РАСПЛАВА АРГОНОМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 20ГФЛ.....	36
С. В. Ковалев, М. Н. Сейдуров. СТРОЕНИЕ И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СПЕЦКАРБИДОВ ХРОМА В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ.....	39
А. В. Собачкин, В. И. Яковлев, А. А. Ситников ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ МНОГОКАРБИДНЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО МЕХА- НОАКТИВИРОВАННЫХ СВС-КОМПОЗИТОВ.....	41
А. В. Арабей, И. В. Рафальский СИНТЕЗ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ СИЛУМИНОВ ИЗ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО МЕТАЛЛОСЫРЬЯ, КВАРЦЕВОГО ПЕСКА И ОТХОДОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ	45
А. А. Панов, А. Н. Кутергин ФОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЗАМЫКАЮЩЕГО ЗВЕНА ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКЕ ЦЕПЕЙ С ОДИНАКОВЫМИ ЗВЕНЬЯМИ.....	47
А. М. Фирсов, А. В. Вдовин ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА СИГНАЛ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ.....	49
Г. А. Околович, А. В. Габеев, Е. О. Чертовских ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТАЛЬ 20ГФЛ.....	53
Е. Ю. Татаркин, Ю. А. Кряжев, А. Ю. Кряжев, В. В. Ильиных ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	55
А. А. Самокрутов ВЕНТИЛИРУЕМАЯ ЭКОЛОГИЧНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ КАПСУЛА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА.....	58
Б. И. Мандров, С. Д. Бакланов, Д. Д. Бакланов, А. С. Влеско, А. Н. Путицкий, С. Д. Сухинина ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ХАРРИНГТОНА ПРИ ЭКСТРУЗИОННОЙ СВАРКЕ ЛИСТОВ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА МАРКИ ПЭНД.....	62
М. М. Радкевич, Д. Ю. Фомин ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ И СТРУКТУРУ ПОКОВОК ПРИ ПОЛУГОРЯЧЕЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ.....	65
В. Н. Беляев ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ ПРИ ОБКАТЫВАНИИ УПРАВЛЕНИЕМ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ.....	69
И. С. Буканова, И. И. Ятло, О. Е. Еремина ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ВЕЛИЧИНУ УПРУГИХ И ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ДОРНОВАНИИ.....	71

Г. А. Околович, В. И. Левков, Н. С. Баленко СВОЙСТВА ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ, ОТПУСКА И ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ	76
А. И. Безнедельный, В. П. Гилета, В. Б. Асанов ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЕ-ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ.....	79
А. А. Демин ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ	82
И. В. Мирошин, О. А. Останин ПРОГРАММЫ НАГРУЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СИГНАЛЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ.....	84
А. А. Карпов, С. Л. Леонов, Т. А. Аскалонова МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ХОНИНГОВАЛЬНЫХ БРУСКОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ.....	87
М. В. Пимонов РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ЗАДААННЫЕ ЭКСПЛУАТА- ЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ	90
Р. А. Понкрашкин МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИБРОПАРАМЕТРОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕАНИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ	92
А. С. Сивушкин ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ ОБЪЕМНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	95
Х. М. Рахиямов, Б. А. Красильников, Н. П. Гаар, А. И. Журавлев, А. А. Локтионов, Г. Б. Мироненко ЛАЗЕРНО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНАЦИИ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ	97
Е. Ю. Татаркин, А. М. Иконников, Р. Н. Шапоров ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПОИСКОВОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ	99
В. А. Абанин, А. Н. Ромашев, В. В. Беломыцев, Н. И. Десятов ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОДУЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА	102
Г. А. Околович, В. И. Левков, Е. В. Петрова ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ	105
Б. А. Красильников, В. В. Янпольский, О. К., Нураев, Д. О. Астапенко ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН.....	107
И. С. Буканова, И. И. Ятло, Е. О. Одинаев МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ КОНИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ВПАДИНЫ ЧАСТИЧНО-РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА	109
А. Н. Ромашев, В. В. Беломыцев, Н. И. Десятов КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ С УЗЛОМ КРЕПЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЕРЕДАЧИ СО СВОБОДНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ.....	112

С. Н. Шатохин, М. В. Брунгардт, Я. Ю. Пикалов КОНСТРУКЦИЯ И НАГРУЗОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ШПИНДЕЛЬНОЙ ОПОРЫ С УПРУГО ПОДВИЖНОЙ ОПОРНОЙ ВТУЛКОЙ И АКТИВНЫМ НАГНЕТЕНИЕМ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ	115
Е. А. Сафронова, В. А. Федоров, Е. О. Одинаев РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СПОСОБОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ	119
К. Х. Рахимьянов, А. Х. Рахимьянов, С. В. Шопф ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ СТАЛИ СТЗ МЕТОДОМ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ	121
Е. Ю. Татаркин, А. М. Фирсов ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «ОТКАЗОВ» ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ	125
А. Г. Овчаренко, А. Ю. Козлюк, М. О. Курепин УСТОЙЧИВОСТЬ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОГРАННЫХ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ПЛАСТИНЫ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА	128
С. Л. Леонов, Е. Б. Белов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПРИ ТОЧЕНИИ МЕТАЛЛОВ	131
В. Н. Некрасов, Н. Ю. Попова, А. О. Черданцев ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ	133
С. Л. Леонов, М. К. Витвинов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАЦИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ	135
А. А. Демин, И. А. Титов РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРУЕМЫЙ ЭЛЕМЕНТ	139
В. Ю. Блюменштейн ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ППД МУЛЬТИРАДИУСНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ	142
Д. А. Бородин ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ (НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТИНОК ИЗ СТАЛИ ШХ-15)	145
М. С. Махалов РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ СПОСОБАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ	149
К. П. Петренко ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕПЕНИ ИСЧЕРПАНИЯ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ В ПРОЦЕССАХ ППД	155
Х. М. Рахимьянов, А. А. Локтионов ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИСТОВОГО РАСКРОЯ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	158
Е. Ю. Татаркин, Р. А. Анзыряев УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ, ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА	160

Ю. С. Семенова, А. М. Мартыненко АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ НА ПРЕДПРИЯТИИ ОАО «МАШЗАВОД ТРУД»	162
С. И. Киреев, М. Н. Сейдуров, Е. А. Иванайский, А. А. Иванайский ИНЖЕНЕРНЫЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС «ИНДУКЦИОННАЯ НАПЛАВКА»	165
А. А. Попова, В. И. Яковлев, А. А. Ситников ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТЕЙ ЧАСТИЦ В ИМПУЛЬСНОМ ПОТОКЕ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ НА ТИТАНОВУЮ ОСНОВУ	167
К. В. Князьков, М. В. Радченко, А. Н. Смирнов, В. Л., Князько, Э. В. Козлов ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ NI-CR-V- FE/WC МОДИФИЦИРОВАННЫХ AL ₂ O ₃	169
Б. И. Мандров, С. Н. Бакланов, Д. Н. Бакланов, А. С. Влеско, С. А. Путивский, С. Д. Сухинина ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ ГЕОМЕМБРАНЫ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ (ПЭНД), ВЫПОЛНЕННЫХ ЭКСТРУЗИОННОЙ СВАРКОЙ	172
И. В. Беляев, М. Ю. Якушев, П. В. Верещагин ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЧАСТКОВ СОПРЯЖЕНИЯ СТУПЕНЕЙ ПУАНСОНОВ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ НАПРЯЖЕНИЙ	175
А. А. Недоступ, Е. К. Орлов, А. В. Дегутис, И. А. Чибисов ОБОСНОВАНИЕ ПРАВИЛ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ МЕЖДУ ОРУДИЕМ РЫБОЛОВСТВА И ПОВЕРХНОСТЬЮ БАРАБАНА ФРИКЦИОННОГО ТИПА	178
Н. В. Абабков, А. Н. Смирнов СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩЕМ МЕТАЛЛЕ БАРАБАНОВ КОТЛОВ С ДАННЫМИ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ	181
К. В. Князьков, М. В. Радченко, А. Н. Смирнов, В. Л., Князьков, Э. В. Козлов РЕГУЛИРУЕМОЕ УПРОЧНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ БРОНЗЫ МОДИФИЦИРОВАННОЙ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ	184
А. П. Верещагина, Н. В. Волкова СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ МОТИВАЦИИ РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ В ИННОВАЦИОННОМ И ТРАДИЦИОННОМ СЕКТОРАХ ЭКОНОМИКИ	187
Ж. М. Козлова К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ИННОВАЦИЯХ	190
М. Т. Казарян, Е. В. Останина АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕВЫПОЛНЕНИЯ ПЛАНОВОГО ЗАДАНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗДЕЛИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ...	193
А. Г. Овчаренко, Ю. Р. Андрощук ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ	197
М. С. Канчер, А. Г. Казанцев, А. В. Вдовин СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ И ИНТЕРНЕТ	201

Д. И. Щербинина	
ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ	
ПРЕДПРИЯТИЙ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ	
ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ	
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО АППАРАТА	203
Е. В. Останина, М. Т. Казарян	
ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА НА	
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	205
Н. В. Тюменцева	
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ	
КАК АНАЛИТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ	
РУКОВОДИТЕЛЯ В ФИРМЕ	208
П. В. Вережагин, Т. М. Тушкина, Е. Е. Ермилов	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЖИМА	
ОБОЛОЧЕК ПУЛЬ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ	
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	210
О. Б. Дронова, Е. В. Шакиров	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ	
СЕБЕСТОИМОСТИ СБОРКИ ОБЕЧАЕК НОСОВОЙ	
ЧАСТИ ПОДВЕСНОГО ТОПЛИВНОГО БАКА ПОД	
АРДЭС ПРОДОЛЬНЫХ ШВОВ	212
А. М. Иконников, Ю. В. Федоров	
РАСЧЕТ СЪЕМА МЕТАЛЛА ПРИ МАГНИТНО-	
АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ	215
К. А. Батенков	
ОБОБЩЕННЫЙ ВИД НЕЛИНЕЙНОГО ОПЕРАТОРА	
МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	216
Г. А. Мустафин, А. Ю. Зык, Т. В. Мустафина	
ВЛИЯНИЕ НА ЖАРОСТОЙКОСТЬ СЕРОГО	
ЧУГУНА ИЗОЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ	218
С. В. Гайст, Е. А. Ишутин, А. М. Марков	
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ	
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАКАТНОГО	
ИНСТРУМЕНТА	220
А. А. Черепанов, А. В. Балашов, Т. Г. Светлова	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ	
ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ	223
С. Л. Леонов, А. А. Ситников, М. Е. Татаркин	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА НАПЛАВЛЕННЫХ	
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	228
Б. И. Мандров, А. В. Гергер, В. Н. Борматов	
ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОГО КОНКУРСА	
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МАСТЕРСТВА В	
НОМИНАЦИИ «ЛУЧШИЙ СВАРЩИК» 2012	230
Г. А. Мустафин, Т. В. Мустафина, Г. А. Околович	
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И	
МИКРОСТРУКТУРА ЗАКАЛЕННОЙ	
БОРИРОВАННОЙ СТАЛИ 20Л	232
М. В. Доц, А. М. Марков	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ	
ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ	
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	235
О. А. Барсукова, П. О. Черданцев	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ	
НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ С	
ПРОГРЕССИВНОЙ СХЕМОЙ РЕЗАНИЯ	238
О. Л. Никитина	
РАЗВИТИЕ НАУКОЕМКИХ ОТРАСЛЕЙ	241
О. Б. Дронова	
АЛГОРИТМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО	
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРГСТРУКТУРЫ ВУЗА В	
СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ И ЭТАПОМ	
РАЗВИТИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ	244
А. М. Марков, М. И. Маркова, Е. М. Плетнёва	
АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРУППОВОГО	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ	247

Т. В. Мустафина, Г. А. Мустафин, Г. А. Околович	
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И	
МИКРОСТРУКТУРА БОРИРОВАННОЙ СТАЛИ 20Л	
ПОСЛЕ НОРМАЛИЗАЦИИ	251
В. Б. Деев, С. А. Цецорина, А. В. Прохоренко,	
В. Н. Алхимов, Д. В. Воробьева	
РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА	
РАСПЛАВЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЛИТЕЙНЫХ	
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	254
Л. А. Куркина, А. М. Гурьев, С. Г. Иванов,	
С. А. Земляков, А. Д. Грешилов, Ю. П. Хараев	
ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ДИФфуЗИОННОГО	
НАСЫЩЕНИЯ НА РАЗМЕРЫ БОРИРОВАННЫХ	
ОБРАЗЦОВ	256
Н. И. Мозговой	
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ	
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	259
В. Б. Бутыгин, А. С. Демидов	
ЛЕГИРОВАННЫЕ ШТАМПОВЫЕ СТАЛИ	
ШИРОКОГО ДИАПАЗОНА ПРИМЕНЕНИЯ	263
В. Б. Деев, И. Ф. Селянин, К. В. Пономарева,	
В. Н. Алхимов, О. В. Бинас	
МОДИФИЦИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ФИЗИЧЕСКИХ	
ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАСПЛАВЫ В	
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ЛИТЬЯ	
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	266
Л. А. Куркина, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев,	
С. А. Земляков, А. Д. Грешилов, Ю. П. Хараев	
ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА	
НАСЫЩАЮЩЕЙ СМЕСИ НА ИЗМЕНЕНИЕ	
РАЗМЕРОВ ОБРАЗЦОВ ПРИ БОРИРОВАНИИ	268
В. В. Зобнев, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, А. М. Марков,	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ	
ИЗНОСОСТОЙКОГО ИНСТРУМЕНТА	271
М. А. Гурьев, Д. С. Фильчаков, С. Г. Иванов	
ЛИТЫЕ ДЕТАЛИ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ	
С УПРОЧНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ	274
И. А. Гармаева, О. А. Власова, А. М. Гурьев,	
Н. Ю. Малькова	
СТРУКТУРА СТАЛЕЙ ПОСЛЕ	
ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО БОРИРОВАНИЯ	277
В. Б. Бозуцкий, Ю. К. Новосёлов, С. М. Братан	
РАСЧЕТ РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА АБРАЗИВНЫХ	
ЗЕРЕН ПРИ НАРУЖНОМ КРУГЛОМ	
ШЛИФОВАНИИ	279
Ю. К. Новоселов, С. М. Братан, Ю. О. Стреляная,	
Д. А. Каинов	
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО	
ПОДШИПНИКА ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ	
СТАНКОВ	284
Л. А. Бохова, К. А. Филиппова, И. В. Е. Розов	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ,	
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ	
КАРКАСА ОСТЕКЛЕНИЯ ФОНАРЯ КАБИНЫ	
ВЕРТОЛЕТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО	
МАТЕРИАЛА	287
А. М. Кириенко, А. П. Андросов, В. А. Быков	
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗУБЬЕВ	
КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	
НАПЛАВКОЙ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА	292

Учредители журнала:
 Администрация г. Барнаула
 Алтайский государственный технический
 университет имени И. И. Ползунова
 ОАО «Барнаульский шинный завод»
 НКО «Алтайский банковский союз»
 Союз промышленников Алтайского края

ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА

В. М. Константинов, Г. А. Ткаченко, А. Г. Слуцкий, М. В. Семенченко
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

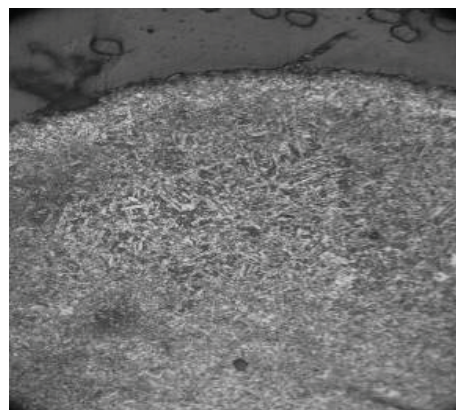
Модифицирования играет важнейшую роль при получении качественных чугуновых отливок. Сравнивая немодифицированный и модифицированный чугун легко выявить различия в микроструктуре, которая в свою очередь, определяет механические и технологические свойства отливки. В модифицированном чугуне повышается прочность и пластичность, снижается твердость и чувствительность микроструктуры к толщине стенок, формируется более однородная микроструктура. Посредством модифицирования можно управлять процессом формирования включений графита, степенью эвтектического переохлаждения чугуна, что позволяет обеспечить понижение склонности чугуна к усадке при его кристаллизации и отбелу.

Получение требуемых механических свойств готовых отливок достигается за счет того, что в чугун непосредственно перед разливкой в формы вводят модифицирующую присадку (бор или алюминий). В результате в расплаве формируется достаточное количество включений (потенциальных центров кристаллизации графита), на которых растворенный в чугуне углерод осаждается в виде графита, а не в виде карбидов (цементита).

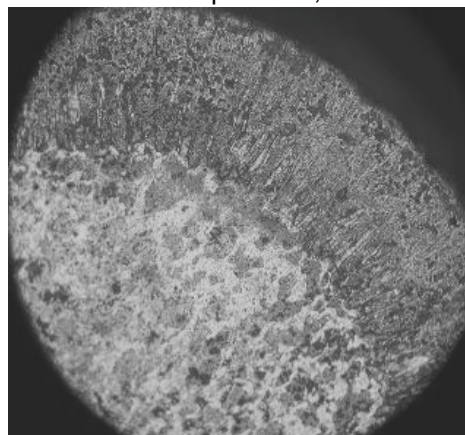
На практике модифицирование часто проводят с использованием чистых металлов или сплавов, которые при добавлении в расплав могут окисляться и выгорать (до 80 %), что снижает эффективность отработки расплава [1, 2]. Взамен традиционно используемых графитизирующих модификаторов была применена диффузионно-легированная проволока. В качестве основы была взята низкоуглеродистая проволока Св08. Методом химико-термической обработки на поверхности проволоки получали алитированный (FeAl) или борированный (FeB, Fe₂B) слои.

Выбор модифицирующих элементов обусловлен тем, что бор изменяет размеры, площадь и характер распределения графитовых включений. Алюминий способствует снижению склонности чугуна к отбелу.

Химико-термическую обработку прутков из проволоки проводили на специально разработанной установке с вращающимся контейнером в порошковой среде, содержащей активатор и вещество содержащее алюминий (бор). Температура алитирования 850 °С время обработки 2 часа. Микроструктура после процесса насыщения представляла собой диффузионный слой из FeAl, толщина слоя 50...80 мкм. Борирование заключалось в нагреве до 950 °С с изотермической выдержкой 2 часа. Микроструктура борированной проволоки двухфазный слой из FeB и Fe₂B толщина слоя 100...150 мкм (рисунок 1).



а – алитирование; ×350



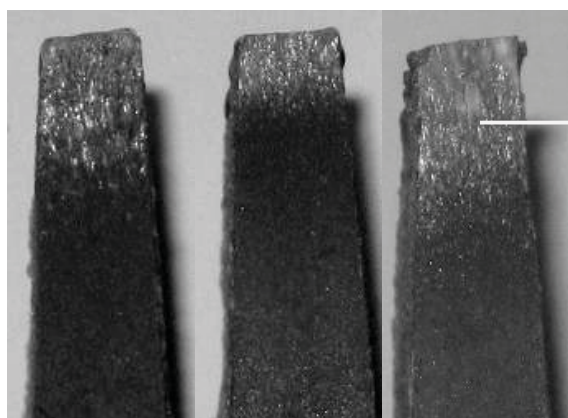
б – борирование; ×350

Рисунок 1 – Стальная проволока после насыщения

Диффузионно-легированную проволоку вводили в ковш перед выпуском жидкого чугуна из плавильной печи, что обеспечивает более эффективное модифицирование. Затем модифицированный чугун разливали по формам с целью получения образцов для изучения технологических (отбела), механических свойств и микроструктуры.

Количество модификатора определяли исходя из 0.1 % масс. на 24 кг расплава.

Склонность чугуна к отбелу оценивали по клиновым пробам. Установлено, что алюминий уменьшает склонность чугуна к отбелу в 2 раза относительно чугуна без модифицирующей добавки, а относительно бора в 1,8 раза (рисунок 2).



а; $\times 10$ б; $\times 10$ в; $\times 10$

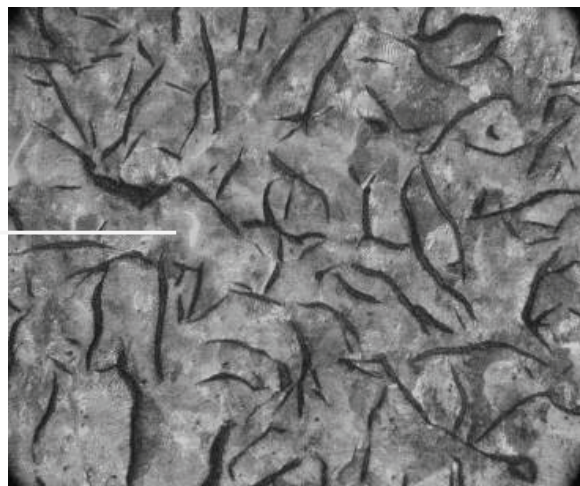
а – добавка бора; б – добавка алюминия; в – без добавок

Рисунок 2 – Клиновая проба на отбел серого чугуна

Добавка проволоки с алюминиевым и борированным слоем привела к изменению микроструктуры основы и формы графита серого чугуна. Микроструктура немодифицированного чугуна представляла собой пластинчатый графит (до 150 мкм длина пластины) и перлитную металлическую основу (рисунок 3).



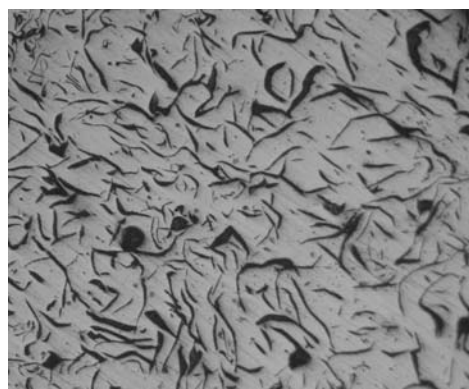
$\times 100$



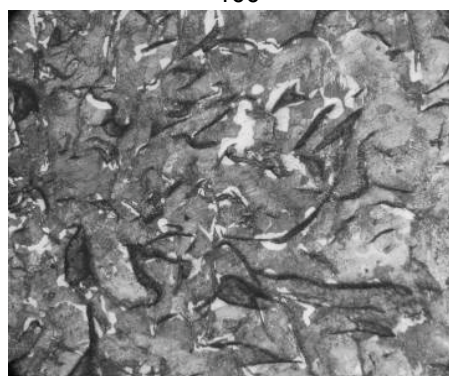
$\times 350$

Рисунок 3 – Серый чугун без модифицирования

В модифицированном алитированной проволокой чугуне наблюдается значительное увеличение дисперсности графита до 80 мкм. Металлическая основа чугуна становится ферритоперлитной (рисунок 4). Чугун, модифицированный бором, испытывает подобные превращения. Размер графитовых включений до 50 мкм, а графит имеет пластинчатую форму. Эффект ферритизации есть, но в меньшей степени, чем у чугуна модифицированного алюминием (рисунок 4).



×100



×350

Рисунок 4 – Серый чугун модифицированный алюминием

Результаты механических испытаний на сжатие (ГОСТ 25.503-97) показали, что модифицированный чугун бором сопротивляется сжатию с большим усилием и обладает большей текучестью материала (таблица 1).

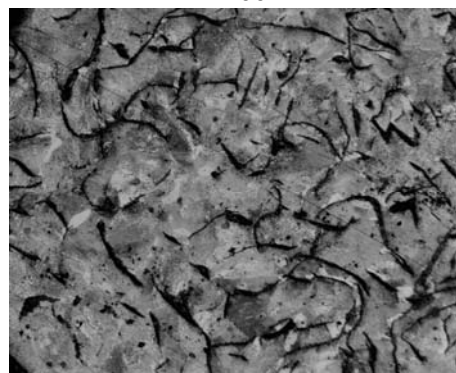
Таблица 1 - Механические испытания чугунов

Серый чугун	Прочность на сжатие, МПа	Твердость, HRB
Исходный	500±10	87±3
Модифицированный бором	563±10	85±3
Модифицированный алюминием	525±10	82±3

Формирование в чугуне ферритоперлитной основы после модифицирования алюминием не привело к снижению прочности материала, а наоборот за счет увеличения дисперсности графита прочность повысилась. Микроструктура модифицированного бором чугуна обеспечила максимальный прирост прочности, что обусловлено большей степенью измельчения графита чугуна и сохранением перлитной основы.



×100



×350

Рисунок 5 – Серый чугун модифицированный бором

Бор, находящийся в химическом соединении с железом (FeB , Fe_2B) является наиболее предпочтительным модификатором для серого чугуна с целью повышения прочности отливки. Это обусловлено в первую очередь значительным измельчением структуры и графитовых включений. Алюминий, находящийся в соединении с железом FeAl снижает склонности к отбелу отливок (в 2 раза) относительно немодифицированного чугуна, но способствует ферритизации металлической основы.

Список литературы:

1. Бестужев Н. И. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении. Мн., Наука и техника, 1992. - 269 с.
2. Чугун: Справочник/ Под редакцией А. Д. Шермана, А. А. Жукова. М., Металлургия, 1991. - 576 с.

ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ТРЕЩИН ПРИ СВАРКЕ СТАЛИ 30ХГСА

Ю. П. Аганаев, А. М. Гурьев, ¹Б. Д. Лыгденов, Н. Г. Бильтриков
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

¹Восточно – Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

Стали типа «хромансил» обладают высокой прочностью, низкой чувствительностью к надрезам и поэтому широко используются для ответственных сварных конструкций.

Основная трудность при сварке сталей данного класса это склонность к закалке и образованию холодных трещин. Для предупреждения образования холодных трещин в технологическом процессе предусматривают предварительный подогрев, отпуск после сварки, использование высоколегированных сталей аустенитного класса в качестве присадочного материала. Однако выполнение указанных мероприятий не всегда гарантирует качество сварного соединения сталей типа «хромансил».

Так, для экспертизы были представлены образцы из стали 30ХГСА, толщиной 4 мм., сваренные под слоем флюса АН-26, при напряжении дуги 20 В, сварочном токе 160 А, диаметре электрода 2 мм., скорости сварки 0,5 см/сек. После сварки образцы подвергали отпуску при 600°С, в течении 1 часа.

Испытания механических свойств показали, что разрушение образцов происходит по околошовной зоне, при значениях показателей прочности и относительного удлинения ниже стандартных. Для объяснения причин снижения показателей прочности и пластичности сварного соединения из стали 30ХГСА провели дюрометрические исследования, которые показали отсутствие закалочных структур в шве и околошовной зоне. Фрактографический анализ проводили с использованием растрового электронного микроскопа JEOL JSM-651LV. Излом образца после механических испытаний показан на фото. Сварной шов соответствует светлomu участку на снимке. Рельеф околошовной зоны характеризуется чередованием выступов (светлая сетка) и темных углублений. Такой рельеф характерен для вязкого излома и свидетель-

ствует об отсутствии в структуре хрупких составляющих, например мартенсита. То есть, холодные трещины, обусловленные закалочными процессами, не являются причиной снижения показателей прочности и пластичности. В околошовной зоне наблюдаются разрывы металла, имеющие межкристаллитный характер распространения и которые можно классифицировать как кристаллизационные трещины.

Образование кристаллизационных трещин происходит при деформации твердого жидкого металла в температурном интервале хрупкости (ТИХ) [1]. Структура металла шва и околошовной зоны в ТИХ представляет собой кристаллиты, разделенные жидкой прослойкой, обогащенной в результате ликвации легирующими и примесными элементами сплава. При деформации сварного соединения в ТИХ со скоростью выше критической, происходит разрыв прослоек. Подобный подход не учитывает то, что углеродистые и низколегированные стали в ТИХ испытывают перитектическое превращение.

В работе [2], отмечена особенность перитектической реакции на участке неполного расплавления околошовной зоны, которая заключается в том, что повышение концентрации растворенного компонента у поверхности растущего зерна уменьшает величину изобарного потенциала жидкой фазы, вызывая концентрационное переохлаждение, а выделение энтальпийного тепла, за счет высокой теплопроводности жидкой фазы, расплавляет поверхность исчезающего зерна. При этом расстояние (зазор) между зернами устанавливается так, чтобы значение переохлаждения было максимальным. Указанный механизм позволяет объяснить аномально быстрый рост зерен на участке неполного расплавления околошовной зоны, однако наличие прослоек жидкой фазы может

ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ТРЕЩИН ПРИ СВАРКЕ СТАЛИ 30ХГСА

способствовать образованию кристаллизационных трещин. Так, в работе [3], показано, что из-за разницы в объеме жидкой и твердой фаз, в межкристаллитной жидкости возникают напряжения, способные привести к нарушению сплошности. Величина напряжений зависит от кинематической вязкости и параметров структуры, определяющих гидродинамическое сопротивление течению межкристаллитной жидкости. Параметры структуры зависят в свою очередь от полноты протекания перитектического превращения, а следовательно от степени температурного воздействия. С другой стороны, размеры околошовной зоны нагреваемой до ТИХ зависят от теплофизических свойств материала, способа и параметров режима сварки. В связи с этим представляет интерес регулирование полноты протекания перитектической реакции и размеров зоны термического влияния для снижения вероятности образования кристаллизационных трещин.

Выводы:

1. Режимы сварки и термической обработки стали 30ХГСА обеспечивают требуемую стойкость против образо-

вания холодных трещин.

2. Снижение показателей прочности и пластичности сварных соединений из стали 30ХГСА связано с наличием в околошовной зоне кристаллизационных трещин (рисунок 1).
3. При разработке мероприятий по повышению стойкости сварных соединений из стали 30ХГСА необходимо учитывать особенности перитектических превращений.

Список литературы:

1. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. М. «Металлургия», 1976.
2. Аганаев Ю.П., Гурьев А.М., Лыгденев Б.Д. Механизм роста зерен на участке неполного расплавления сварного соединения. Ползуновский альманах. №3, 2006.
3. Аганаев Ю.П., Бармин Л.Н., Кулишенко Б.А. Влияние структуры на образование кристаллизационных трещин при наплавке сплавов железо – бор. «Сварочное производство», №8, 1979.

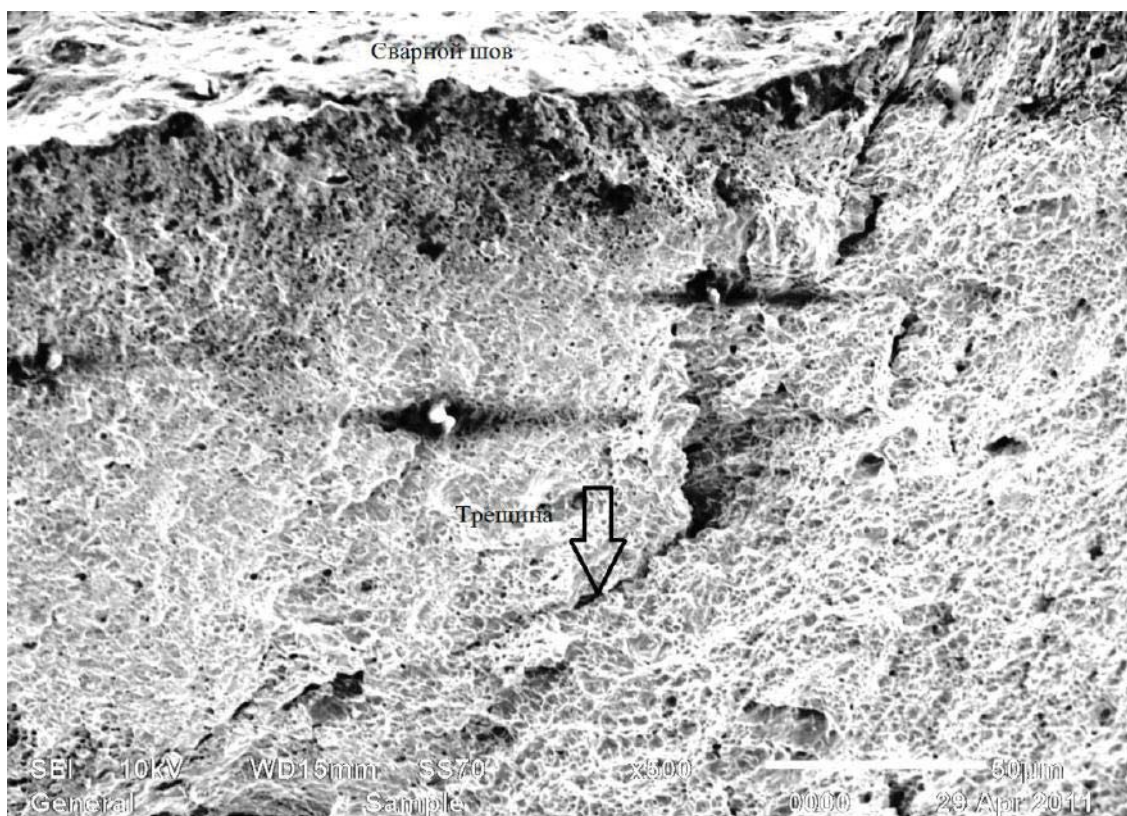


Рисунок 1 – Околошовная зона сварного соединения стали 30ХГСА

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ В АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

И. В. Рафальский, Д. С. Морозов, А. В. Арабей

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Важнейшим элементом в технологической цепи контроля качества литейной продукции является обеспечение контроля и управления составом и свойствами литейных сплавов, при этом исключительно важным является решение задачи формализованного описания и идентификации математических моделей, описывающих свойства сплавов в процессе плавки.

В работе проведен анализ проблемы формализованного описания экспериментальных температурно-временных зависимостей (термограмм) силуминов, полученных с использованием метода компьютерного термического анализа (КТА), а также существующих математических методов классификации и принятия решений для обеспечения экспрессного контроля содержания кремния в сплавах системы Al-Si.

В настоящее время КТА достаточно широко используется как средство контроля процессов выплавки и обработки сплавов, особенно на крупных производствах, которые используют автоматические заливочные линии, что требует постоянного и строгого контроля в режиме реального времени. Экспрессный анализ параметров затвердевания сплава обеспечивает возможность быстрой и точной оценки состава литейного чугуна, стали и цветных литейных сплавов, проводимым непосредственно на рабочей площадке плавильных агрегатов, в том числе для определения углеродного эквивалента (CE, %), содержания углерода (C, %) и кремния (Si, %). В литейных чугунах этим методом оценивают эффективность модифицирования и инокуляции, степень раскисления стали, измельчения зерна, характеристики микроструктуры алюминиевых литейных сплавов, оценки риска образования макро- и микропористости в отливках и др. КТА также широко используют для определения температур начала и конца кристаллизации сплава при затверде-

вании жидкой фазы, определения объемной доли твердой фазы в интервале кристаллизации сплава.

Необходимо отметить, что практическое применение КТА в задачах контроля состава и свойств литейных сплавов связано со сложностью формализованного описания и интерпретации кривых охлаждения. Методы формализованного описания свойств сплавов с использованием данных КТА основаны на результатах математической обработки кривой охлаждения (зависимости «температура–время») с выявлением на ней характерных точек, соответствующих протекающим фазовым превращениям, и построении математических моделей, описывающих состав и свойства сплавов.

Одной из наиболее сложных проблем, затрудняющей интерпретацию и формализованное описание кривых охлаждения сплавов, является изменчивость формы кривых охлаждения в зависимости от фазового состава сплава и интенсивности выделения теплоты кристаллизации для каждого момента времени затвердевания сплава. Отклонения кривых охлаждения от экспоненциальной зависимости могут носить сложный характер, поэтому параметры кривых охлаждения (критических точек) крайне трудно поддаются определенной классификации или систематизации с точки зрения формирования строго упорядоченных массивов данных для описания кривой охлаждения сплава.

Важно учитывать, что математические модели, полученные с использованием методов регрессионного анализа, ограничены конкретными диапазонами входных параметров, например, концентраций компонентов. Это приводит к тому, что контроль состава и свойств сплавов, получаемых в процессе плавки, устанавливается строго в соответствии с марками или типами сплавов. Оценки выходных параметров модели являются кор-

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ В АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

ректными только в том случае, если входные параметры математической модели соответствуют установленным ограничениям на модель. В реальных же технологических процессах параметры технологического процесса (и зависящие от них входные параметры модели, например, параметры кривых охлаждения сплавов) могут изменяться в очень широких диапазонах, выходящих за рамки модельных ограничений.

Регрессионные модели для оценки содержания кремния в силуминах с использованием в качестве входных параметров модели температур начала и окончания кристаллизации сплава, ограничены областями, верхней или нижней границей которых является концентрация в эвтектической точке. В том случае, если в процессе плавки концентрация основного легирующего элемента (кремния) окажется больше (для доэвтектических сплавов) или меньше (для заэвтектических сплавов), чем эвтектическая, результат оценки состава сплава может оказаться неверным. Это объясняется тем, что одно и то же значение температуры ликвидус в интервале температур 577 – 660 °С может соответствовать как доэвтектическому, так и заэвтектическому сплаву (например, для сплавов Al–1,8%Si и Al–18%Si температура ликвидус составляет около 650 °С).

В настоящее время для решения проблем идентификации объектов и систем со сложным поведением параметров широко привлекают математические методы и модели классификации и принятия решений, из которых наиболее известными являются бай-

есовская стратегия принятия решений, метод k-ближайших соседей, метод сравнения с эталоном по минимуму расстояний, метод сравнения с эталоном по максимуму функции корреляции и др.

В настоящей работе рассматриваются методологические аспекты контроля содержания кремния в широком диапазоне концентраций в сплавах системы Al-Si на основе данных компьютерного термического анализа с использованием математических методов метрической классификации.

Разработанный метод основан на вычислении вероятности принадлежности объекта Z к заданному классу L на основе функции:

$$P(Z \in L) = 1 - e^{\ln(0.5) \cdot GL / G1} \quad (1)$$

где $G1$, GL - статистические оценки отклонений значений признака от среднего значения по классу.

Для реализации методов автоматизированной классификации сплавов системы Al-Si по признаку принадлежности к группе доэвтектических или заэвтектических сплавов на основе экспериментальных данных компьютерного термического анализа в работе построена диаграмма распределения сплавов в двухмерном пространстве контролируемых признаков. В качестве разделяющих признаков использованы температура ликвидус сплава и массовая доля твердой фазы, выделившийся до начала эвтектической кристаллизации.

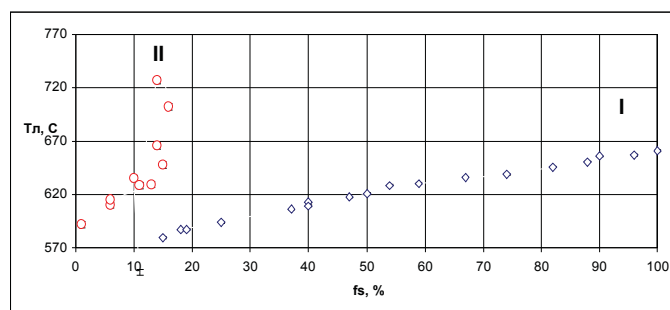


Рисунок 1 – Диаграмма распределения сплавов системы Al-Si:
I – область доэвтектических сплавов;
II – область заэвтектических сплавов.

В связи с тем, что полученные экспериментальные данные характеризуются функцией распределения объектов, близкой к линейному закону (коэффициент линейной парной корреляции для доэвтектических сплавов составляет 0,99), в работе предложен метод классификации сплавов с использованием метрических оценок, представляющих наименьшие расстояния от объекта контроля до базовой линии (линии регрессии), рассчитанной методом наименьших квадратов для объектов заданного класса:

$$G_L(X_j) = \frac{\prod_{i=1}^m |x_{ij} - \hat{x}_i^L|}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \hat{x}_i^L)^2}}, \quad (2)$$

где \hat{x} – расчетное значение i -го признака, соответствующего базовой линии для объектов класса с номером L ;

m – число признаков, используемых для идентификации объектов в двухмерном пространстве ($m=2$).

С использованием модели (2) была по-

строена диаграмма распределения вероятности принадлежности сплавов системы Al-Si к группе доэвтектических и заэвтектических сплавов, с учетом линейного распределения объектов (рисунок 2).

Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных показал, что использованный метод метрической классификации позволяет проводить идентификацию сплава системы Al-Si и принятие решения о его принадлежности к группе доэвтектических или заэвтектических сплавов в автоматизированном режиме с использованием аппаратно-программных средств обработки данных КТА при наименьшем числе ошибок (для исследованной выборки число ошибок классификации равно нулю).

После классификации сплава (определения принадлежности к группе доэвтектических или заэвтектических сплавов) расчет содержания кремния в сплаве может осуществляться с использованием регрессионных математических моделей.

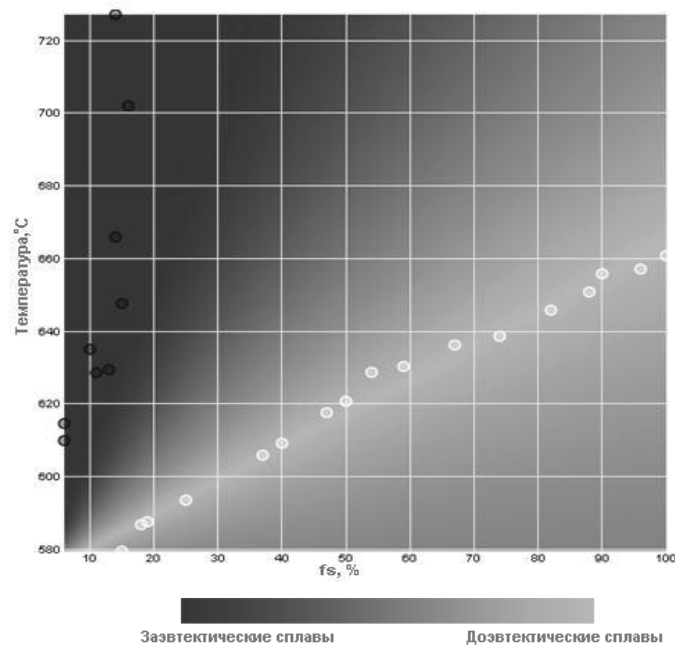


Рисунок 2 - Диаграмма распределения вероятности принадлежности сплавов системы Al-Si к группе доэвтектических и заэвтектических сплавов на основе метрических оценок, полученных методом расчета наименьших расстояний от объекта контроля до базовой линии

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В НАСЫЩАЮЩЕЙ СРЕДЕ СОДЕРЖАЩЕЙ КОБАЛЬТ И БОР

А. В. Мархасаев¹, Б. Д. Лыгденов¹, Б. Ш. Цыреторов²

¹Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,

²Бурятский республиканский техникум автомобильного транспорта,
г. Улан-Удэ, Россия

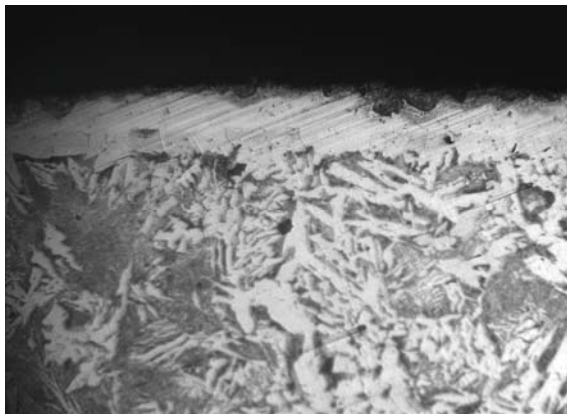
Химико-термическая обработка повышает сопротивление химической и электрохимической коррозии в различных агрессивных средах при комнатной и повышенных температурах (повышает окалиностойкость, кислотостойкость, устойчивость против атмосферной коррозии, коррозии в средах химической, пищевой промышленности, в средах органических и минеральных удобрений и т.д.)

Целью данной работы является диффузионное насыщение кобальтом и бором поверхности углеродистых сталей 30, 45, У12.

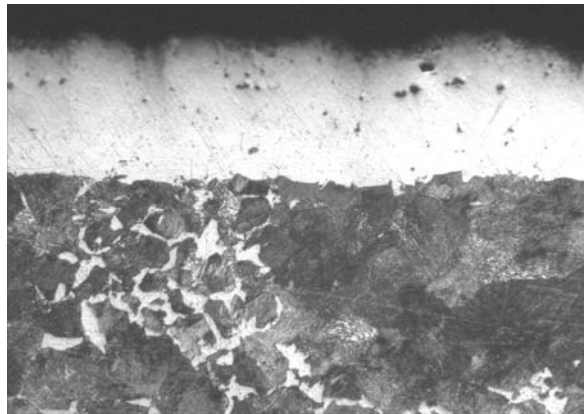
Использовали технологию совмещенного процесса алюмотермического восстанов-

ления оксида металла и диффузионного насыщения. Предварительно определена восстановимость оксида кобальта при алюмотермии. По данным спектрального анализа восстановимость составила 92%.

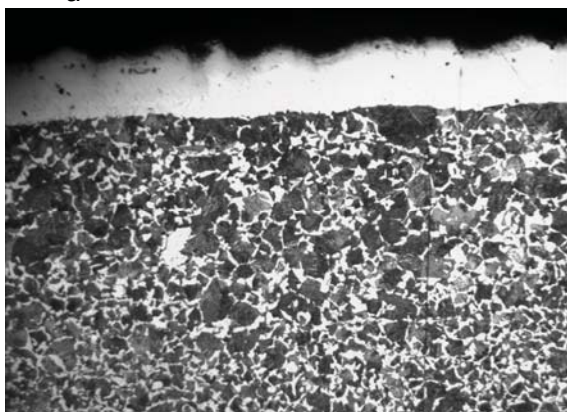
В состав смеси имел следующее соотношение компонентов: оксид кобальта - 35%-40%, оксид алюминия - 60%, алюминий металлический - 5% и в качестве активатора KBF_4 - 5%. Образцы сталей 45, 30, У12 и насыщающую смесь упаковали в герметичный контейнер с плавким затвором и выдерживали в печи в течение 3 часов, при температуре 950°C .



а



б



в

Рисунок 1 – а) сталь 30, толщина диффузионного слоя - 74мкм, $\times 200$; б) сталь 45, толщина диффузионного слоя - 72 мкм, $\times 200$; в) сталь У12, толщина диффузионного слоя - 80 мкм, $\times 200$.

Вывод: Поверхностное упрочнение сталей кобальтом является перспективным направлением обработки металлов, повышающее жаропрочность, улучшающее механические свойства изделий.

Список литературы:

1. Н.Г. Ключников. Руководство по неорганическому синтезу. – М.: Химия, 1965, стр. 19.
2. Ю.Л. Плинер, Г.Ф. Игнатенко. Восстановление окислов металлов алюминием. – М.: Металлургия, 1967, стр. 7.
3. Л.С. Ляхович и др. Многокомпонентные диффузионные покрытия. – Минск, «Наука и техника» 1974, стр. 138.
4. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А. Совершенствование технологии химико-термической обработки инструментальных сталей // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2009. №1. С. 14-15.
5. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Долгоров А.А. Структура и свойства упрочненных бором и бором совместно с титаном поверхности штамповых сталей 5ХНВ и 5Х2НМВФ // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2010. т.7. №1. С. 27-31.
6. Guriev A.M., Kozlov E.V., Lygdenov B.D., Kirienko A.M., Chernyh E.V. Transition

zone forming by different diffusion techniques in borating process of ferrite-pearlite steels under the thermocyclic conditions // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2004. т.1. №2. С. 54-60.

7. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А., Иванов С.Г., Козлов Э.В., Гармаева И.А. Фазовый состав и механизм образования диффузионного слоя при борировании сталей в условиях циклического теплового воздействия // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. №1. С. 20-27.

8. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей. Патент на изобретение №2345175 Опубликовано: 27.01.2009 Бюл. №3.

9. Кошелева Е.А., Гурьев А.М. Оптимизация химического состава насыщающих смесей при диффузионном борировании инструментальных сталей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2009. №5. С. 76-77.

10. Гурьев А.М., Грешилов А.Д., Кошелева Е.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Долгоров А.А. Многокомпонентное диффузионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2010. №2. С. 19-23.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕЗАГРЕГАЦИИ И МЕХАНОАКТИВАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ОБОРОТНОЙ СМЕСИ

Ф. М. Поломошнов, А. А. Шнейдер, А. С. Григор, В. А. Марков
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Как известно, обратная смесь является основным компонентом для приготовления песчано-глинистой смеси (ПГС). ПГС на 90...98% состоит из обратной – переработанной, выбитой из опок смеси. Следует отметить, что зерна кварцевого песка в обратной смеси, будучи подвергнуты тепловой обработке при заливке формы металлом, обладают меньшей, по сравнению со свежим кварцевым песком, способностью к расширению и растрескиванию. [1]

Одно из главных условий получения качественной формовочной смеси – использование исходных материалов со стабильными свойствами. В процессе приготовления смеси кварцевый песок подвергается силовому воздействию, в результате чего форма его зерен изменяется. Происходит количественное изменение зернового состава с приростом фракций более крупных, чем у исходного песка за счет формирования конгломератов и агрегатированных зерен. Наряду с укрупнением происходит также измельчение исходного зерна и формирование на его поверхности адгезивной оболочки, состоящей из активных и неактивных частиц глинистого связующего, побочных продуктов термического разложения углеродсодержащих материалов, частиц сложных силикатов. Тем не менее, из двух конкурирующих процессов: измельчения и укрупнения фракций зерновой основы, преобладает процесс укрупнения за счет формирования нового зерна.

Следовательно, система смесеприготовления и, особенно, смеситель должны снижать или не допускать увеличения количества крупных фракций, а также повышать активность в готовой ПГС.

Исследования проводились в трех смесителях: катковом, барабанном, с рабочими органами типа стержни-катки и бескатковом центробежном смесителях.

В качестве объекта исследования выбирали обратную смесь после заливки стали 40, в которой преобладает фракция 04, со-

ставляющая 34,5% от массы смеси. После ситового анализа содержание фракций 1,6 и 2,5 составило 0,3 и 0,15% соответственно, при том, что в песке освежения преобладает фракция 02. Исследуемую обратную смесь подвергали механоактивации в лабораторном барабанном смесителе с рабочими органами типа стержни-катки и в бескатковом центробежном смесителе с варьированием времени перемешивания и количества рабочих органов. Для количественной оценки эффективности процесса дезагрегации параллельно проводили сухое перемешивание ОС в лабораторном катковом смесителе и через определенные интервалы времени отбирали пробы для ситового анализа.

На первой стадии исследовали количественное изменение зернового состава смеси, в зависимости от времени дезагрегации в барабанном и центробежном смесителях, а так же, в зависимости от варьирования рабочих органов в барабанном смесителе. Анализ полученных данных показал, что дезагрегирующее действие барабанного и центробежного смесителей значительно эффективнее, чем каткового. Из диаграмм видно, что после первых нескольких минут дезагрегации (рис.1) крупные частицы разделяются на более мелкие. В барабанном смесителе наиболее эффективно процесс дезагрегации развивается, когда в рабочей поверхности барабана находится четыре и семь рабочих органов. Образовавшиеся мелкие частицы имеют неправильную, хлопьевидную форму с шероховатыми краями.

Дальнейшая механоактивация в барабанном смесителе приводит к уменьшению среднего размера частиц, но образующиеся мелкие частицы начинают приобретать более правильную форму. Однако длительная дезагрегация с четырьмя и семью рабочими органами ведет к излишнему накоплению в смеси пылевидных фракций, оказывающих негативное влияние на свойства смеси. Эта проблема весьма удачно решается в бескатковом

центробежном смесителе. Под действием рабочих органов смесителя, частицы компонентов смеси, достигая определенных размеров, соответствующих требуемым оптимальным параметрам переходят во взвешенное состояние и далее не измельчаются. В то время как крупные фракции, агрегированные зерна и конгломераты подвергаются интенсивному воздействию рабочих органов смесителя. В результате происходит разделение дисперсных частиц за счет сил веса и центробежных сил, которые воздействуя определенным образом на частицы смеси, обеспечивают их разделение по фракциям с последующим псевдооживлением и перемешиванием псевдооживленного организованного потока компонентов смеси в рабочем пространстве смесителя.

На второй стадии эксперимента исследовали образцы ПГС после механоактивации в катковом и барабанном смесителях кондуктометрическим методом определения активности суспензии формовочных материалов:

навеску смеси, отобранной согласно опыту, помещают в емкость, залитую дистиллированной водой, при удельной концентрации смеси в суспензии 0,017г/мл. Затем в емкость с суспензией помещают миксер с электродами. Гидратация продолжается 10 минут с фиксацией показаний через 1 минуту.

Исследование активности смеси кондуктометрическим методом подтверждает эффективность процессов механоактивации и дезагрегации, протекающих в процессе сухого перемешивания ПГС. Прежде всего рост активности обусловлен оттиркой с поверхности зерен ОС адгезивной оболочки, состоящей из активной глинистой составляющей, углеродсодержащего материала, мелких частичек кварца и др. При этом рост активности наблюдается в первые 5 минут, а после 10 минут механоактивации активность смеси снижается, однако смесь после 10 минут механоактивации на 25% активнее, чем исходная (рисунок 2)

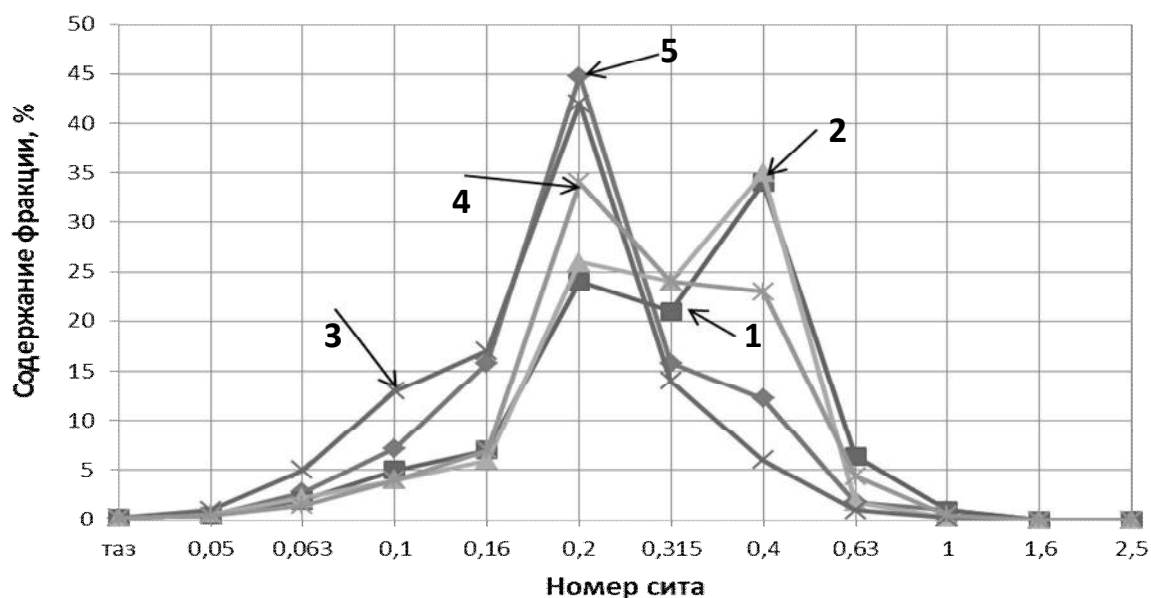


Рисунок 1 – Зерновой состав формовочной смеси после 5 минут механоактивации: (1) – исходная смесь; (2) – катковый смеситель. Барабанный смеситель: с четырьмя (3), с семью (4). Бескатковый центробежный смеситель – (5).

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕЗАГРЕГАЦИИ И МЕХАНОАКТИВАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ОБОРОТНОЙ СМЕСИ

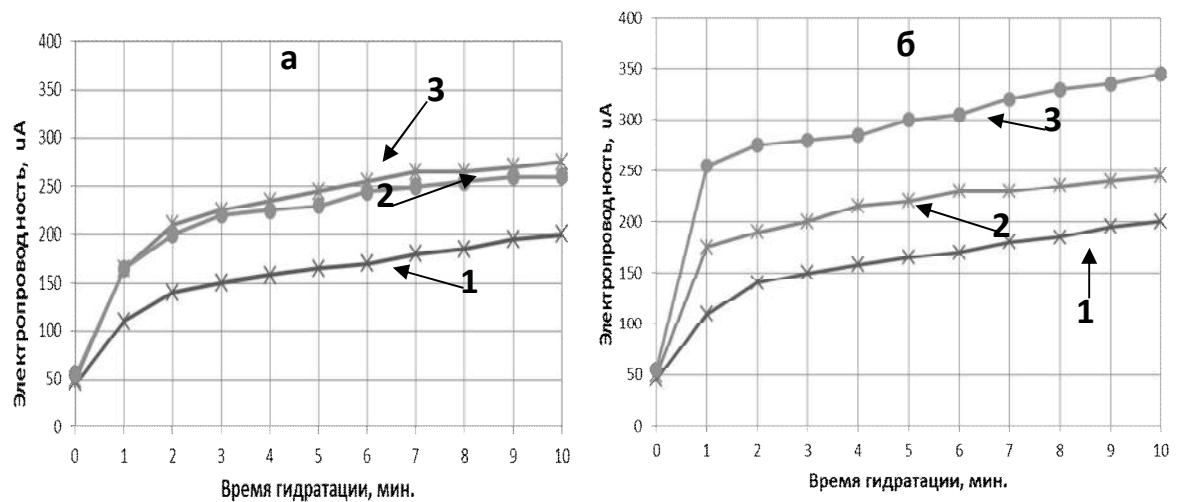


Рисунок 2 – Влияние времени механоактивации и гидратации на электропроводность суспензии смеси, в зависимости от времени механоактивации в катковом (а) и барабанном (б) смесителях: 1,2,3 – 0; 5 и 10 минут механоактивации, соответственно.

Список литературы:

1. Концепция механизма формирования свойств единых песчано-глинистых смесей в процессе перемешивания / В.А. Марков, К.Е. Нефедов, М.В. Пешков, А.А. Апполонов // Литейное производство. – 2004. – №1. – С.15-17

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ ПРИ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМ И СОВМЕШНОМ НАГРЕВЕ

В. М. Константинов, Г. А. Ткаченко

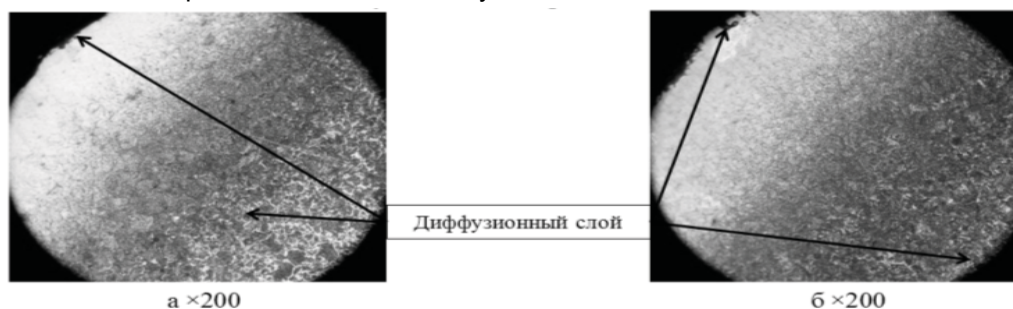
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь

Стационарные процессы термической и химико-термической обработки металлов и сплавов наиболее распространены в промышленном производстве. Цементация, азотирование, закалка и отпуск отработаны, изучены и обеспечивают требуемые окончательные свойства сплава. Недостатком стационарных процессов является их ограниченное влияние на микро- и субструктуру материала, а следовательно на комплекс эксплуатационных свойств готового изделия. В настоящее время активно проводятся исследования по структурообразованию сталей и цветных сплавов в условиях циклической химико-термической и термической обработки. В научно-исследовательских работах рассмотрены изменения в процессах диффузионного насыщения, структурного состояния и конструкционной прочности стальных изделий под действием многократных фазовых превращений с печным нагревом. Однако не в полной мере изученными остаются процессы структурообразования диффузионных слоев с использованием циклического индукционного нагрева.

Влияние циклического нагрева на цементацию изучали на процессе высокотемпературного насыщения из паст на образцах из стали 40X. Технологический процесс заключался в обезжиривании поверхности образцов, приготовлении пасты, нанесении пасты на подготовленную поверхность образца, сушке слоя пасты. Подготовленные по описанной методике образцы помещали в индук-

тор, где нагрев осуществляли до температуры 1050 ± 50 °C с последующей изотермической выдержкой до 120 с.

В силу специфики процессов, происходящих в условиях непрерывного изменения температуры, в стали происходит изменение кинетики и механизмов структурообразования, а также меняются свойства стали, а, следовательно, надежность и долговечность изделия. Исследования и практический опыт показали эффективность использования ТЦО для повышения прочности, пластичности, вязкости и других механических свойств стали. В наших исследованиях удалось установить факт ускорения диффузии углерода в процессе высокотемпературной цементации из паст. В ходе циклического нагрева, заключающегося в перегреве образцов стали 40X на 200 °C выше точки A_3 и охлаждении до температуры ниже точки A_1 на 100 °C, происходила интенсификация диффузионных процессов, увеличивалась дисперсность слоя и основного металла, а также наблюдалось равномерное распределение микротвердости по толщине слоя. Кинетика диффузионного насыщения с циклическим нагревом имела сложную зависимость от количества циклов за единицу времени. Было установлено, что за один цикл с изотермической выдержкой равной 2 минутам, толщина высокоуглеродистого слоя составила 280 мкм, за четыре цикла теплосмен продолжительностью по 30 секунд – толщина слоя 340 мкм (рисунок 1).



а – после 4 циклов; б – после 6 циклов

Рисунок 1 - Микроструктура стальных образцов после цементации с циклическим

ТЕХНОЛОГИИ ДИСПЕРСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ

Интенсификация процесса насыщения при ТЦО обусловлены следующим. В процессе скоростного индукционного нагрева формируется мелкозернистый аустенит с большой протяженностью границ зерен, что увеличивает коэффициент диффузии. Микропластическая деформация зерен из-за фазового наклепа [1], сопровождаемая рекристаллизацией [4]. Известно, что значительный эффект ускорения наблюдается, если процесс диффузии атомов внедрения сопровождается пластической деформацией выше температуры рекристаллизации [3, 4].

Во время циклической цементации установлено, что с увеличением интенсивности теплосмен (до 8) и уменьшением времени изотермической выдержки в аустенитной области при каждом цикле (выдержка 15 секунд) приводит к снижению скорости насыщения 30 мкм за 15 секунд.

При термоциклической обработке происходит фазовый наклеп [3, 4] и одновременно протекает процесс рекристаллизации зерен аустенита достигающий стадии полигонизации и в отдельных случаях вторичной рекристаллизации [2].

Известно [5, 6], что процесс предварительной холодной деформации снижает диффузионную подвижность атомов внедрения на углеродистых сталях с увеличением степени предшествующей деформации. Так в работах [4-6], при цементации стали 10 в течение 1 часа, установлено уменьшение толщины диффузионного слоя до 2 раз с ростом степени предшествующей деформации.

Уменьшение подвижности атомов внедрения обусловлено формированием термически устойчивой полигональной структуры, способствующей образованию вакансий, которые замедляют процесс диффузии атомов внедрения [3-6]. Полигональная структура может сохраняться до высоких температур [5], конкурируя с процессами рекристаллизации, снижающими повышенную плотность дефектов. В работах [4-6] отмечено, что при полигонизации и формировании субструктуры происходит перераспределение и аннигиляция дислокаций, сопровождаемая образованием значительного числа избыточных вакансий. Взаимодействие атомов внедрения с вакансиями приводит к замедлению их подвижности.

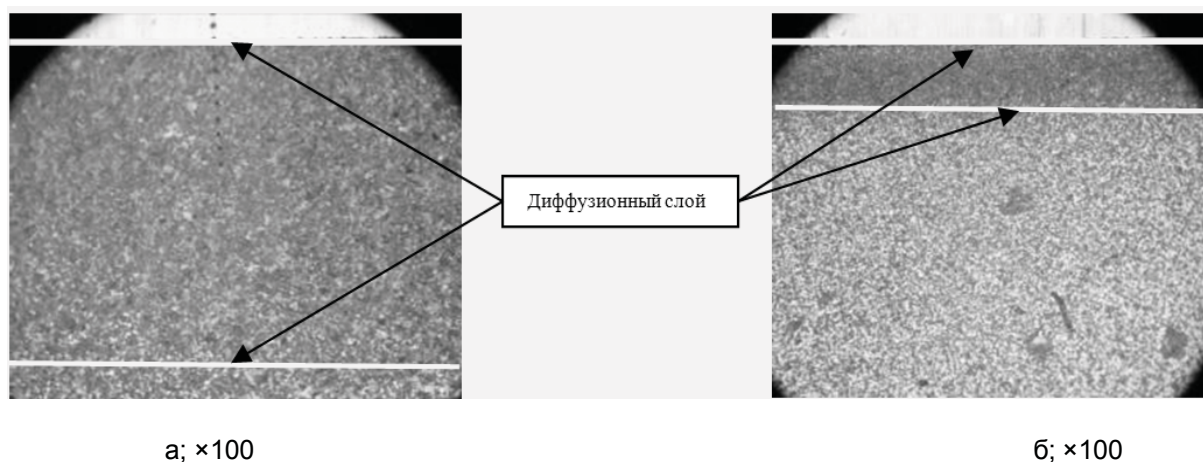
Для подтверждения предположения о том, что при циклических фазовых превращениях, сопровождаемых фазовым наклепом, могут образовываться термически

устойчивые дефекты кристаллической структуры, которые препятствуют диффузии атомов внедрения, были проведены дополнительные исследования по структурообразованию диффузионных слоев на конструкционных сталях во время цементации.

Изучение влияния предварительного термоциклирования на последующее диффузионное насыщение проводили на стали 40Х. Режимы предварительного термоциклирования заключались в многократном переходе через критические точки на 50 °С выше и на 100 °С ниже точек A_3 и A_1 .

Выбранный диапазон температур позволил получить равномерный прогрев всего сечения образца за один цикл индукционного нагрева. Этому способствовал интенсивный теплоотвод с поверхности в сердцевину образца, а также возрастающая глубина проникновения тока в сталь после перехода точки Кюри. Равномерность распределения температуры по сечению способствовала одновременному превращению ферритоперлитной структуры в аустенит по всему сечению. Нагрев и охлаждение в циклах осуществляли с постоянной скоростью 30...40 °С/с и 3...5 °С/с. Температуру контролировали при помощи пирометра. Образцы перед термоциклированием были подвергнуты полному отжигу. Предварительная циклическая обработка проводилась в количестве 6 циклов. Как было установлено ранее после 4 и более циклов скоростного индукционного нагрева в структуре металла возникают наклепанные зерна, появляется полигональная структура, которая весьма устойчива при последующем нагреве. Сохраняющаяся полигональная структура задерживает скорость перемещения атомов внедрения, тем самым мешая их движению [2].

Диффузионное насыщение проводили при 850 °С в течение 1 часа в науглероживающей среде. Сопоставление кинетики насыщения осуществляли на образцах без предварительного термоциклирования (отжиг) и после 6-ти кратного термоциклирования. Было установлено, что в крупнозернистом металле, предварительно отожженном, диффузия протекает быстрее, чем в мелкозернистом металле (наклепанное зерно в результате фазовых превращений). Подобное явление обусловлено задержкой развития рекристаллизационных процессов структуры металла из-за сформированной полигональной структуры при предварительной ТЦО (рисунок 2).



а – отожженный образец; б – предварительная ТЦО шесть циклов
Рисунок 2 – Микроструктура диффузионного слоя на стали 40X после цементации в течение 1 часа 850 °C

Выводы:

Интенсификация диффузии в среднеуглеродистой стали достигается за счет периодической микропластической деформации и одновременной рекристаллизации зерен в процессе многократных фазовых превращений. Фазовые превращения сопровождаются измельчением структуры, что увеличивает протяженность границ зерен и блоков – легких путей диффузии.

Замедление диффузии наблюдается только при количестве циклов более 4, это обусловлено накоплением степени микропластической деформации зерен и формированием устойчивой полигональной структуры, которая препятствует протеканию рекристаллизационных процессов в полном объеме. Так как диффузия не сопровождается рекристаллизацией зерен, поэтому и происходит снижение интенсивности роста диффузионного слоя. Данный факт убедительно доказан при совместном воздействии на металл диффузии углерода и циклических фазовых превращений, а также при предварительной термоциклической обработке стали перед цементацией. В обоих случаях наблюдается снижение толщины слоя. Общеизвестный факт, что в мелкозернистом материале скорость диффузии выше справедлив, если зерно металла не имеет дефектов кристаллического строения (оно не наклепано).

Список литературы:

1 Федюкин, В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В.К.

Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Л.: Знание, 1989. – 241 с.

2 Константинов, В.М. Образование структуры рекристаллизации при термоциклической обработке конструкционных сталей / Константинов В.М., Ткаченко Г.А. // Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств : материалы X Междунар. научн.-практ. конф., Барнаул, 19-20 ноября 2009 г. / АлтГТУ ; рекол.: А.М. Гурьев [и др.]. – Барнаул, 2009. – С. 61–65.

3 Матосян, М.А. Влияние предварительной холодной пластической деформации на диффузию углерода в сплавах на железной основе / М.А. Матосян, В.М. Голиков // Физика металлов и металловедение, 1968. – Т. 25. – Вып. 2. – С. 377–381.

4 Долженков, И.Е. Влияние пластической деформации на насыщение железа углеродом / И.Е. Долженков, И.Н. Лоцманов, И.И. Андрианова // Металловедение и термическая обработка металлов, 1973. – № 3. – С. 2–5.

5 Бутаков, Б.И. Влияние поверхностной пластической деформации на степень упрочнения и диффузию химических элементов в поверхностном слое / Б.И. Бутаков, Д.Д. Марченко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, 2009. – № 46. – С. 17–21.

6 Герцрикен, Д.С. Некоторые закономерности миграции атомов в условиях скоростной пластической деформации / Д.С. Герцрикен, В.Ф. Мазанко // Металлофизика, 1983. – Т. 5. – № 4. – С. 74–84.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИЛИЦИРОВАНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Б. П. Бимбаев, Т. В. Будаев, В. А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденов

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

Внедрение новых технологических процессов в промышленности в ряде случаев тормозится отсутствием материалов, способных работать в экстремальных условиях.

Силицирование – диффузионное насыщение поверхности металла кремнием с получением силицидов железа.

В данной работе представлены результаты силицирования в порошковой среде образцов из сталей 20, 45 и У12.

Процесс насыщения проводили при температуре 1000 °С в течение 6 часов. В результате на указанных сталях были получены диффузионные слои толщиной около 600 мкм. (см. рисунок 1,2,3)

Испытания на коррозионную стойкость проводились согласно ГОСТ 9.908-85. Исследовались образцы исследуемых сталей после силицирования по выбранному режиму, а также для сравнительной оценки были изготовлены образцы приблизительных размеров и массы. Все образцы до испытаний взвешивались на аналитических весах WA-31. Образцы погружались в колбы, наполненные растворами кислот: азотной, серной, соляной. По истечении 24 и 48 часов образцы промывались в воде, просушивались для удаления влаги и повторно взвешивались. Потеря массы не наблюдалась на силицированных образцах. Среднее значение потери массы в различных кислотах стали 20 составило 14 мг после 24 часов и 69 мг после 48 часов; стали 45 – 38 мг после 24 часов и 96 мг после 48 часов; стали У12 - 4 мг после 24 часов и 86 мг после 48 часов. Потеря массы силицированных образцов началась по истечении 72 ч. Данные представлены на рисунке 4.

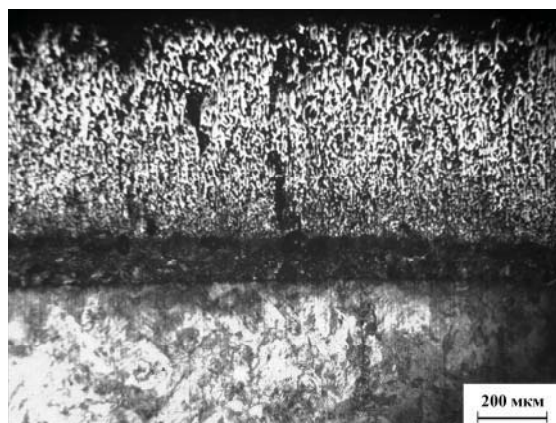


Рисунок 1 – Микроструктура диффузионного слоя на стали 20

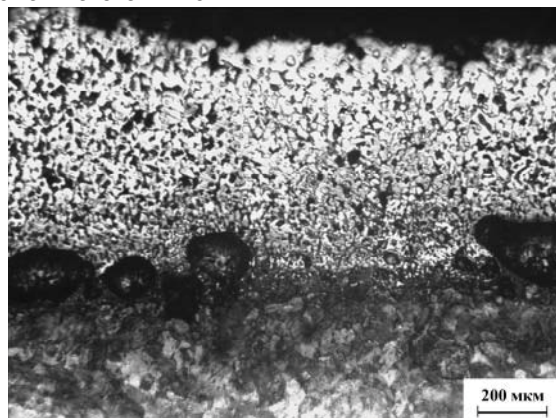


Рисунок 2 – Микроструктура диффузионного слоя на стали 45

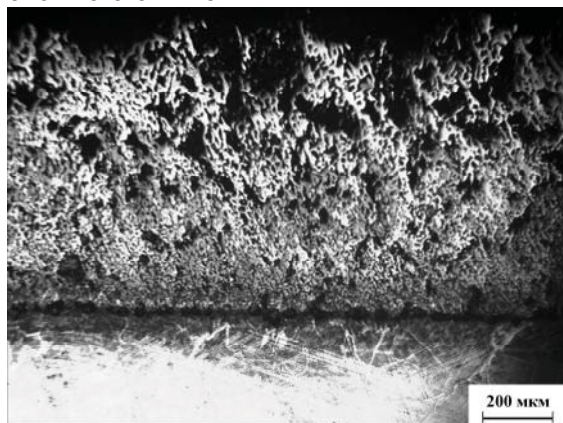
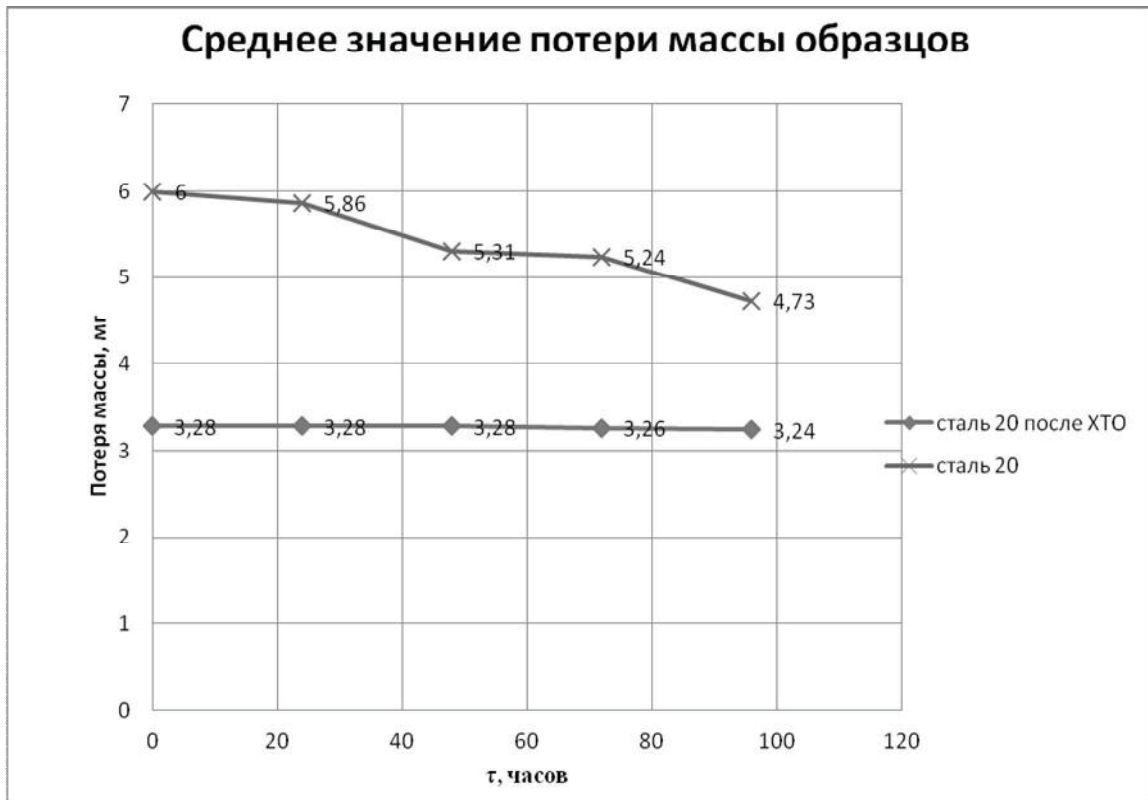
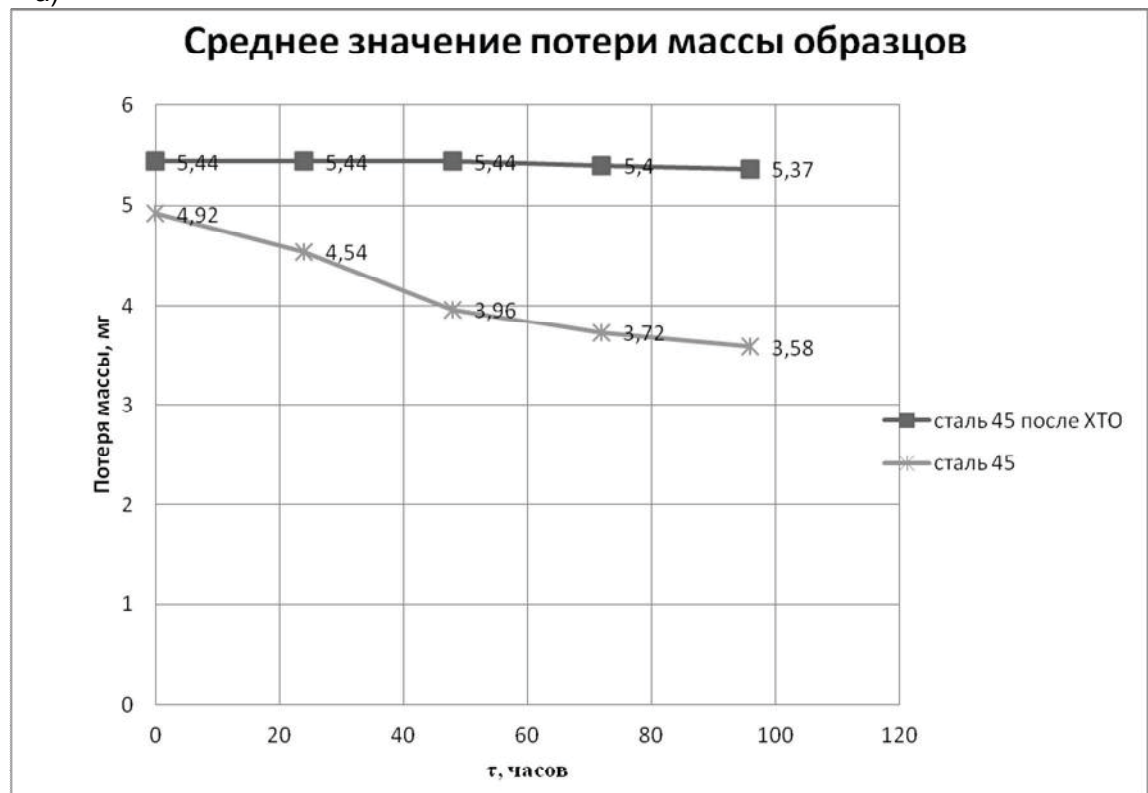


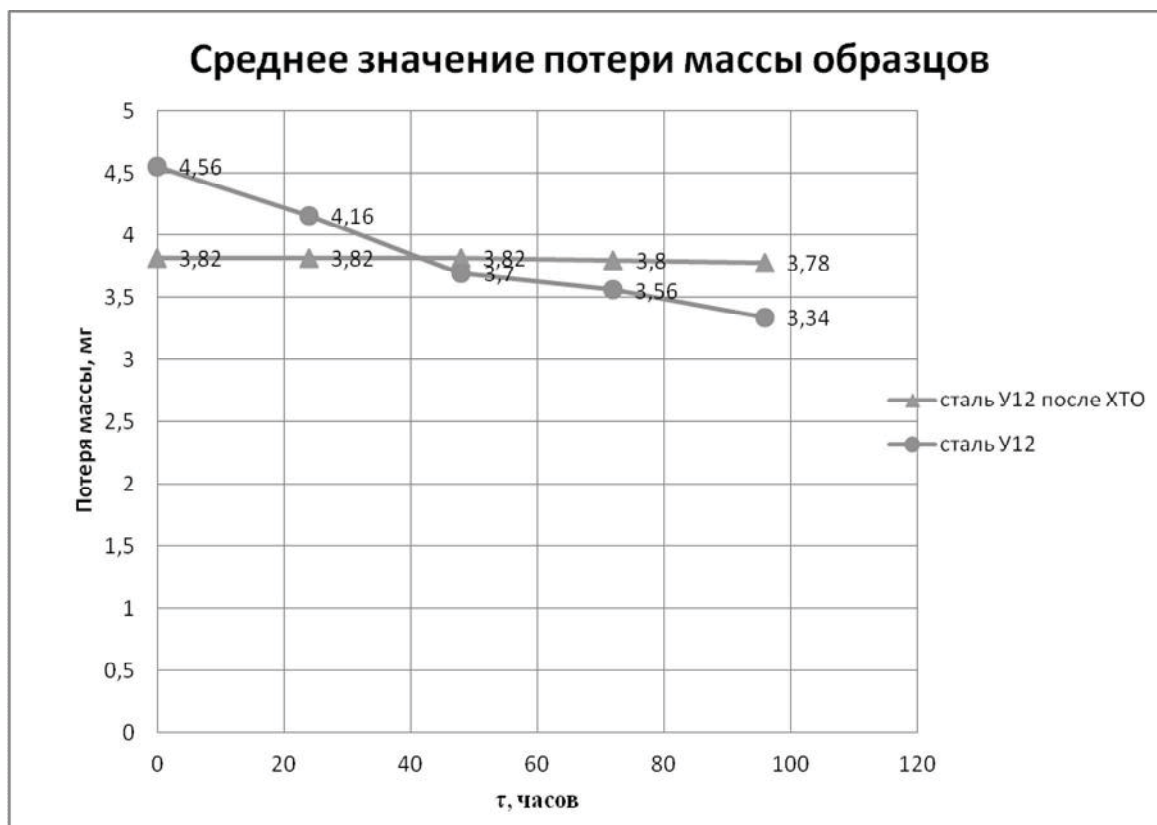
Рисунок 3 – Микроструктура диффузионного слоя на стали У12



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Среднее значение потери массы образцов: а) сталь 20 б) сталь 45, в) сталь У12,

ВЫВОД: Силицирование сталей позволяет повысить стойкость против коррозии в жидких средах. Это обусловлено образованием в диффузионном слое стабильного высококремнистого феррита. Силицирование наиболее перспективно: для деталей оборудования химической, нефтяной, бумажной и маслоочистительной промышленности, работающих в слабокислых средах (гнезда клапанов, вкладыши, валики и роторы насосов, водяные рубашки цилиндров, трубопроводы, арматура, крепежные детали); трубы судовых двигателей, подводные и отводящие морскую воду; детали гидронасосов (вал, ротор, патрубки и др.) мощных двигателей внутреннего сгорания.

Список литературы:

1. Лыгденев Б.Д., Грешилов А.Д., Гурьев А.М. Влияние специальных добавок на интенсификацию диффузионного титанирования. Ползуновский альманах №3/2006 –

стр.94.

2. Ляхович Л.С. и др. Силицирование металлов и сплавов. Минск: Наука и техника, 1972. 9 с.

3. Гурьев А.М., Лыгденев Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Земляков С.А. Новый способ диффузионного термоциклического упрочнения поверхностей железоуглеродистых сплавов. Ползуновский альманах №3/2008 – стр. 11.

4. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Лыгденев Б.Д., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Гармаева И.А. Влияние параметров борхромирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя. Ползуновский вестник №3/2007 – стр. 28.

5. Гурьев А.М., Лыгденев Б.Д., Власова О.А. Совершенствование технологии химико-термической обработки инструментальных сталей. Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. №1/2009. стр. 14.

АРМИРУЮЩИЕ И МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ЛИГАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ AL-TI-SiC

П. Е. Лущик, И. В. Рафальский

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Одним из важнейших направлений разработки новых сплавов, обладающих повышенными механическими и эксплуатационными свойствами, является синтез композиционных материалов, состоящих из металлической основы и наполнителей в виде тугоплавких частиц, волокон и др.

В качестве металлической основы часто используются алюминиевые сплавы, получившие широкое распространение в промышленности из-за относительно невысокой стоимости их получения. Повышение свойств литейных сплавов на основе алюминия путем введения в качестве наполнителей дисперсных частиц оксидов или карбидов, не смачиваемых матричным расплавом, как правило, является высокочувствительной операцией ввиду необходимости использования дорогостоящего оборудования и сложности технологического процесса.

В работе представлены результаты синтеза армирующих и модифицирующих алюмоматричных композиционных лигатур системы Al-Ti-SiC. Отличительной особенностью разработанного метода получения алюмоматричных композиционных лигатур является синтез упрочняющих фаз непосредственно в расплаве. Технология получения лигатур оптимизирована с точки зрения температурных параметров плавки матричного состава, легирующих добавок, повышающих смачиваемость частиц наполнителя, предварительной подготовки наполнителя, условий ввода и дальнейшей термической обработки композиции.

Исходными материалами для получения композиции являлись алюминий технической чистоты, порошок карбида кремния, различной фракции (от 5 до 200 мкм).

Повышение смачиваемости частиц SiC достигалось легированием алюминиевого расплава добавками Ti. После ввода титана, при значениях выше предела его растворимости в расплаве алюминия, возможно фор-

мирование интерметаллидных фаз AlTi и Al₃Ti. Наиболее вероятным является протекание реакции с образованием интерметаллидов Al₃Ti, однако при избытке титана в локальных областях сплава формирование фазы AlTi также не исключено. Таким образом, перед вводом порошка SiC в расплаве могут присутствовать следующие фазы: раствор титана в Al, Al₃Ti и AlTi. Расчеты значений изобарно-изотермического потенциала возможных реакций компонентов системы с карбидом кремния показали, что наиболее вероятными являются реакции с образованием упрочняющих фаз карбида титана TiC и силицида титана TiSi₂.

Микроструктура литейного композиционного материала на основе системы Al-Ti-SiC представлена на рисунке 1 при различном увеличении. Результаты рентгенофлуоресцентной спектроскопии показали, что частицы карбида кремния взаимодействуют в расплаве алюминия с титаном с образованием на поверхности частиц карбидов кремния тонких слоев, обогащенных титаном и углеродом, толщиной до 1-10 мкм. Образующаяся оторочка, обогащенная титаном и углеродом, позволяет расплаву алюминия смачивать частицы карбида кремния даже после последующих переплавов, не позволяя им отслаиваться от алюминиевой матрицы.

Рентгенофлуоресцентный анализ состава пограничного слоя указывает на большое скопление дисперсных кристаллических фаз с высоким содержанием Ti, C, Si и Al (рисунок 1, таблица 1).

Металлографический анализ сплавов системы Al-Si с добавками алюмоматричных композиционных лигатур показал, что введение в заэвтектические силумины алюмоматричных композиций на основе системы Al-Ti-SiC обеспечивает модифицирующий эффект, заключающийся в уменьшении размеров первичных кристаллов кремния.

АРМИРУЮЩИЕ И МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ЛИГАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ AL-TI-SiC

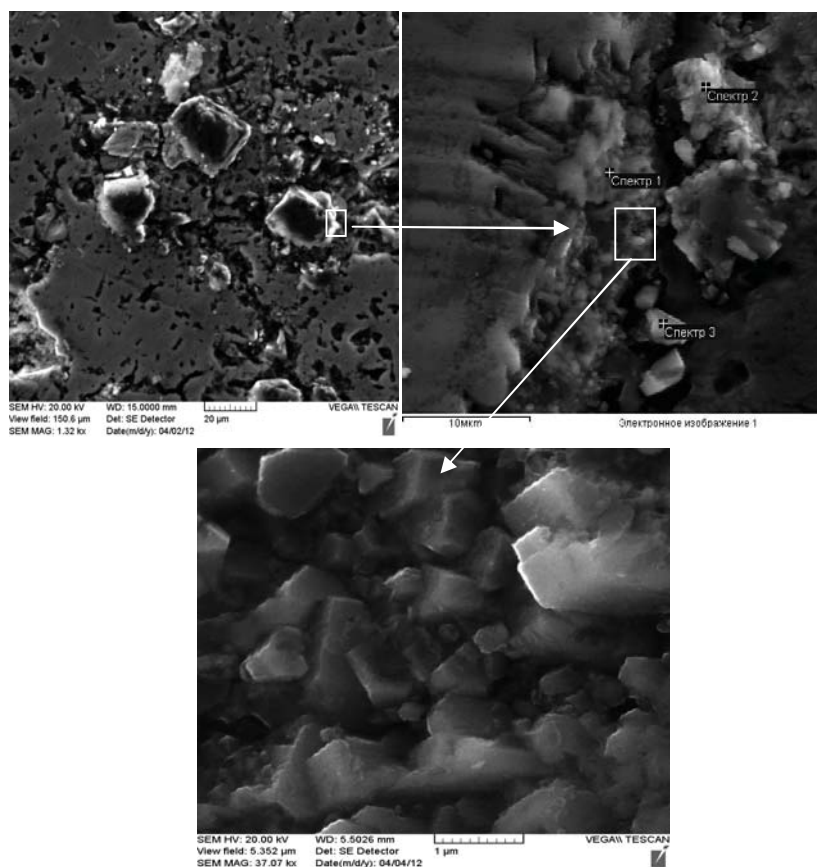


Рисунок 1 – Микроструктура литейного композиционного материала системы Al-1%Ti-10%SiC

Таблица 1 – Результаты рентгенофлуоресцентного анализа литейного композиционного материала системы Al-1%Ti-10%SiC (в точках, рисунок 1)

Спектр	C	O	Al	Si	Ti	Fe	Итог
Спектр 1	29.12	-	7.14	1.01	62.58	0.15	100.00
Спектр 2	30.75	6.07	39.45	4.06	18.93	0.40	100.00
Спектр 3	11.00	46.04	41.05	0.72	1.14	0.04	100.00

Процесс затвердевания литейного композиционного материала на основе системы Al-Ti-SiC сопровождается активацией межфазного взаимодействия частиц наполнителя и матричной основы, увеличением термических напряжений на поверхности частиц карбидов при неравновесном изменении объема компонентов композиции во время его затвердевания и охлаждения. В работе была выполнена оценка напряженного состояния компонентов алюмоматричных композиционных лигатур с использованием моделей равномерного распределения частиц наполнителя (SiC) сложной граненой формы в объеме алюминиевой матрицы (рисунок 2).

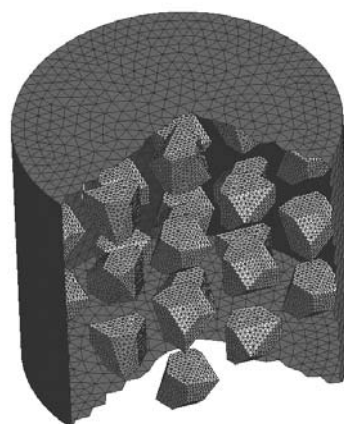


Рисунок 2 – Модель равномерного распределения частиц SiC сложной формы в единичном объеме матричного расплава литейного композиционного материала

Моделирование напряженного состояния компонентов структуры алюмоматричной композиции на основе системы Al-SiC показало, что при равномерном распределении неметаллических частиц сложной формы в объеме матричного расплава после начала затвердевания на них оказывается повышенное давление, обусловленное термическим

сжатием алюминиевой матрицы. При этом средние нормальные напряжения по поверхности частиц наполнителя распределяются достаточно неравномерно (рисунок 3). Абсолютные величины напряжений возрастают в направлении к вершинам ребер частиц и понижаются в центрах граней.

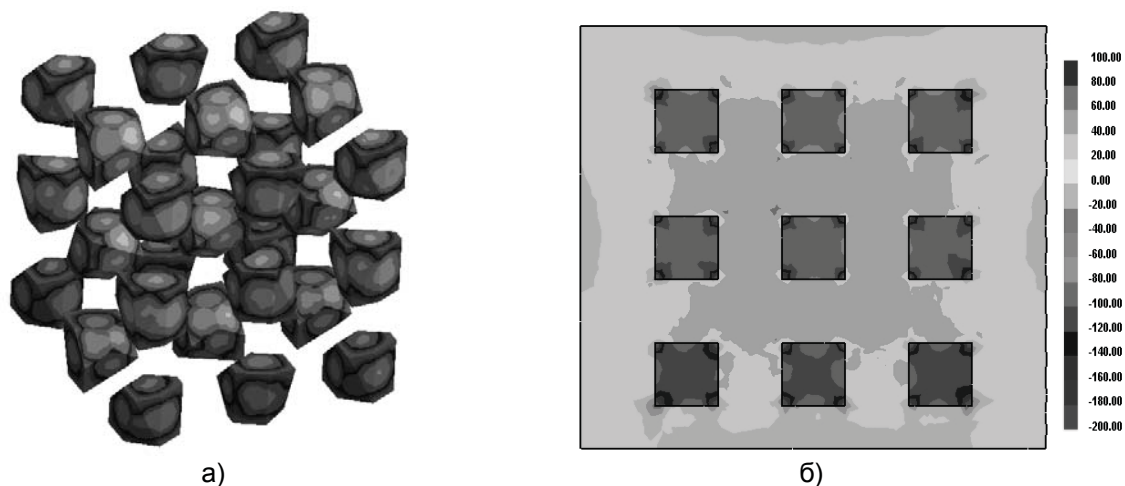


Рисунок 3 – Распределение средних нормальных напряжений на поверхности частиц (а) и по сечению модели системы «металлическая матрица-наполнитель» (б) на основе системы Al-Ti-SiC

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА АТАКИ ПЛУЖКА ПРИ РАБОТЕ СМЕСИТЕЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Ф. М. Поломошнов, А. А. Шнейдер, А. С. Григор, В. А. Марков

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

В результате многократных оборотов смеси происходит качественное и количественное изменение зерновой основы.

Качественное изменение выражается в трансформации состояния зерен исходного кварцевого песка (песка освежения), заключающееся в полиморфных превращениях с изменением кристаллической решетки и аморфизацией поверхностных слоев зерна.

Количественное изменение зернового состава особенно наглядно проявляется в изменении соотношения фракций смеси. В частности, наблюдается рост фракций более крупных, чем у исходного песка за счет формирования конгломератов и агрегированных зерен. [1].

Следовательно, система смесеприготовления и, особенно, смеситель должны снижать или не допускать увеличения количества крупных фракций в готовой ПГС.

Таким образом, можно сформулировать концепцию процесса селективного перемешивания компонентов ПГС, целью которой является создание в рабочем пространстве смесителя таких условий, при которых крупные фракции зерновой основы подвергаются более интенсивным силовым воздействиям, чем мелкие. В результате такого селективного (избирательного) воздействия, мелкие фракции будут сохранять свои размеры, а крупные фракции, состоящие в основном из конгломератов и агрегированных зерен будут измельчаться.

Данная концепция процесса селективного перемешивания может быть реализована в бескатковом центробежном смесителе. Однако, для максимально эффективной работы данного смесителя, необходимо определить оптимальный угол атаки плужков, для формирования в элементарных объемах слоя смеси предельно-напряженного состояния, деформаций сдвига, с переходом их в пластическое течение и последующим разрушением элементарных объемов смеси.

Исследования по определению опти-

мального угла атаки производились при помощи установки (рисунок 1).

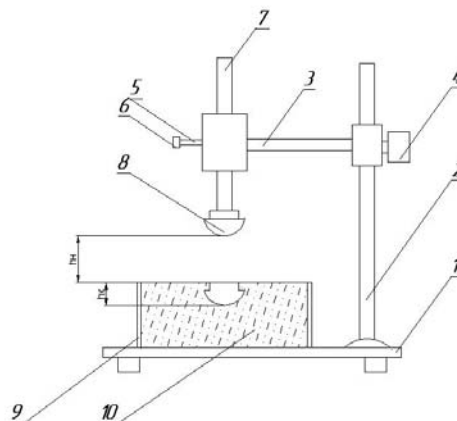


Рисунок 1 – Схема устройства для определения динамического сопротивления формовочного материала.

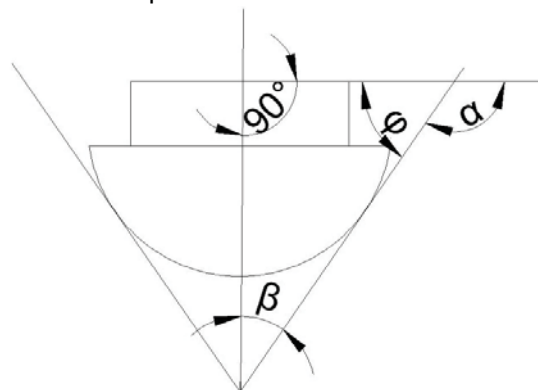


Рисунок 2 – Определение оптимального угла атаки.

Из рисунка 2 видно, что необходимый для исследования угол β находится из соотношения углов:

$\beta = 90 - (180 - \alpha) = 90 - \varphi$, где φ – угол внешнего трения; β – угол атаки лабораторного образца.

В технологическую емкость насыпается испытуемый материал. Если используется влажная формовочная смесь, то ее насыпают в емкость через сито. После этого емкость со смесью взвешивается, для определения насыпной плотности.

После того как приготовлен испытуемый материал, технологическая емкость устанавливается на основание (1) установки (рисунок 1). Затем перемещением кронштейна (3) со штангой (7) и образцом (8) устанавливается начальная высота образца h_n . Высота h_n с помощью линейки отмеряется от верхней поверхности технологической емкости до нижней части образца (8), закрепленного на штанге (7). После установки высоты h_n , кронштейн (3) фиксируется на стойке (2) с помо-

щью винта (4). Затем нажимается фиксатор (6) и штанга (7) с образцом (8) погружается в испытуемый материал на глубину h_n . С помощью металлической линейки измеряется глубина погружения образца в испытуемый материал.

Результаты исследований представлены на графике зависимости угла трения от скорости падения испытуемого образца. (рисунок 2)

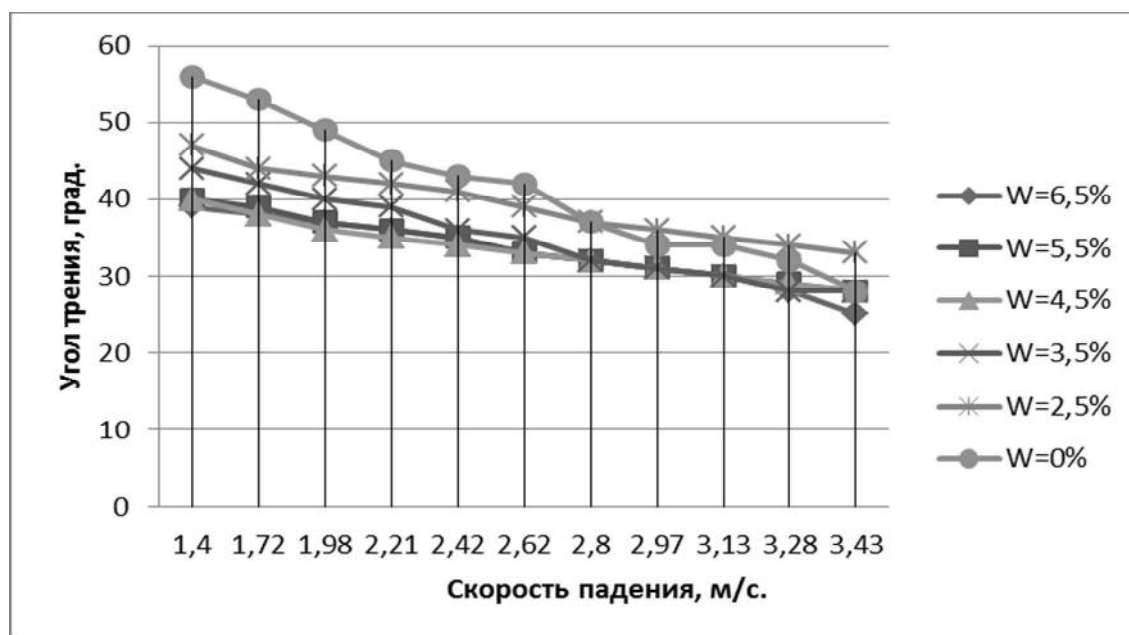


Рисунок 2 – Зависимость угла трения от скорости падения испытуемого образца.

Исследования режимных параметров смесителя селективного перемешивания позволили установить, что для каждой смеси с определенными свойствами, в частности с определенной влажностью, а так же для каждой скорости воздействия плужка на смесь существуют свои оптимальные решения по установке угла атаки плужка.

Список литературы:

1. Аксенов П.Н. Исследование свойств формовочных смесей в процессе многократных заливок форм металлом/ П.Н. Аксенов, Ф.С. Кваша, В.Н. Леснов, А.П. Трухов, Л.П. Туманова// Прогрессивные методы изготовления литейных форм. СБ. тр. ЧПИ. – Челябинск, 1973. – с.83.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФАЗ КОМПОНЕНТОВ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al-SiO₂

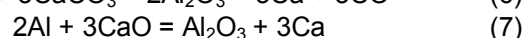
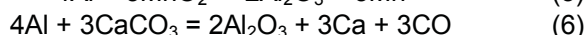
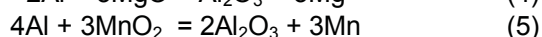
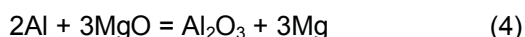
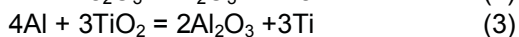
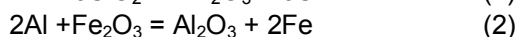
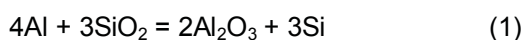
И. В. Рафальский, А. В. Арабей

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Введение в металлическую матрицу дисперсных частиц упрочняющей фазы (оксидов, карбидов, нитридов и др.) позволяет получать композиционные материалы с высокими физико-механическими свойствами. В этом направлении непрерывно ведется активный научный поиск, в том числе по получению литейных композиционных сплавов на основе алюминия с использованием метода реакционного литья (in-situ процесс), при котором формирование упрочняющих фаз реализуется в процессе химического взаимодействия компонентов системы.

С точки зрения термодинамики композиционные материалы являются сложными системами, в которых активно протекают процессы межфазного взаимодействия. Изучение этих процессов чрезвычайно важно для анализа закономерностей взаимодействия фаз компонентов и разработки технологических решений получения литых композиционных материалов.

Авторами работы выполнен термодинамический расчет и анализ реакций взаимодействия фаз компонентов литейных алюмоматричных сплавов системы Al-SiO₂, полученных на основе алюминия и его сплавов, а также кварцевого песка в качестве наполнителя. Расчет проводили с учетом возможного влияния легирующих добавок и примесей, содержащихся в алюминии и сплавах на его основе, а также в наполнителе. Анализ возможности протекания химических реакций в композициях на основе системы Al-SiO₂ проводили на основе анализа значений изобарно-изотермических потенциалов (энергии Гиббса):



Результаты термодинамических расчетов при возможном взаимодействии компонентов алюмоматричных композиционных сплавов на основе алюминия и кварцсодержащих материалов представлены на рисунках 1-4.

Значения энергии Гиббса реакции восстановления кремния из его оксида алюминием от температуры характеризуются относительно широким разбросом, в зависимости от принятых к расчету исходных данных (термодинамических величин веществ в кристаллическом и жидком состоянии).

Термодинамический анализ реакции, происходящей при взаимодействии алюминия и оксида кремния с учетом различных полиморфных состояний кремнезема, показал, что с повышением температуры значения энергии Гиббса рассматриваемой реакции увеличиваются (рисунок 1), следовательно, восстановительный процесс, описываемый этой реакцией, при более высоких температурах будет протекать менее интенсивно. Скачкообразные изменения термодинамических величин исследуемых веществ связаны с фазовыми и полиморфными превращениями компонентов реакции.

Значения энергии Гиббса реакции восстановления кремния из его оксида алюминием от температуры характеризуются относительно широким разбросом, в зависимости от принятых к расчету исходных данных (термодинамических величин веществ в кристаллическом и жидком состоянии).

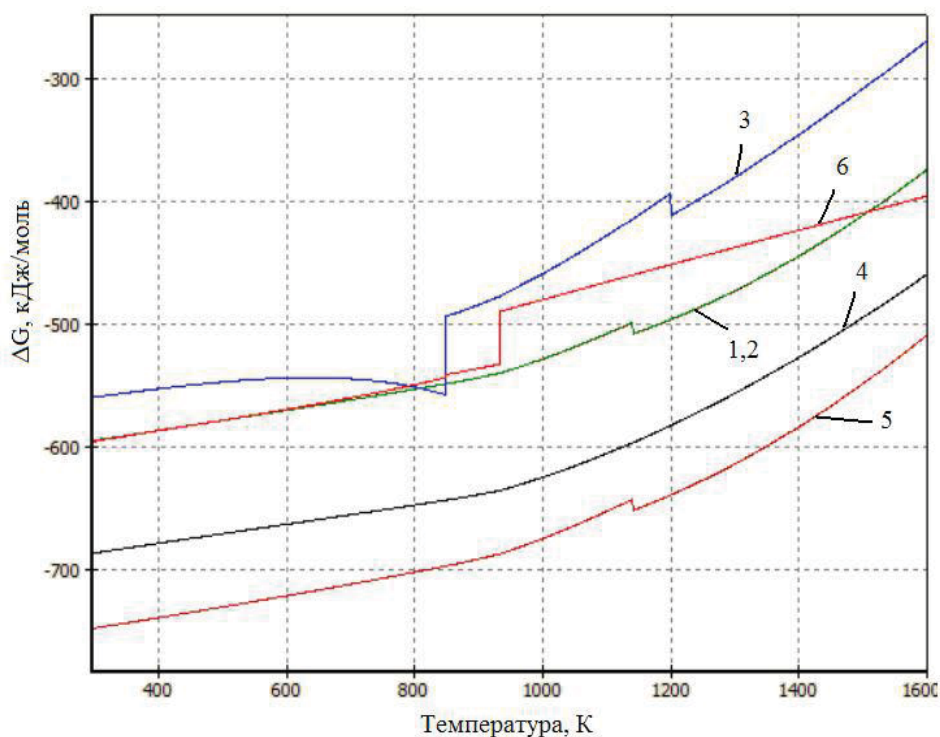


Рисунок 1 – Зависимости энергии Гиббса реакции взаимодействия оксида кремния с алюминием от температуры (в интервале 293–1600 K) с учетом полиморфных превращений кремнезема, рассчитанные по данным работ: 1 – [1], 2 – [2], 3 – [3, 4], 4 – [5], 5 – [6], 6 – [7]

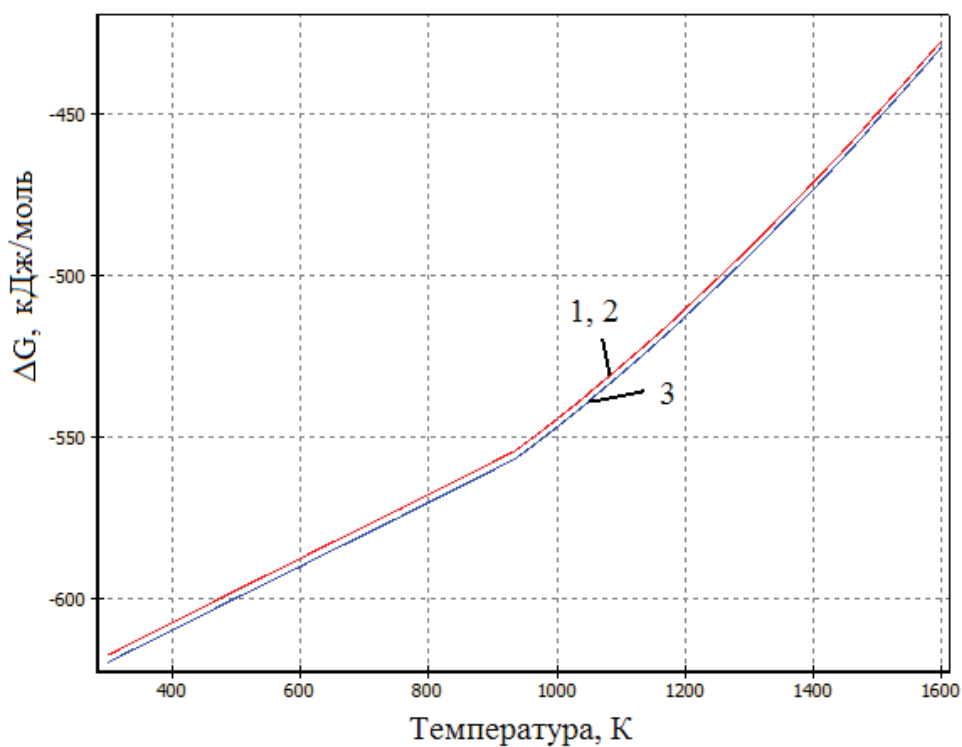


Рисунок 2 – Зависимости энергии Гиббса реакции взаимодействия кварцевого стекла с алюминием от температуры (в интервале 293–1600 K), рассчитанные по данным работ: 1 – [1], 2 – [2], 3 – [3, 4]

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФАЗ КОМПОНЕНТОВ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AL-SiO₂

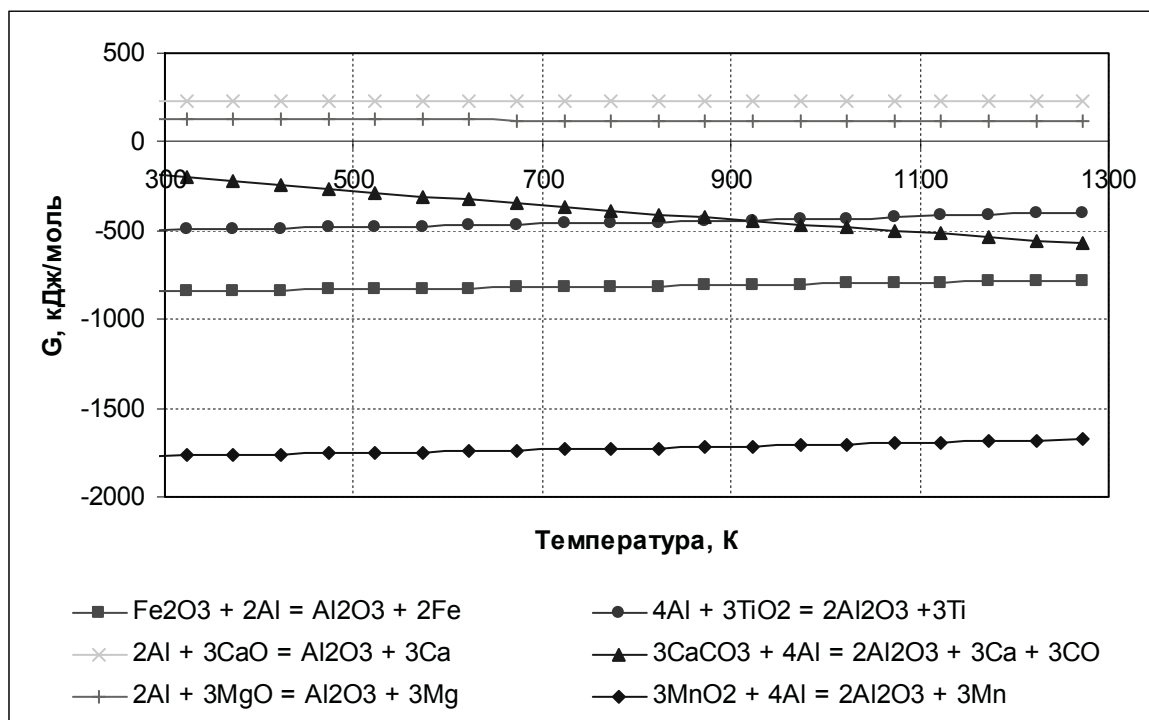


Рисунок 3 – Графики зависимости изобарно-изотермического потенциала реакций алюминия с основными примесями, содержащимися в кварцевом песке

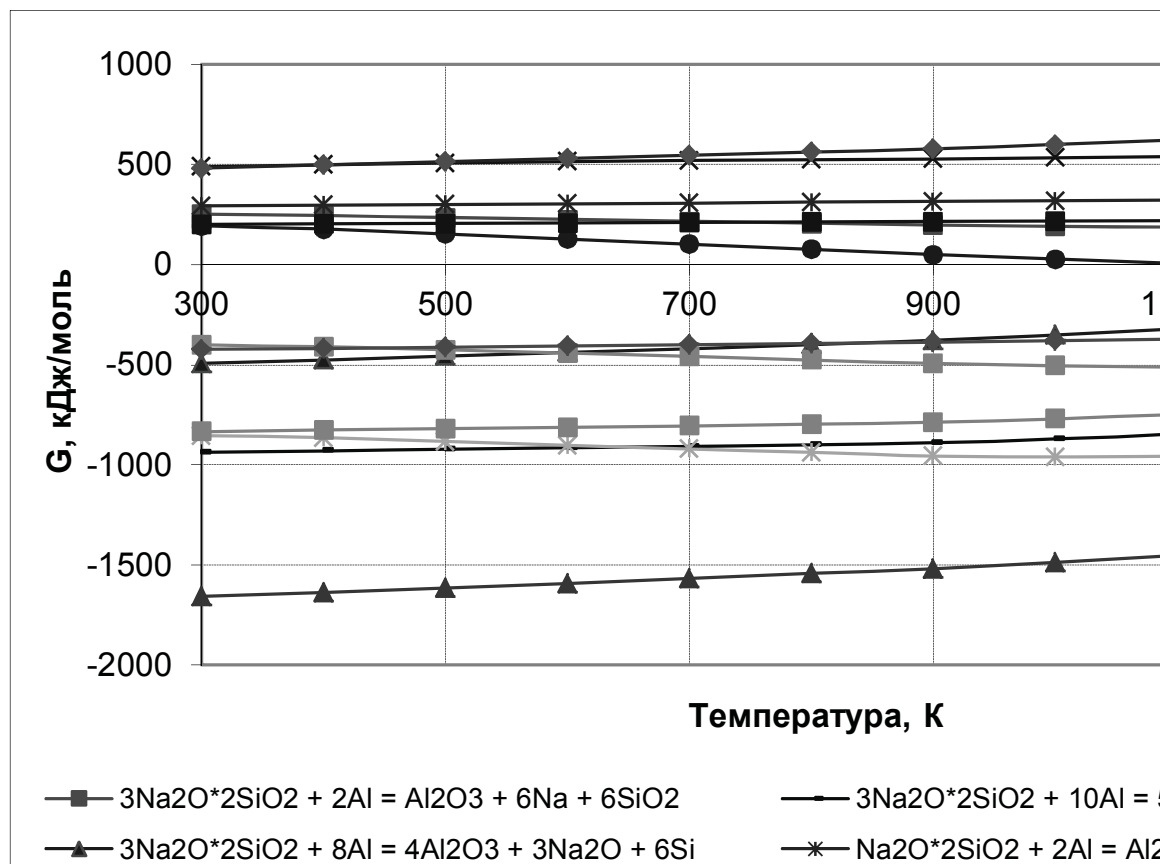


Рисунок 4 – Графики зависимости изобарно-изотермического потенциала реакций алюминия с компонентами глинистой составляющей кварцевых песков

Значения энергии Гиббса реакции восстановления кремния из его оксида алюминием от температуры характеризуются относительно широким разбросом, в зависимости от принятых к расчету исходных данных (термодинамических величин веществ в кристаллическом и жидком состоянии).

Термодинамический анализ реакции, происходящей при взаимодействии алюминия и оксида кремния с учетом различных полиморфных состояний кремнезема, показал, что с повышением температуры значения энергии Гиббса рассматриваемой реакции увеличиваются (рисунок 1), следовательно, восстановительный процесс, описываемый этой реакцией, при более высоких температурах будет протекать менее интенсивно. Скачкообразные изменения термодинамических величин исследуемых веществ связаны с фазовыми и полиморфными превращениями компонентов реакции.

Зависимость энергии Гиббса от температуры реакции взаимодействия кварцевого стекла с алюминием характеризуется более низкими значениями (рисунок 2), чем реакции взаимодействия кварцевого песка с алюминием (рисунок 1).

Таким образом, термодинамический анализ реакции в системе Al-SiO_2 подтверждает возможность восстановления кремния из его оксида алюминием при температурах выше температуры плавления алюминия и сплавов на его основе.

Анализ результатов термодинамических расчетов реакций алюминия с примесями, содержащимися в кварцевом песке, показывает, что теоретически в изученном интервале температур (до 1300 K) возможно восстановление алюминием железа, марганца, титана из их оксидов, а также кальция из карбоната (рисунок 3). Следует отметить, что увеличение содержания железа в расплаве алюминия является нежелательным, так как в процессе кристаллизации литейных сплавов системы Al-Si-Fe происходит образование иглообразных включений $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ фазы, снижающей механические свойства сплава.

Таким образом, при использовании в качестве наполнителей кварцсодержащих материалов следует содержание оксида железа в них ограничивать на минимально возможном уровне.

Компоненты глинистой составляющей, в том числе силикаты щелочных металлов, содержащиеся в кварцсодержащих наполнителях, могут вступать в химическую реакцию с алюминием (рисунок 4). При взаимодействии алюминия с силикатами щелочных металлов термодинамически возможно образование в расплаве алюминия Si , Na (K), Na_2O , Al_2O_3 . Образование оксида натрия является термодинамически менее вероятным, чем образование Na . В связи с тем, что Na (K) являются модификаторами эвтектического кремния, наличие их в расплаве может оказывать дополнительный модифицирующий эффект.

Список литературы:

1. Термодинамические свойства веществ. Справочник. Рябин В.А., Остроумов М.А., Свит Т.В. Л.: Химия, 1977. 392 с.
2. Физико-химические свойства окислов. Справочник. Самсонов Г.В., Борисова А.Л. и др. М.: Металлургия, 1978. 472 с.
3. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание под редакцией В.П.Глушко, Л.В.Гурвич и др. Издание 3-е. М., Наука, т. 2, 1979. 440 с.
4. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание под редакцией В.П.Глушко, Л.В.Гурвич и др. Издание 3-е. М., Наука, т. 3, 1981. 472 с.
5. Термодинамические свойства неорганических веществ. Справочник под редакцией А.П. Зефирова. У.Д. Верятин, В.П. Маширев, Н.Г. Рябцев, В.И. Тарасов, Б.Д. Рогозкин, И.В. Коробов, Издание седьмое, М.: Амотиздат, 1965. 461 с.
6. Краткий справочник физико-химических величин, под ред. Мищенко К.П., Равделя А.А., Л.: Химия, 1974. 200 с.
7. NASA

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКОБАЛЬТА ПРИ ОБКАТКЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

А. Г. Овчаренко, А. Ф. Мельников

Бийский технологический институт,
г.Бийск, Россия

Срок службы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) формируется из суммы доремонтного и нескольких межремонтных ресурсов. Доремонтный ресурс представляет собой время наработки ДВС до предельного состояния. Межремонтный ресурс – это время наработки ДВС между смежными капитальными ремонтами (КР).

Назначение капитального ремонта – восстановление исправного состояния ДВС и его полного ресурса, либо близкого к нему. Однако, как показывает практика, межремонтный ресурс после капитального ремонта носит вероятностный характер и составляет, по разным оценкам, от 20 до 60 % ресурса нового двигателя. Объяснить это можно рядом причин: низким качеством применяемых запасных частей, невысоким уровнем культуры проведения ремонта, не соблюдением требований на обработку поверхностей и отсутствием стендовой обкатки.

Стендовая обкатка является обязательной заключительной технологической операцией КР. Основная цель обкатки — подготовка поверхностей трения к восприятию эксплуатационных нагрузок, обнаружение течи жидкостей, устранение дефектов, регулировки сопряжений.

На ремонтных заводах после КР двигатель проходит процесс обкатки в течение от 30 до 60 часов, при этом контролируют дефекты сборки, проводят регулировочные работы. За короткий период технологической обкатки не достигается необходимая степень приработки рабочих поверхностей, для полной приработки ДВС требуется от 400 до 600 часов, поэтому такой двигатель не готов воспринимать всю эксплуатационную нагрузку. Как следствие возникают проблемы с преждевременным износом деталей двигателя, вынужденные простои техники и др.

Сокращение времени обкатки либо размещение её при эксплуатации ДВС на заявленных режимах, ускоренная приработка рабочих поверхностей является актуальной за-

дачей и имеет практический интерес. Одним из способов решения этой задачи является легирование масел различными присадками, позволяющими снизить время обкатки, либо совместить её с эксплуатацией ДВС.

Сегодня для ДВС широко применяют приработочные присадки, представляющие собой жидкие системы. И очень мало изучены приработочные присадки, содержащие частицы твердых и сверхтвердых материалов.

Наиболее известной и отработанной на практике является алмазосодержащая присадка "Деста" (ТУ 07508902-188-2003), выпускаемая ОАО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай». Считается, что наличие большого количества сверхмалых частиц графита и наноалмаза изменяет свойства смазочной пленки и характер взаимодействия поверхностей трения, способствует ускоренной приработке трущихся поверхностей [1]. В работе говорится о том, что введение в масло ультрадисперсных частиц позволяет значительно сократить продолжительность приработки рабочих поверхностей гильз, поршневых колец, вкладышей подшипников и шеек коленчатых валов, а также увеличить их долговечность за счет уменьшения начального износа.

В литературе найдено упоминание о возможности применения частиц нанокобальта, обладающего достаточно высокой твердостью, для легирования товарных масел [2]. Для проверки высказанного утверждения были приготовлены композиции на основе масла М-8В (ГОСТ 10541-78) при различном содержании нанокобальта. Базовое масло М-8В было выбрано из соображения наименьшего содержания различных присадок в масле, способных влиять на условия трения, также масло М-8В является основой для получения обкаточных масел.

Испытания присадок проводили на стандартной машине трения МИ-1М по схеме трения «вал – колодка». При этом во всех

экспериментах давление задавалось равным 9 МПа, что соответствовало нормальной силе 900 Н, а линейная окружная скорость вала (скорость скольжения) задавалась $v = 1,5$ м/с. Материалы пары трения: вал – чугун СЧ-24, колодка – чугун СЧ-24. Исходная шероховатость образцов $Ra=1,0-0,7$ мкм.

Проведены экспериментальные исследования с целью определения оптимального содержания нанокобальта в масле М-8В. Наилучшие результаты получены на масле

М-8В, содержащем 1 % нанокобальта, что соответствовало уменьшению коэффициента трения в конце испытаний на 38 % по сравнению с маслом без присадки (рисунок 1).

Температура поверхностей трения является одним из важных факторов, влияющих на условия трения. Проведены экспериментальные исследования изменения температуры в паре трения от времени испытаний для композиций, содержащих различное количество нанокобальта (рисунок 2).

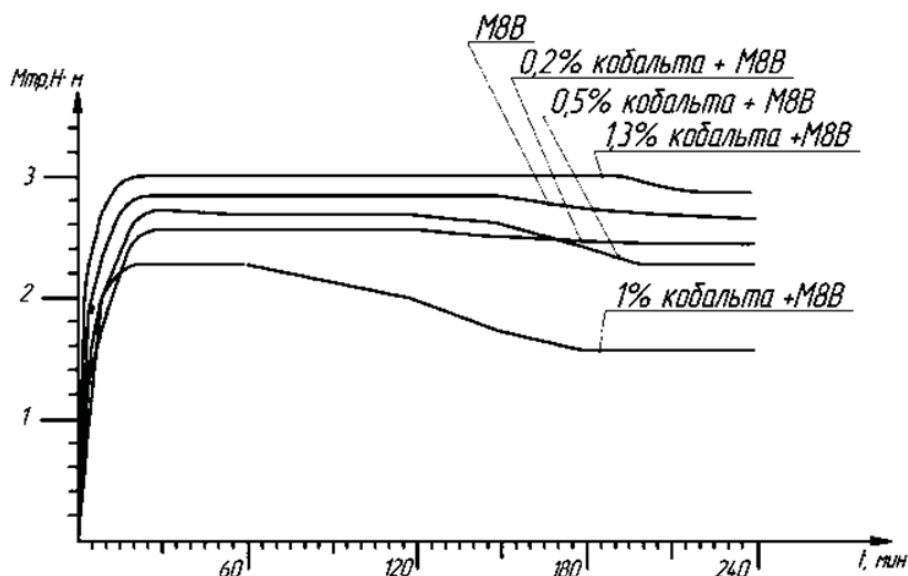


Рисунок 1 – Изменение момента трения ($M_{тр}$) в зоне контакта от времени испытаний (t) при различном содержании нанокобальта в масле М8В: нагрузка $N = 900$ Н, скорость скольжения $v = 1,5$ м/с

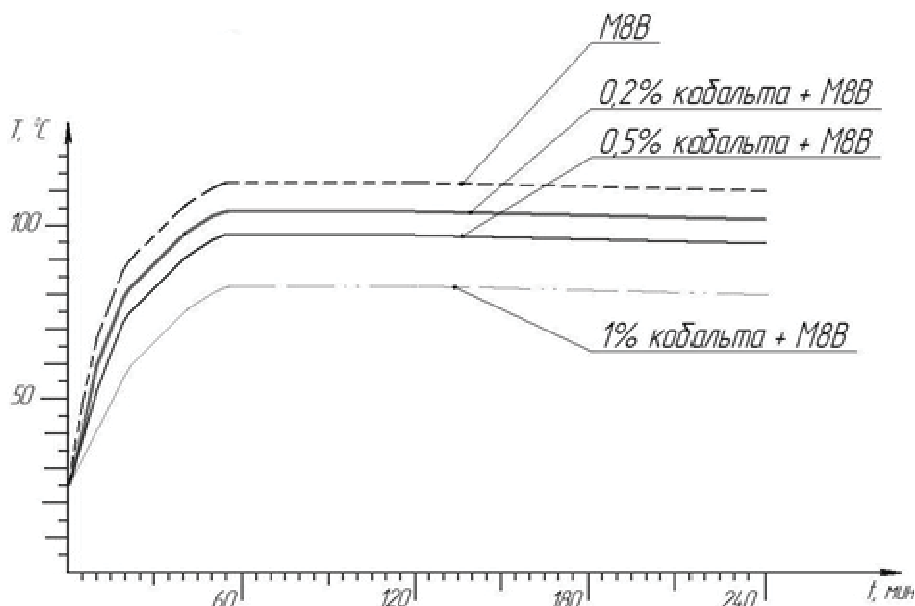


Рисунок 2 – Изменение температуры (T) в зоне контакта от времени испытаний (t) при различном содержании нанокобальта в масле М8В: нагрузка $N = 900$ Н, скорость скольжения $v = 1,5$ м/с

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКОБАЛЬТА ПРИ ОБКАТКЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

При этом необходимо отметить, что через 240 минут испытаний наименьшая температура в паре трения получена для композиции, содержащей 1 % нанокобальта, температура не превышала 80 °С, что на 25°С ниже, чем на чистом масле М-8В.

Таким образом, можно предположить, что высокодисперсные частицы в смазочной композиции выполняют следующие функции:

- заполняют микровпадины, адсорбируясь на поверхностях трения за счет свободных связей молекул пристенного слоя, и увеличивают площадь фактического контакта, а следовательно, снижают удельное давление в сопряжении;

- прочно адсорбируясь на микровыступках, повышают адгезионную способность смазки, что приводит к резкому сокращению случаев разрыва и полного исчезновения смазочной плёнки, и уменьшению точек контакта микрошероховатостей поверхностей трения в граничных условиях. Это способствует уменьшению числа случаев схватывания и задиров в процессе приработки;

- повышают несущую способность масляной пленки и благодаря образованию полимолекулярных слоев смазки создают воз-

можность относительного перемещения поверхностей трения за счет сдвига и скольжения пристенных слоев смазки, обладающих свойствами квазитвердого тела и низким коэффициентом трения;

- обеспечивают пластифицирование тончайших поверхностных слоёв, тонкое диспергирование и выглаживание выступающих микронеровностей.

Для получения более объективной информации о возможностях антифрикционной присадки на основе нанокобальта для использования при приработке деталей ДВС планируется провести натурные испытания.

Список литературы:

1. Сакович, Г.В. Синтез, свойства, применение и производство наноразмерных синтетических алмазов / Г.В. Сакович, В.Ф. Комаров, Е.А. Петров // Сверхтвёрдые материалы. - 2002. - № 4. - С.8-23.

2. Патент РФ №2028370, МКИ4 С 10 М 125/04//С10 N 30:06. Брыляков П.М., Приходько Е.Е., Степанова Н.В. Смазочный состав. Оpubл. 9.02.95.

ВЛИЯНИЕ ПРОДУВКИ РАСПЛАВА АРГОНОМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 20ГФЛ

Г. А. Околович, А. В. Габец, Е. О. Чертовских

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

В обычных «открытых» сталеплавильных процессах не удается уменьшить содержание водорода в готовой стали ниже $3-4 \text{ см}^3/100\text{г}$, так как при кипении металла (выделение из ванны окиси углерода при окислении углерода) одновременно с удалением водорода и азота происходит поглощение их металлом из газовой фазы. При превращении α -железа в γ -железо, а также при повышении температуры растворимость Н и N скачкообразно увеличивается (рис. 1). Особое значение имеет резкое понижение растворимости Н и N в стали при затвердевании и дальнейшем понижении температуры. Например, растворимость водорода в жидком железе равна примерно $28 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, а в твердом железе при комнатной температуре находится близко к нулю.

Выделение водорода при охлаждении стали способствует образованию флокенов и межкристаллитных трещин. Флокены имеют вид сглаженных поверхностей матового цвета на сером фоне излома термообработанной отливки. Межкристаллитными трещинами являются сглаженные поверхности с зеркальным блеском на сером фоне излома термообработанной отливки.

По результатам электронной микроскопии на серийной стали 20ГЛ флокены и межкристаллитные трещины не выявлены. Также не выявлено ситовидных раковин характеризующихся дефектом в виде удлиненных тонких раковин, ориентированных нормально к поверхности отливки, вызванных повышенным содержанием водорода в кристаллизующемся слое стали.

Для определения содержания газов (Н, О, N) в стали 20ГЛ были отобраны пробы из аварийной детали «Рама боковая». По результатам исследований, согласно, ГОСТ17745 содержание $[\text{O}] = 0,009-0,011\%$, $[\text{N}] = 0,008-0,009\%$, $[\text{H}] = 0,0005\%$. Механические свойства стали данной детали соответствуют техническим требованиям.

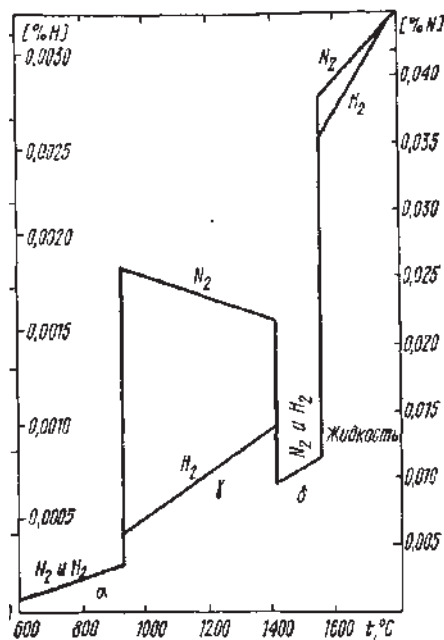


Рисунок 1 – Влияние температуры на растворимость Н и N в железе

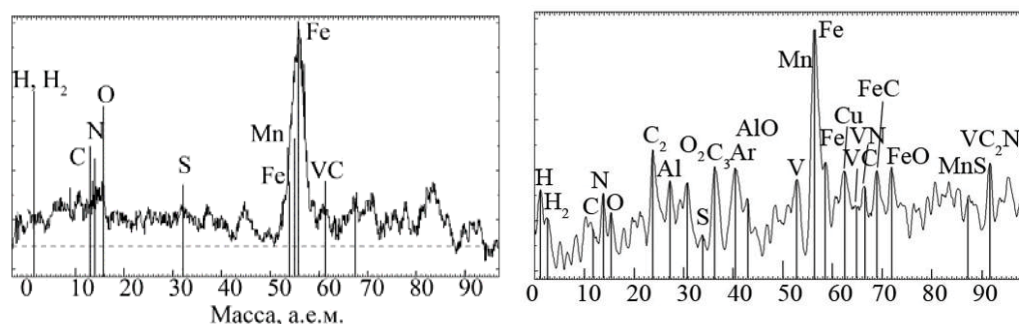
Для выявления состояния N исследовали сталь 20ГЛ (микролегированную ванадием, не более $0,03\%$) на масс спектроскопии (рис.2), в результате выявили, что имеющийся азот связан с ванадием в химические соединения типа VN, VC_2N_2 . Известно, что при содержании в стали Н более $2 \text{ см}^3/100\text{г}$ ($0,0002\%$) и N более $2 \text{ см}^3/100\text{г}$ ($0,002\%$) в стали проявляется хрупкость в виде понижения относительных сужения и удлинения, а иногда и ударной вязкости. Si и С понижают растворимость Н и N в жидком железе.

Особенно сильное воздействие на понижения содержания водорода оказывает кислород. Эффективным способом удаления неметаллических включений и газов (О, N, H) является продувка металла инертным газом, что приводит к одновременному протеканию многих процессов[2]:

ВЛИЯНИЕ ПРОДУВКИ РАСПЛАВА АРГОНОМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 20ГФЛ

- 1) выравнивание, корректировка и установление требуемых значений температуры металла;
- 2) выравнивание, корректировка и регулировка химического состава;
- 3) повышение чистоты стали по оксидным включениям;
- 4) снижение содержания серы и сульфидных включений при наличии покровного шлака необходимого состава;
- 5) ускорение расплавления и равномерного распределения по объему ковша вводимых

- раскислителей и легирующих добавок;
- 6) ускорение нагрева и расплавления в покровном шлаке вводимых в ковш твердых шлакообразующих смесей;
- 7) улучшение условий протекания реакции окисления углерода при обработке не раскисленного металла;
- 8) снижение температуры разливки металла; Недостаток продувки аргоном в увеличение разрушения огнеупорной футеровки ковша.



а).

б).

Рисунок 2 – а) - спектр масс вторичных ионов от области феррита в стали, б) - спектр масс вторичных ионов от области перлита в стали

В связи с этим для исследования использовали внепечную обработку аргоном, как наиболее целесообразную. Для продувки стали применяли аргон газообразный первого сорта ГОСТ 10157-79. Подачу газа в металл производили непосредственно через щелевую фурму, встроенную в футеровку днища 8 тонного стопорного ковша. Температура выпуска стали из печи ДСП-6 составляла 1610-

1640°C. После слива металла в ковш, подували аргоном, в течении 3-6 мин при давлении 1-3,5 кг/см³. Во время заливки форм установлено повышение жидкотекучести металла, снижение температуры заливки форм. Химический анализ и механические свойства всех плавов соответствовали типовой марки стали

Таблица №1 – Химический состав сталей.

Марка стали	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
				не более				
20ГЛ	0,17-0,25	1,10-1,40	0,3-0,5	0,03	0,04	0,3	0,3	0,6
20ГФЛ	0,17-0,25	0,9-1,40	0,3-0,5	0,03	0,04	0,3	0,3	0,6

С каждой плавки производили заливку клиновидной пробы по ГОСТ 977-88 для проведения механических испытаний, из которой изготавливали V- и U- образные образцы для испытания на ударную вязкость по ГОСТ 9454-78 и образцы на растяжение по ГОСТ 1497-81, по которым в дальнейшем определяли предел текучести, предел временного

сопротивления, относительное удлинение и сужение.

Цель эксперимента выявить влияние продувки аргоном стали на изменение связей между химическими элементами и механическими свойствами. Для анализа использовали результаты 60 плавов в дуговой печи, из которых 30 плавов подвергали внепечной об-

работке аргоном.

После продувки аргоном содержание S в стали приводит к снижению ударной вязкости. Одновременно с этим типовая сталь имеет лучшие показатели ударной вязкости при более высоком содержании серы. Известно, что при низком содержании серы сталь приобретает повышенную склонность к водородному охрупчиванию. После продувки аргоном сера стала оказывать отрицательное влияние на ударную вязкость с V- и U-образным надрезом. Отрицательное влияние ванадия на ударную вязкость KCV₋₆₀ несколько снижается при продувке аргоном, в то же время на KCU₋₆₀ ванадий стал оказывать, положительный эффект. Положительное влияние серы на типовых сталях может быть связано с рафинированием стали силикокальцием. Он повышает величину ударной вязкости при всех значениях концентрации S, как в области хрупкого, так и вязкого разрушения за счет увеличения работы зарождения трещины. При этом абсолютный прирост значений ударной вязкости практически не зависит от концентрации серы в стали[3].

Благоприятное влияние ванадия на ударную вязкость на образцах с U-образным надрезом связано с образованием дисперсных включений карбида VC над сложной группой VC₂N₂ и VN, образующихся в типовой стали в первую очередь из-за присутствия большего количества свободной энергии в компоненте N.

Возможно, при снижении содержания O в стали, снижается количество неметаллических включений типа Al₂O₃, присутствующих в стали в виде оксидных пленок, приводящих к снижению прочности стали. После продувке аргоном снизилось влияние фосфора на ударную вязкость при отрицательных температурах.

Ванадий на показатель сужения (рис.3) оказывает негативное влияние, снижая его величину. Взамен происходит повышение предела текучести, который благоприятно влияет на выносливость стали.

В соответствии с графиком механических свойств после продувки аргоном показатель предела временного сопротивления при меньшем содержании углерода в стали обеспечивает прочностные свойства, не уступающие типовой стали. Это свидетельствует о наличии фазового равновесия.

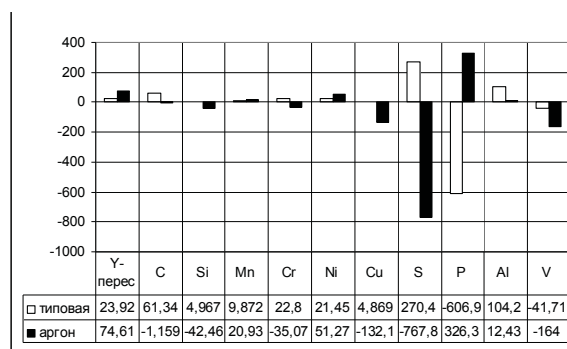


Рисунок 3 – Гистограмма коэффициентов регрессии функции относительного сужения, ψ

На основании полученной регрессии предела текучести в стали после продувки аргоном выявлена зависимость между содержанием углерода и ванадия. Установлено, что вследствие перемешивания сплава и снижения содержания неметаллических включений, очистки от газов (H, N, O), наблюдается повышение жидкотекучести стали, обеспечивается однородная структура, при этом центрами кристаллизации являются карбиды VC.

Выводы:

После внепечной обработки расплава аргоном в 8 тонном ковше выявлены следующие различия в сравнении с типовой плавкой стали 20ГФЛ:

- 1) положительное влияние P в количестве 0,01-0,03% на все механические свойства;
- 2) усиление отрицательного влияния S в количестве 0,01-0,02%;
- 3) стабилизация показателя KCV₋₆₀ являющегося характеристикой работы зарождения трещин. Это подтверждается повышением чистоты стали по неметаллическим включениям на границах зерен;
- 4) продувка аргоном обеспечивает частичное выведение Al₂O₃ в шлак;
- 5) продувка аргоном обеспечивает выведение в шлак AlN и снижает дисперсность хрупких неметаллических включений в зерне и по его границам.

Список литературы:

1. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. – Киев - Донецк, 1979г.-280с.
2. Кудрин В. А. Внепечная обработка чугуна и стали. –М.: Металлургия. 1992.-336с.
3. Филиппенков А. А. Ванадийсодержащие стали для отливок. Екатеринбург: УрО РАН, 2001.

СТРОЕНИЕ И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СПЕЦКАРБИДОВ ХРОМА В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

С. В. Ковалев, М. Н. Сейдуров

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Известно, что сформировавшиеся под действием термомеханических циклов обработки наноструктуры оказывают наиболее благоприятное влияние на служебные свойства сварных конструкций, работающих в особо сложных условиях. Использование современных физических методов исследования материалов позволило обнаружить в сталях наноразмерные частицы карбидной фазы. Отмечено, что образование при сварке и термомеханической обработке стойких карбидов в виде мелкодисперсных частиц внутри зерен феррита существенно влияет на структуру и свойства стали.

Во время деформации происходит подавление обычного процесса рекристаллизации, образуется мелкозернистый феррит, характеризующийся повышенной прочностью и вязкостью. Поэтому влияние мелкодисперсных карбидов на изменение фазового состава стали имеет первостепенное значение для эксплуатационных свойств сварных конструкций. Для определения механизма формирования благоприятных хладостойких структур низколегированных сталей в околошовной зоне (ОШЗ) были выполнены эксперимен-

тальные исследования кинетики формирования наноразмерных частиц спецкарбидов.

Цель работы – исследование кинетики и механизма формирования наноразмерных спецкарбидов. Исследовался горячекатаный прокат толщиной 8 мм с исходной феррито-перлитной структурой из стали 25Х2Н химического состава (%): 0,23 С; 1,55 Cr; 1,14 Ni; 0,32 Si; 0,24 Mn; 0,005 S; 0,015 P. Комплексные исследования проводили на образцах-имитаторах, подверженных воздействию поперечных сварочных напряжений и упруго-пластических деформаций. Тонкую структуру и фазовый состав изучали с помощью растворовой (EVO50) и просвечивающей электронной микроскопии (Technai G2 FEI), микрохимического (EDS X-Act (Oxford Instruments)) и рентгеноструктурного анализа (ARL X'TRA).

Как показали рентгеноструктурный анализ и металлографические исследования по своему строению промежуточные структуры зернистой морфологии представляют смесь из дозвтектоидной (мезоферритной) и бейнитной α -фазы, остаточного аустенита и двух типов карбида – карбида хрома $(Fe, Cr)_{23}C_6$ и карбида железа $(Fe, Cr, Mn)_3C$ (рисунок 1).

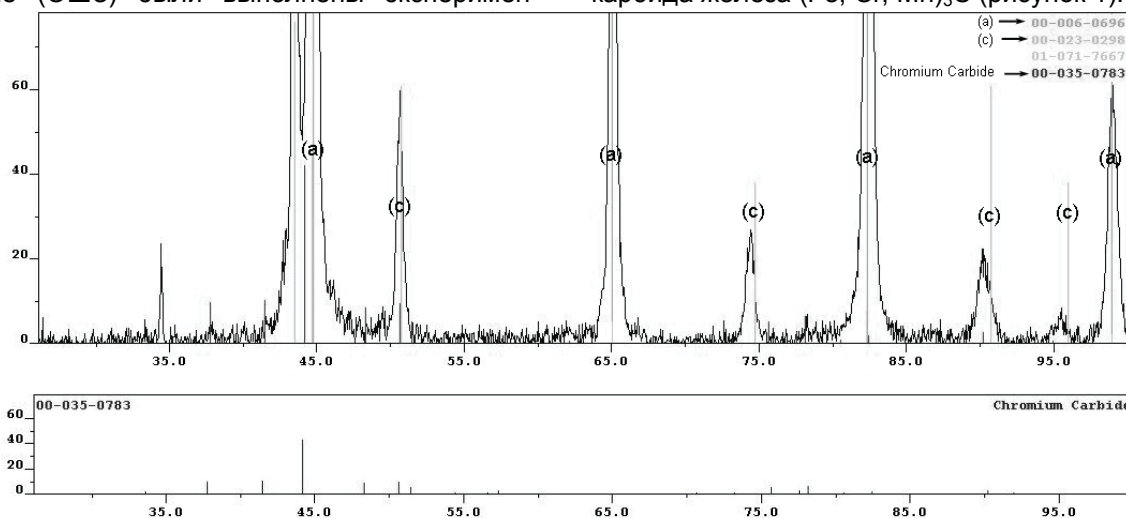


Рисунок 1 – Рентгеновская дифракционная картина. Участок полной перекристаллизации ОШЗ стали 25Х2Н, $\omega_{6/5}$ от 5,2 до 2,9 °C/c

Спецкарбид хрома имеет глобулярную форму (рисунок 2) и составляет вместе с α -фазой основу бейнита зернистой морфологии [1]. По мере повышения температуры аустенизации происходит изменение структурно-фазового состава ОШЗ. Структура приобретает игольчатое строение, в ней присутствуют только две морфологические составляющие α -фазы – нижний бейнит и мартенсит, пропорции которых изменяются в зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения. При переходе от бейнита зернистой морфологии к игольчатой уменьшается объемная доля карбида типа Me_{23}C_6 , но увеличи-

вается – типа Me_3C .

Установлено, что при формировании игольчатой бейнито-мартенситной структуры образованию холодных трещин будет способствовать не только повышенные напряжения, но и особенности строения карбидной фазы. Она имеет вытянутую пластинчатую форму располагается по границам реек бейнитной α -фазы, резко снижая способность металла ОШЗ релаксировать внутренние напряжения за счет локальной пластической деформации. В последствии микротрещины подрастают и развиваются в холодные трещины.

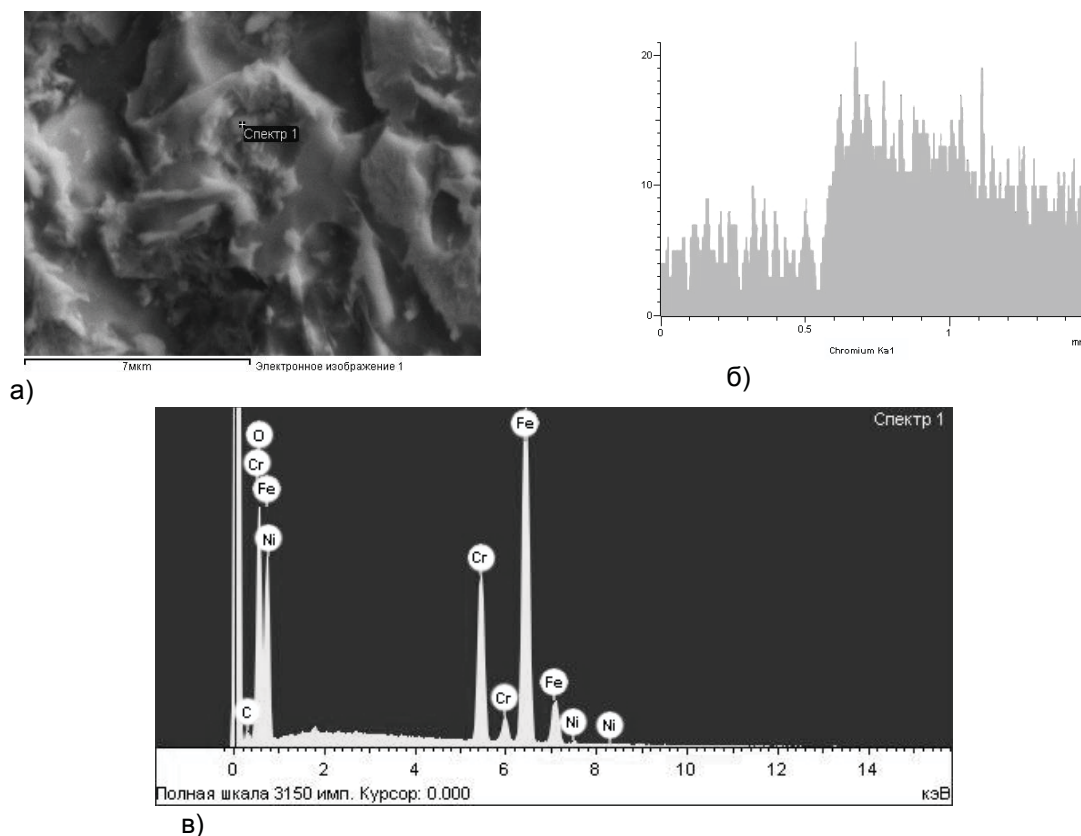


Рисунок 2 – Микроструктура и фазовый состав ОШЗ стали 25X2H: а) расположение глобулярных частиц; б), в) Спектр 1 – карбиды $(\text{Fe,Cr})_{23}\text{C}_6$

При формировании бейнита зернистой морфологии распад аустенита сопровождается выделением спецкарбида хрома округлой формы и непрерывной релаксацией внутренних напряжений за счет микропластической деформации, которая облегчена из-за низкого предела текучести кристаллов α и γ -фаз. Это способствует повышению сопротивляемости металла ОШЗ зарождению очагов замедленного разрушения, ведущих к образованию холодных трещин.

Проведенные исследования послужили

основанием для разработки состава металлохимической присадки для сварки под флюсом низколегированных сталей с учетом регулирования структурно-фазового состава ОШЗ и повышения хладостойкости сварных соединений.

Список литературы:

1. Чепрасов Д.П. Обеспечение качества и свойств сварных соединений сталей бейнитного класса / Д.П. Чепрасов, М.Н. Сейдуров // Сварка и диагностика. – 2012. – № 3. – С. 30-33.

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ МНОГОКАРБИДНЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ СВС-КОМПОЗИТОВ

А. В. Собачкин, В. И. Яковлев, А. А. Ситников

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул, Россия

В настоящее время большое внимание уделяется методам получения сверхмелкозернистых объемных и дисперсных композиционных материалов. Одним из эффективных способов получения подобных материалов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) – высокоэкзотермическое взаимодействие порошковых смесей, протекающее в режиме горения, в результате которого образуются твердые вещества [1]. Приоритет в области СВС принадлежит России, также работы по изучению СВС интенсивно ведутся в США, Китае, Японии и др.

В последние годы наблюдается растущий интерес к такому методу получения дисперсных порошковых материалов как механически активируемый самораспространяющийся высокотемпературный синтез, основанный на сочетании технологий механоактивационной обработки и СВС [2]. Предварительная механическая активация порошковых реагирующих смесей является эффективным способом управления реакцией безгазового горения для синтеза неорганических материалов [3, 4]. Благодаря этому интенсивно расширяется область применения композиционных материалов, синтезированных по технологии механически активируемого СВС [5, 6]. Также активно ведутся исследования в направлении совершенствования композиционных материалов, состоящих из разнородных компонентов: например, разработан наплавочный материал «сталь Р6М5 – тугоплавкий карбид», предназначенный для упрочнения поверхностей типа опорных шеек «вал-шестерня», работающих в тяжелонагруженных условиях [7].

Одним из направлений исследования механически активируемого СВС является проведение реакции синтеза компонентов в «инертной» матрице. Путем применения технологии механоактивации и СВС в «инерт-

ной» матрице возможно создать смесь, содержащую различные высокодисперсные карбиды металлов, равномерно распределенные по объему матрицы, и которую чрезвычайно сложно или вообще невозможно получить другими способами. Покрытия, полученные из таких многокомпонентных СВС-композиций, могут обладать свойствами каждого из компонентов, в результате чего покрытие в целом будет иметь взаимодополняющие физико-механические характеристики. Исследование структуры и свойств покрытий, полученных из подобных СВС-композиций, представляет большой научный и практический интерес.

Цель работы – исследовать общую структуру и морфологию поверхности, а также свойства композиционных покрытий, наплавленных дуговым способом смесью типа «наплавочный порошок – смесь тугоплавких карбидов титана, кремния и/или вольфрама».

Методика проведения исследований

В качестве исходных реагентов для создания многокарбиной композиционной наплавочной смеси использовались порошки титана, углерода, карбида кремния и карбида вольфрама. В качестве матрицы использовался наплавочный порошок марки ПР-Н70Х17С4Р4-З. Карбид титана синтезировался из порошков титана и углерода в режиме фронтального горения с локальным инициированием процесса СВС-реакции.

Механическая активация порошковых смесей проводилась с помощью планетарной шаровой мельницы-активатора АГО-2С с возможностью варьирования энергонапряженности от 10 до 100 г.

Электродуговая наплавка осуществлялась в три прохода на подложку из стали 45 трубчатым порошковым электродом, содержащим следующие составы СВС-

механокомпозитов:

- 1 состав: 15 % TiC + 5 % SiC + ПР-Н70Х17С4Р4-3;
- 2 состав: 15 % TiC + 5 % WC + ПР-Н70Х17С4Р4-3;
- 3 состав: 15 % TiC + 5 % SiC + 5 % WC + ПР-Н70Х17С4Р4-3.

При проведении исследований образцов с покрытием использован метод металлографического (оптический микроскоп Carl Zeiss Axio Observer Z1) и электроннооптического анализа (растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO 50 с микроанализатором EDS X-Act «OXFORD»).

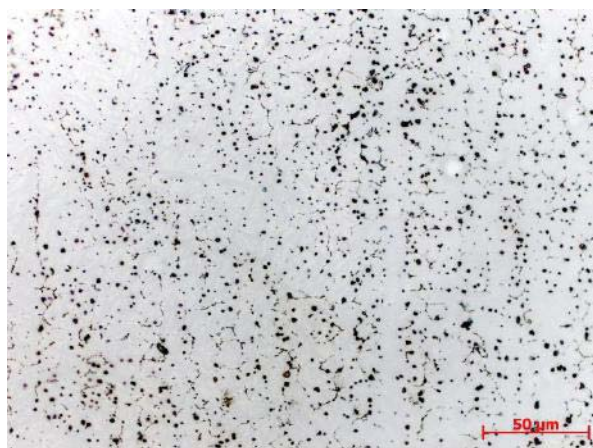
Для исследовании общей структуры покрытий применялось химическое травление 3 % раствором азотной кислоты в этиловом спирте, а при исследовании тонкой структуры покрытий применяли химическое травление в течение 5 минут водным раствором 20 % красной кровяной соли $K_3[Fe(CN)_6]$ и 20 % KOH.

Качество наплавленного металла оценивали методом визуально-измерительного контроля, а свойства покрытия – по его твердости в поперечном и продольном направлениях. Для измерения твердости использовал-

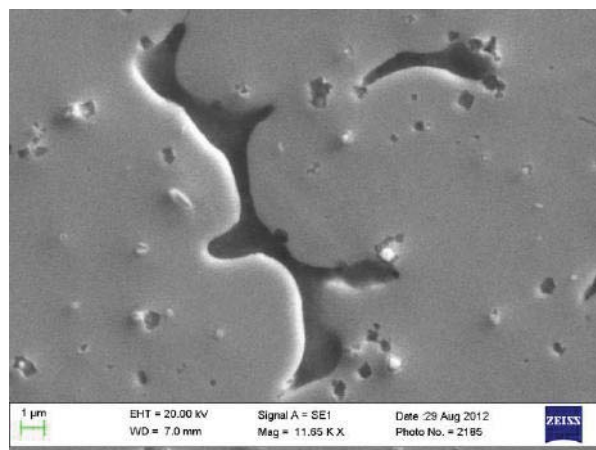
ся микротвердомер для проведения испытаний по Виккерсу 402 MVD.

Результаты исследований и их обсуждение

Распределение карбидной фазы и микроструктуру наплавленного покрытия изучали сначала на образцах, полученных из порошков композиционной наплавочной смеси состава № 1. В наплавленном металле покрытий из порошков этого состава были обнаружены включения карбидов титана и кремния (рисунок 1, а). По данным элементного анализа установлено, что TiC в основном содержится в наплавленном металле в виде цепочек по границам зерен, а также в виде одиночных мелких включений. SiC находится в структуре наплавленного слоя в виде включений неправильной формы более крупного по сравнению с зернами TiC размера. Для определения размеров карбидных частиц различной формы, образовавшихся в наплавленных покрытиях, были проведены дополнительные исследования тонкой структуры. Морфология включений карбидов титана и кремния приведена на рисунок 1, б.



а)



б)

Рисунок 1 – Микроструктура и морфология покрытия, наплавленного смесью состава 15 % TiC + 5 % SiC + ПР-Н70Х17С4Р4-3: а) – оптическая микроскопия, б) – растровая электронная микроскопия

Значения микротвердости в покрытии этого типа превышают показатели в основном металле в 3-4 раза, пиковые значения составляют около 900 HV. Переходная зона между наплавленным слоем и основным металлом составляет около 300 мкм. Общая картина распределения микротвердости яв-

ляется типичной для деталей, подверженных термомеханическому воздействию на металл при электродуговой наплавке.

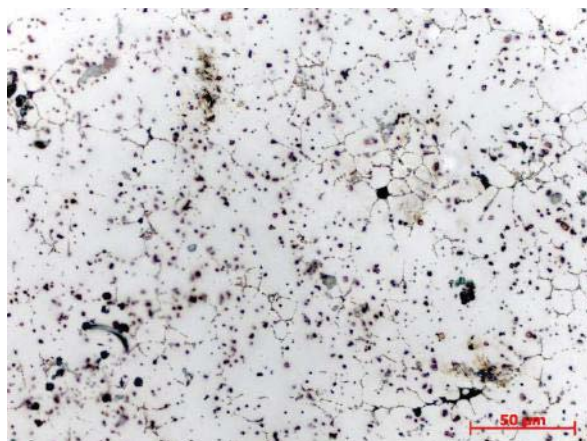
Проведение металлографических исследований на образцах, наплавленных композиционной смесью состава № 2 показало, что в наплавленном металле, наряду с це-

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ МНОГОКАРБИДНЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ СВС-КОМПОЗИТОВ

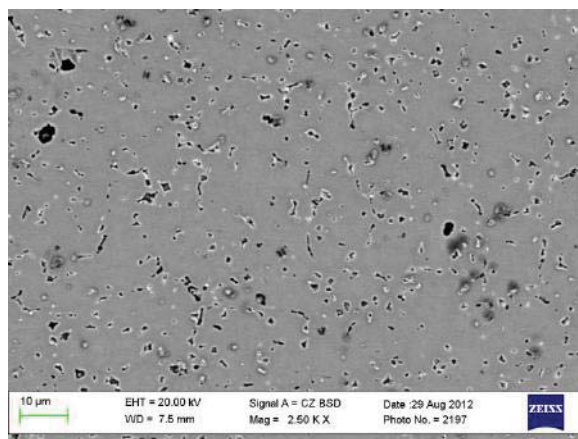
почками и мелкими единичными включениями карбида титана, выделяются мелкие одиночные частицы карбида вольфрама различной формы. При этом, по данным спектрального анализа, введение в состав наплавочной смеси TiC и WC приводит к более близкому расположению включений этих двух карбидов друг к другу. Пиковые значения микротвердости наплавки достигают 950 HV, однако имеет место более неоднородное распределение карбидного зерна в зоне проведения испытаний, что повлияло на среднее значение микротвердости (750-800 HV).

По результатам исследований образцов покрытий, наплавленных композиционной смесью состава № 3, установлено, что введение в поверхностный слой карбидов не-

скольких типов приводит к увеличению доли мелких карбидных соединений, выпадающих по границам зерен в виде сетки (рисунок 2, а). При этом, возрастает доля крупных карбидов, образующихся в том числе и внутри зерен. Проведенный химический анализ подтвердил наличие в структуре наплавки включений всех трех типов карбидов – TiC, WC и SiC. Морфологию содержащихся в наплавленном покрытии карбидов можно оценить, используя рис. 2, б. Пиковые значения микротвердости в покрытии этого типа составляют 1050 HV, среднее значение микротвердости по покрытию колеблется в пределах 900 HV. Распределение карбидного зерна по объему наплавки в данном случае более равномерное по сравнению с предыдущим типом покрытия.



а)



б)

Рисунок 2. Микроструктура и морфология покрытия, наплавленного смесью состава 15 % TiC + 5 % SiC + 5 % WC + ПР-Н70Х17С4Р4-3: а) – оптическая микроскопия, б) – растровая электронная микроскопия

Таким образом, использование для электродуговой наплавки многокомпонентных порошков СВС-мехакомпозитов составов:

- 15 % TiC + 5 % SiC + ПР-Н70Х17С4Р4-3;
- 15 % TiC + 5 % WC + ПР-Н70Х17С4Р4-3;
- 15 % TiC + 5 % SiC + 5 % WC + ПР-Н70Х17С4Р4-3

дает возможность получать в структуре металла покрытия, наряду с крупными карбидами различной формы преимущественно более мелкие одиночные карбиды и их цепочки. Следовательно, полученная структура наплавленного металла из-за измельчения зерна должна обеспечивать значительную износостойкость за счет высокой твердости покрытия.

Выводы

1. Путем оптической металлографии, растровой электронной микроскопии и микро-спектрального анализа было установлено, что в результате электродуговой порошковой наплавки многокомпонентной электродной смесью в структуре покрытия присутствуют частицы карбидной фазы – TiC, SiC и WC – разной формы и размеров в объеме металлической матрицы (ПР-Н70Х17С4Р4-3), что свидетельствует о возможности управления структурой покрытия изменением вида и содержания упрочняющей фазы.

2. Предварительная механоактивационная обработка порошковых смесей в планетарной шаровой мельнице АГО-2С и прове-

дение реакции высокотемпературного синтеза в смешанной системе позволяет получить композиционный гетерогенный материал (СВС-механокомпозит), что за счет высокой микротвердости покрытия будет обеспечивать получение высококачественного износостойкого слоя методом электродуговой наплавки на основе смеси карбидов титана, кремния и вольфрама.

Список литературы:

1. Евстигнеев В. В., Вольпе Б. М., Милюкова И. В., Сайгутин Г. В. Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. – М. : Высшая школа, 1996. – 284 с.
2. Ляхов Н. З., Талако Т. Л., Григорьева Т. Ф. Влияние механоактивации на процессы фазо- и структурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. – Новосибирск : Параллель, 2008. – 168 с.
3. White J. D. E., Mukasyan A. S., Reeves R. V., et al. Thermal explosion in Ni-Al system: influence of mechanical activation // The Journal of Physical Chemistry A (Dynamics, Kinetics, Environmental Chemistry, Spectroscopy, Structure, Theory). – 2009. – V. 113, № 48. – P. 13541–13547.
4. Ситников А. А., Яковлев В. И., Семенчина А. С. и др. Термодинамический анализ самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в многокомпонентных системах // Ползуновский вестник. – 2009. – № 1-2. – С. 132–138.
5. Ситников А. А., Яковлев В. И., Собачкин А. В. и др. Покрытия из механоактивированных СВС-материалов для рабочих органов сельскохозяйственных машин, наплавленные ручным дуговым способом // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1/1. – С. 273–277.
6. Ситников А. А., Яковлев В. И., Сейдуров М. Н. и др. Структура и свойства наплавленных электродуговых покрытий из порошков механоактивированных СВС-композитов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2011. – № 3 (52). – С. 51–54.
7. Гнусов К. С. Формирование структуры и свойств покрытий на основе композиционного материала сталь Р6М5–тугоплавкий карбид : автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2009. – 18 с.

СИНТЕЗ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ СИЛУМИНОВ ИЗ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО МЕТАЛЛОСЫРЬЯ, КВАРЦЕВОГО ПЕСКА И ОТХОДОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

А. В. Арабей, И. В. Рафальский

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Представлены результаты синтеза высококремнистых силуминов из литейных алюмоматричных композиций, полученных с использованием вторичного металло сырья, кварцевого песка и отходов кристаллического кремния.

Исходными шихтовыми материалами для синтеза высококремнистых силуминов являлись лом и отходы алюминия, а также наполнители, содержащие формовочный кварцевый песок марки $2K_2O_2O_3$ (в количестве 20-30 % от массы алюминия) и отходы кристаллического кремния (в виде порошка со средним размером фракции 0,3-1 мм в количестве 10-15 % от массы алюминия).

С использованием методов математического планирования были проведены исследования и предложены технологические решения синтеза силуминов из алюмоматричных композиций с использованием вторичного металло сырья, кварцевого песка и отходов кристаллического кремния, обеспечивающие возможность получения литейных сплавов и лигатур системы Al-Si с высоким содержанием кремния.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что предельное содержание кварцевого песка со средним размером частиц 0,2-0,3 мм, которое может быть введено в алюминий в гетерофазном состоянии для получения литейной алюмоматричной композиции (далее – ЛАМК), составляет порядка 30-35 % от массы алюминия. При полном протекании реакции восстановления кремния алюминием после переплава ламк теоретически возможный выход кремния составляет около 14,6 - 17,1 % (масс.). Для ре-

шения задачи синтеза сплавов с более высоким содержанием кремния в работе исследовали процессы получения высококремнистых силуминов из ЛАМК с использованием кварцевого песка и отходов кристаллического кремния.

Для решения этой задачи использовали наполнители, содержащие формовочный кварцевый песок марки $2K_2O_2O_3$ в количестве 20-30 % (от массы алюминия) и отходы кристаллического кремния в виде порошка с размером фракции 0,3-1 мм в количестве 10-15 % (от массы алюминия). ЛАМК готовили методом механического замешивания наполнителя в расплав алюминия, находящийся в гетерофазном (жидко-твердофазном состоянии), с последующим затвердеванием и переплавлением. Рафинирующую обработку расплава проводили с использованием флюса (% , масс. доля: NaCl – 30, KCl – 40, Na_3AlF_6 – 23).

В результате проведенных исследований, выполненных с использованием методов математического планирования, было установлено, что в образцах сплавов, полученных из ЛАМК на основе кварцевого песка и отходов кремния, введенных совместно в расплав алюминия, содержание кремния составило до 19,6 % (масс.). Недостаточно высокая степень восстановления кремния в сплаве объясняется тем, что при использовании ЛАМК с высоким содержанием наполнителя (30 % кварцевого песка и 15 % отходов кристаллического кремния) не обеспечивается хороший физический контакт между алюминием и частицами наполнителя.

Для повышения содержания кремния в сплаве изучали процесс получения синтети-

ческого высококремнистого сплава в два этапа. На первом этапе был реализован синтез сплава из ЛАМК на основе кварцевого песка (содержание кварцевого песка в ЛАМК варьировалось в пределах 20-30 % от массы алюминия). На втором этапе полученный синтетический сплав использовался в качестве матричного сплава для получения композиции «синтетический силумин – дисперсные отходы кремния» (содержание отходы кристаллического кремния в ЛАМК варьировалось в пределах 10-15 % от массы алюминия). Использование описанного способа синтеза силуминов из ЛАМК позволило получить сплав с содержанием кремния до 26,2 % (масс.).

Исследовали возможность получения высококремнистого синтетического сплава на основе отходов алюминия и формовочного кварцевого песка без использования кристаллического кремния. На первом этапе осуществляли синтез сплава из ЛАМК на основе кварцевого песка с содержанием 10-25 % от массы алюминия. На втором этапе полученный синтетический сплав использовали в качестве матричного сплава для получения композиции «синтетический силумин – кварцевый песок», содержание которого варьировалось в пределах 25-35 % от массы алюминия. Использование описанного способа синтеза силуминов из ЛАМК позволило получить сплав с содержанием кремния до 25,9 % (масс.).

Микроструктуры полученных высококремнистых синтетических сплавов представлены на рисунке 1.

Предложенные технологические решения синтеза силуминов из литейных алюмоматричных композиций на основе лома и отходов алюминия, кварцевых материалов и дисперсных отходов кремния методом совмещения компонентов в гетерофазном (жидко-твердофазном) состоянии металлической матрицы обеспечивают возможность получения литейных заэвтектических сплавов и лигатур системы Al-Si с содержанием кремния до 25-26 %.

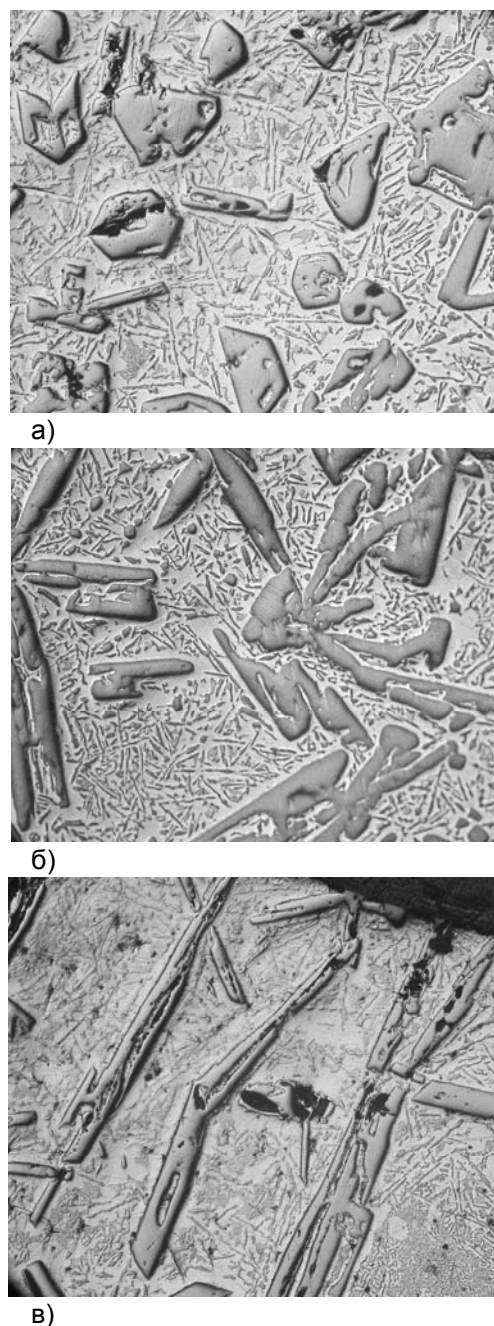


Рисунок 1 – Микроструктуры высококремнистых синтетических сплавов, полученного из ЛАМК с использованием: а) 30% кварцевого песка и 10% отходов кристаллического кремния, введенных в расплав совместно в одну стадию; б) 30 % кварцевого песка и 15 % отходов кристаллического кремния, введенных в расплав в две стадии; в) 50 % кварцевого песка, введенного в расплав в две стадии, х 100

ФОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЗАМЫКАЮЩЕГО ЗВЕНА ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКЕ ЦЕПЕЙ С ОДИНАКОВЫМИ ЗВЕНЬЯМИ

А. А. Панов, А. Н. Кутергин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Размерные цепи рассматриваемых изделий формируются включением в них деталей, изготовленных по одному и тому же чертежу с одинаковыми номинальными размерами и допускаемыми отклонениями, но предварительно рассортированных на группы. При селективной сборке подобных изделий в общем случае в размерную цепь включаются детали из различных групп, а не из одноименных, как это делается в случае размерной цепи общего вида.

Примерами подобных изделий могут быть роторы и статоры электрических машин, сердечники соленоидов, барабанные механизмы механических счетчиков и командоаппаратов, тарельчатые пружины и т.п.

Необходимое число групп сортировки определяется как и в общем случае:

$$k = \frac{\sum_1^d T_i}{T_{\Delta}} = \frac{d \cdot T}{T_{\Delta}}, \quad (1)$$

где T_i – допуск на размер составляющего звена, равный технологическому допуску T ; T_{Δ} – допуск на размер замыкающего звена;

d – количество деталей, входящих в изделие.

Как показали последующие расчеты, нумерацию групп в данном случае удобно производить от центра (рис. 1).

Условие комплектации при нечетном числе групп сортировки: сумма номеров групп должна равняться нулю:

$$\sum_1^d j = 0. \quad (2)$$

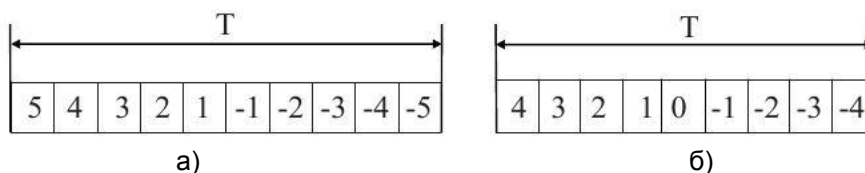


Рисунок 1 – Нумерация групп: а) при четном числе; б) при нечетном числе

Комплектация деталей в изделие принципиально не отличается для четного и нечетного d . Набор деталей может быть достаточно произвольным, но с обязательным соблюдением условия (2).

При четном числе групп сортировки исходное условие комплектации остается тем же, что и при нечетном числе групп: координата середины поля рассеяния $\Delta_{\omega\Delta}$ размера изделия, т.е. замыкающего звена размерной цепи, должна равняться нулю. Нумерацию групп примем в соответствии с рисунком 1а. Особенностью является отсутствие группы с номером 0. Обозначим число деталей в изделии из групп с номерами (+) через p , а число деталей из групп с номерами (–) через q .

Тогда

$$p + q = d; \quad (3)$$

Условие комплектации:

$$\sum_1^d j - 0,5(p - q) = 0. \quad (4)$$

В отличие от условия для нечетного k в данном случае сумма номеров групп может и не равняться нулю, но при этом она должна быть равна полуразности $(p - q)$.

Путем преобразований уравнения комплектации (4) и ранее принятых соотношений можно получить еще несколько характерных зависимостей.

$$d = 2 \left(\sum_1^d j + q \right). \quad (5)$$

Поскольку слагаемые в скобках являются целыми числами, то их удвоенная сумма d всегда будет четной. Отсюда следует важное дополнительное условие: при четном числе групп k число деталей в изделии d должно быть тоже только четным.

Для синтеза вариантов комплектации необходимо определить минимальное значение $p = p_m$, с которого следует начинать перебор вариантов, а также значение суммы номеров группы для принятых d , k и рассчитанного p_m .

$$p_m = \frac{d}{k}. \quad (6)$$

Значение суммы номеров групп:

$$\sum_1^d j = p_m - \frac{d}{2}. \quad (7)$$

Перебор вариантов следует начинать с $p = p_m = d/k$ и соответственно с $\sum j = p_m - 0,5d$.

В таблице 1 приведены примеры вариантов комплектации для различных исходных условий.

Таблица 1 – Варианты комплектации при различных значениях k и d

$k = 5, d = 5$						$k = 4, d = 6$							
Варианты	№№ групп					Варианты	№№ групп				Условия		
	+2	+1	0	-1	-2		+2	+1	-1	-2	p	q	$\sum j$
1	x	x	x	x	x	1	xx		xxx	x	2	4	-1
2	xx		x		xx	2	x	x	xxxx				
3		xx	x	xx		3	xxx			xxx	3	3	0
4			xxxxx			4	xx	x	x	xx			
5	x		xx	xx		5	x	xx	xx	x			
6	x		xxx		x	6		xxx	xxx				
7		xx	xx		x	7	x	xxx		xx	4	2	+1
8		x	xxx	x		8		xxxx	x	x			

Особенностью данных размерных цепей является установление Δ^0 – координаты середины поля допуска Т на размер А. В общем случае $\Delta_{0\Delta} \neq 0$, поэтому необходимо определить, каким должно быть Δ^0 для обеспечения после сборки требуемого $\Delta_{0\Delta}$:

$$\Delta_0 = \frac{\Delta_{0\Delta}}{d}. \quad (8)$$

При селективной сборке рассматриваемых изделий несимметричное распределение деталей по группам приводит к образованию некомплекта. Это неизбежно даже при изготовлении достаточно больших партий. По окончании сборки партии может сформироваться некомплектуемый остаток деталей одной или нескольких групп. При поступлении очередной сборочной партии остаток присоединяется к поступившим деталям. Некомплект является переходящим, его величина относительно невелика и, как незавершенное производство, он практически не влияет на технико-экономические показатели.

При изготовлении малых партий с большими перерывами между ними некомплект нежелателен либо вообще недопустим. Устранить его можно соответствующей комплектацией, применяя асимметричные вари-

анты (в таблице выделены), при которых детали отдельных групп расходуются быстрее остальных, выравнивая асимметричность по группам.

По результатам исследований особенностей селективной сборки однородных размерных цепей с одинаковыми параметрами звеньев можно сделать следующие выводы:

1) условия формирования комплектов существенно отличаются для четного и нечетного числа групп сортировки;

2) комплектация невозможна при нечетном числе деталей в комплекте и четном числе групп сортировки;

3) неравномерность количества деталей в группах, возникающая как из-за несоответствия теоретического закона рассеяния равномерному, так и вследствие неизбежного отклонения реального рассеяния от теоретического, может быть скомпенсирована рациональной последовательностью формирования комплектов;

4) получены зависимости для определения технологических параметров составляющих звеньев.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА СИГНАЛ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

А. М. Фирсов, А. В.Вдовин

Бийский технологический институт
г. Бийск, Россия

Большинство деталей машин, обрабатываемых на металлорежущих станках, изготавливается из металлов и их сплавов. Обрабатываемость металлов резанием характеризуется их механическими свойствами, т.е. совокупностью показателей, характеризующих сопротивление материала воздействию на него нагрузке, его способность деформироваться при этом, а также особенности его поведения в процессе резания. Основными показателями свойств материалов можно выделить: прочность, упругость, пластичность, ударная вязкость, твердость и выносливость. Особое внимание необходимо уделить твердости, т. к. это один из параметров механических свойств материала, оказывающий значительное влияние на процесс резания при токарной обработке и поддающийся быстрому контролю.

В результате ранее проведенных экспериментальных исследований было установлено, что технологическая система генерирует сигнал акустической эмиссии частотой от 25 до 300 кГц, а использование критерия $K_s = S_{ach}/S$

дает возможность контролировать уровень получаемого сигнала при изменении режимов резания.

Как известно, твердость определяется отношением величины нагрузки к площади или объему поверхности отпечатка. Таким образом, влияние твердости на сигнал акустической эмиссии, должно быть значимым.

Для проверки данного утверждения, на токарном станке 16К20Ф3 была проведена серия экспериментов по обработки нескольких видов сталей с разной твердостью. Параметры эксперимента следующие: $S=0,2-0,6$ мм/об (шаг 0,1 мм/об), $V=60-140$ м/мин (шаг — 20 м/мин), $t=0,5$ мм и $t=1$ мм, материал — сталь 45 $D=70$ мм, сталь 40Х $D=80$ мм, ХВГ $D=90$ мм.

Измерение средней твердости HB про-

водилось по пяти точкам в четырех плоскостях с помощью аттестованного твердомера Константа ТУ.

В связи с тем, что с повышением основных показателей механических свойств, а именно твердости и предела прочности, увеличивается сопротивление, которое оказывает металл обрабатываемому его режущему инструменту, эти показатели приобретают качество режимных параметров. Они выражают качественное и количественное влияние механических свойств металлов на уровень практических режимов их обработки режущими инструментами, и на качество получаемой поверхности.

Исследованиями установлено, что между твердостью HB и пределом прочности σ_B для сталей различных марок существует следующая зависимость:

$$\sigma_B \approx k \cdot HB \quad (1)$$

Для углеродистых конструкционных сталей коэффициент пропорциональности $k = 0,27$, для низколегированных сталей $k = 0,31$, для высоколегированных сталей $k = 0,41$. С точностью, достаточной для практических целей, по уравнению (1) можно найти среднее вероятное значение предела прочности на разрыв σ_B , зная твердость HB, и, наоборот, по значению σ_B можно рассчитать среднюю вероятную твердость HB.

При входном контроле поступающего в обработку материала быстрее и проще проверить твердость, чем значение предела прочности σ_B . Поэтому твердость принята в качестве основного параметра, выражающего влияние механических свойств металлов на уровень режимов их обработки резанием.

Как видно из таблицы 1, значения коэффициентов для получения расчетных значений силы резания, для обрабатываемых в ходе эксперимента металлов, очень схожи, и различаются только пределом прочности, который имеет зависимость с твердостью ме-

талла. Таким образом, проводя эксперименты на одинаковых режимах для каждого металла, но с разной твердостью, мы можем

выявить не только общее влияние силы резания на сигнал АЭ, но и влияние твердости металла на сигнал АЭ в частности.

Таблица 1 – значения коэффициентов для расчета силы резания

Сталь 45		Сталь 40 X		Сталь ХВГ	
п	0,75	п	0,75	п	0,75
σв	640	σв	610	σв	760
Ср	300	Ср	300	Ср	300
х	1	х	1	х	1
у	0,75	у	0,75	у	0,75
п	-0,15	п	-0,15	п	-0,15
КΨр	1	КΨр	1	КΨр	1
Кγр	1	Кγр	1	Кγр	1
Кгρ	0,93	Кгρ	0,93	Кгρ	0,93

Воспользовавшись зависимостью между твердостью и пределом прочности обрабатываемого материала, а также для того, чтобы учесть влияние основных режимов резания (скорость резания и подача), мы воспользовались известной зависимостью расчета силы резания, чтобы привести наши эксперименты к некому единому параметру, позволяющему оценивать и сравнивать полученные значения сигнала акустической эмиссии. В основу данного метода проведения экспериментов входит сопоставление расчетных значений параметров обработки с практически полученным сигналом акустической эмиссии. Проверка показала их удовлетворительное совпадение, а отдельные несоответствия объясняются практической невоспроизводимостью условий обработки при проведении экспериментов. Данное положение имеет принципиальное значение, так как позволяет методом АЭ уточнять оптимальные режимы резания на каждом рабочем месте в случае

необходимости непосредственно в производственных условиях.

Для наглядного представления результатов эксперимента в программе «Maple» были построены трехмерные графики полученных математических зависимостей параметра АЭ - Ks и режимов резания.

Для построения данных зависимостей была использована бикубическая интерполяция. В вычислительной математике это расширение кубической интерполяции на случай функции двух переменных, значения которой заданы на двумерной регулярной сетке. Поверхности, полученные в результате бикубической интерполяции, являются гладкой функцией, в отличие от поверхностей, полученных в результате билинейной интерполяции. В случае бикубической интерполяции значение функции в искомой точке вычисляется через ее значения в 16-ти соседних точках. Уравнение данной интерполяции приведено ниже:

$$g(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j = a_{33} x^3 y^3 + a_{32} x^3 y^2 + a_{31} x^3 y^1 + a_{30} x^3 y^0 + a_{23} x^2 y^3 + a_{22} x^2 y^2 + a_{21} x^2 y^1 + a_{20} x^2 y^0 + a_{13} x^1 y^3 + a_{12} x^1 y^2 + a_{11} x^1 y^1 + a_{10} x^1 y^0 + a_{03} x^0 y^3 + a_{02} x^0 y^2 + a_{01} x^0 y^1 + a_{00} x^0 y^0; \quad (2)$$

Далее подбирались коэффициенты уравнения, для более точного описания необходимого диапазона значений, и уже по полученным бикубическим уравнениям стро-

ились объемные поверхности, описывающие данные матрицы значения. Для проверки адекватности построенной модели рассчитывалась норма вектора погрешности.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА СИГНАЛ
АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

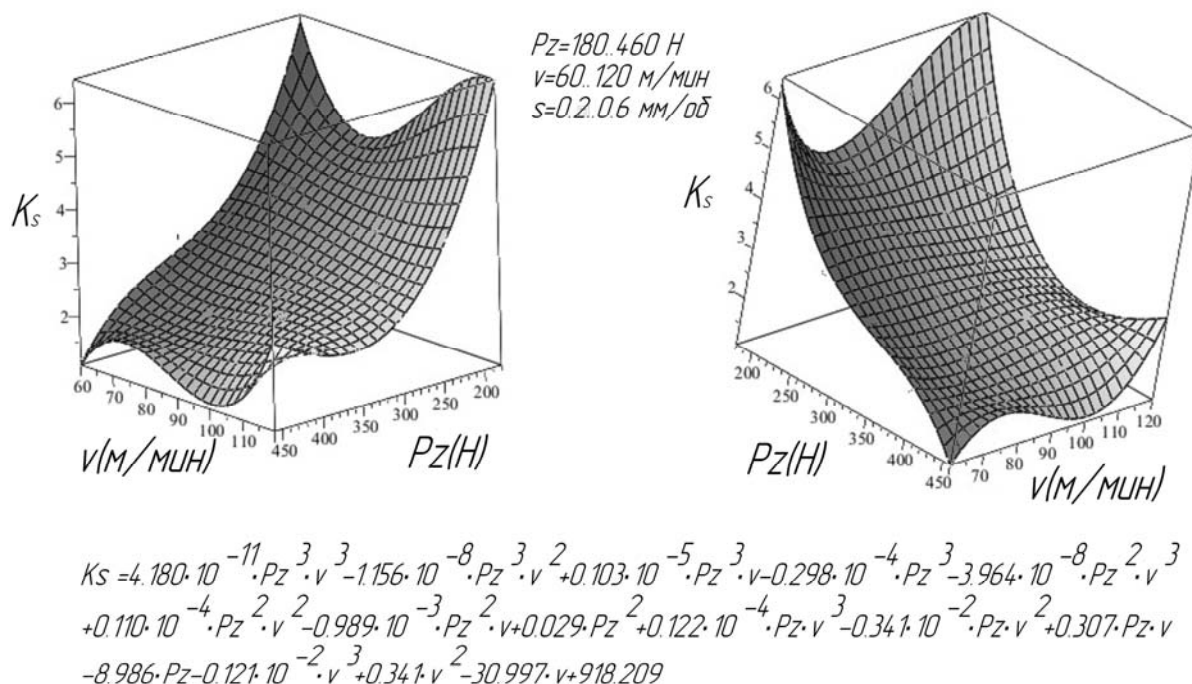


Рисунок 1 – Влияние механических свойств обрабатываемого материала на комбинированный параметр K_s сигнала АЭ на частотном диапазоне 100-200 кГц для стали 45 (HB = 130)

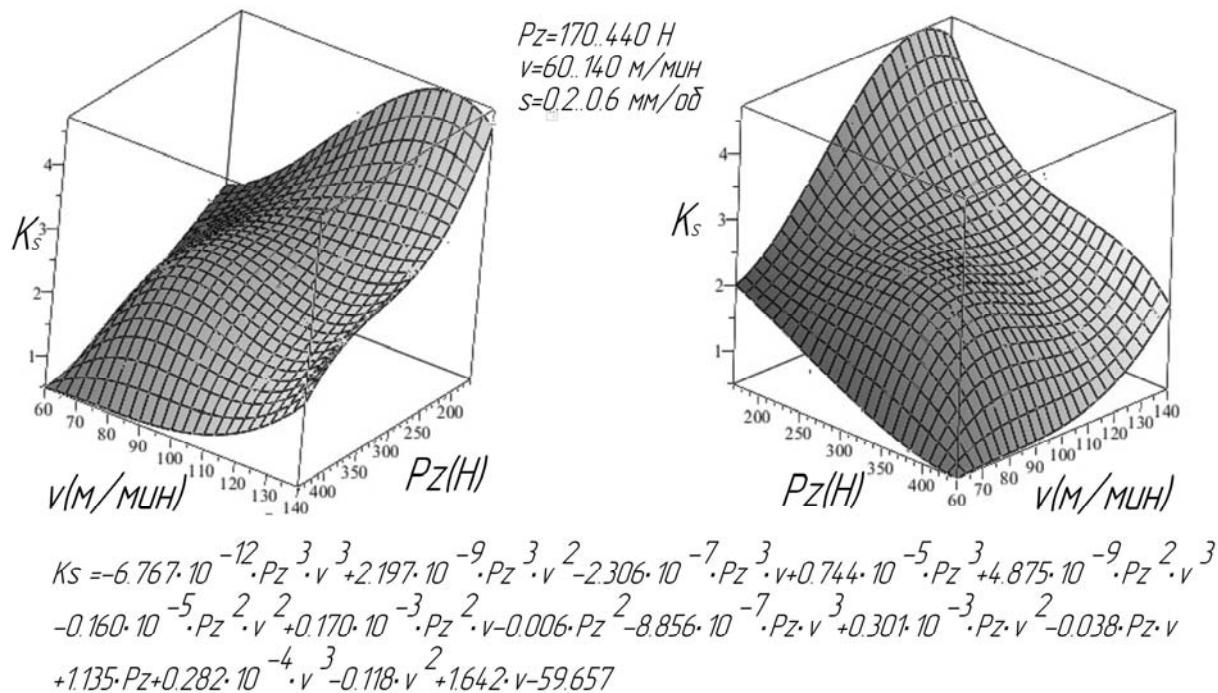


Рисунок 2 – Влияние механических свойств обрабатываемого материала на комбинированный параметр K_s сигнала АЭ на частотном диапазоне 100-200 кГц для стали 40X (HB=186)

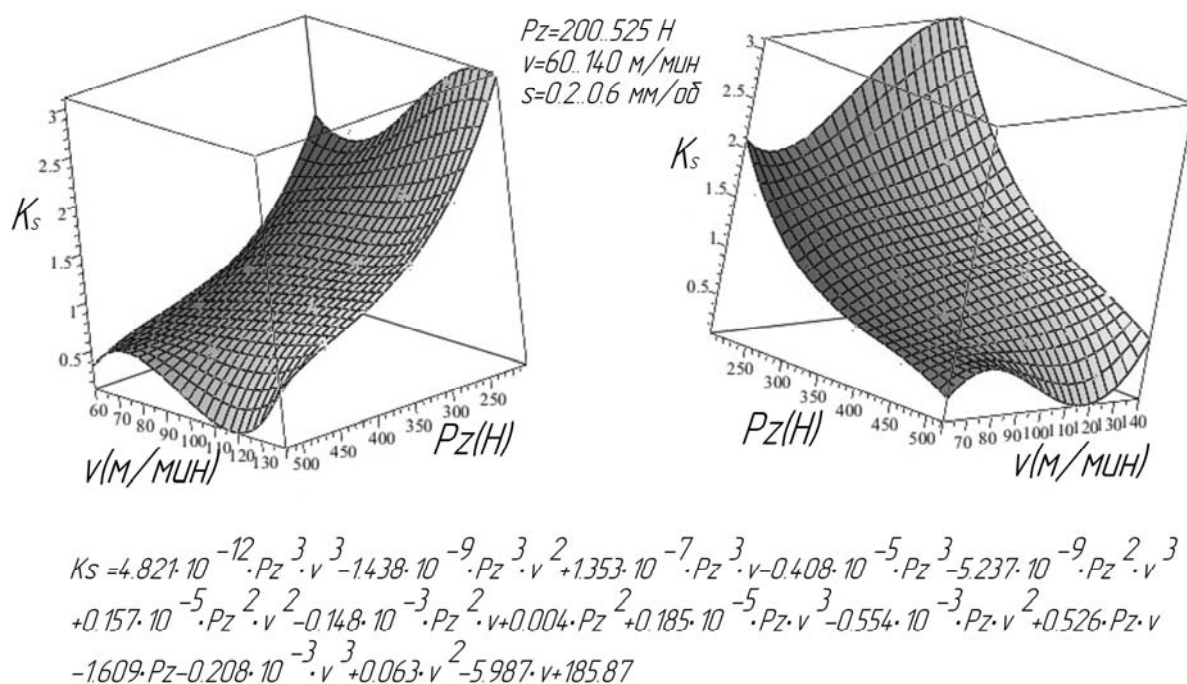


Рисунок 3 – Влияние механических свойств обрабатываемого материала на комбинированный параметр K_s сигнала АЭ на частотном диапазоне 100-200 кГц для стали ХВГ (HB=284)

Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы:

- подтверждено влияние твердости материала на сигнал акустической эмиссии;
- расчетное значение силы резания с использованием практически измеренной твердостью также имеет взаимосвязь с сигналом АЭ, что описывается с помощью функции бикубической интерполяции;
- сопоставление расчетных значений режимов обработки, параметров сигнала АЭ с практически полученным сигналом АЭ дает удовлетворительное совпадение, что позволяет методом АЭ уточнять оптимальные режимы резания на каждом рабочем месте в

случае необходимости непосредственно в производственных условиях.

Список литературы:

1. Алешин С.А., Белый Г.Ю., Вopilкин А.А. Методы акустического контроля металлов. - М.: Высшая школа, 1988. - 306С.
2. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. [текст]/ М.: Из-во стандартов, 1976. 272 с.
3. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. - М.: Высшая школа, 1985. - 304С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТАЛЬ 20ГФЛ

Г. А. Околович, А. В. Габец, Е. О. Чертовских

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Отливка детали «Рама боковая» производится на Рубцовском филиале ОАО «Алтайвагон», которая является основным элементом тележки грузового вагона. В работе боковая рама воспринимает статические, вертикальные динамические и продольные нагрузки, а также воздействие крутящего момента при движении выгона во время поворота. При этом основная часть динамических нагрузок носит циклический характер.

В настоящее время в связи с дефицитом качественных шихтовых материалов актуальным является использовать в производстве стали кальций содержащую порошковую проволоку для повышения чистоты стали по неметаллическим включениям. При всем многообразии применяемых порошковых проволок с наполнителями из SiCa, CaAl, CaFe, FeB, FeTi, FeV и др. наиболее эффективной, а с учетом зарубежного опыта, и необходимой в сталеплавильной технологии является обработка расплава кальций содержащими наполнителями.

Ввод кальция в жидкий металл существенно влияет на содержание кислорода в расплаве, рафинирование от нежелательных примесей, состояние и количество неметаллических включений. Обработка металлургических расплавов кальциевой порошковой проволокой благоприятно сказывается на создании равноосной зернистой структуры. Кроме этого обработка позволяет устранить образование кристаллических остроугольных включений, как концентраторов напряжений и очагов разрушения металла, особенно опасных в условиях охрупчивания стали при низких температурах и больших мгновенных нагрузках, что очень важно для сталей ответственного назначения.

Микролегирующее действие кальция проявляется в повышении пластических и, одновременно, прочностных свойств стали при обеспечении заданного остаточного содержания кальция. При этом устраняется отрицательное влияние глинозема в расплаве и готовой продукции. Ввод в жидкий металл порошковой проволоки с наполнителем из

смеси кальция и железа обеспечивает взаимодействие кальция с включениями глинозема и превращение их в легкоплавкие алюминаты кальция, смываемые со стенок разливочного стакана струей жидкого металла. В результате разливочный стакан значительно дольше сохраняет свои размеры, и процесс истечения металла из ковша происходит без отклонений от заданного режима.

Усвоение кальция расплавом металла, т.е. степень его использования из порошковой проволоки, зависит от интенсивности испарения кальция на различной глубине расплава при температурах сталеварения.

Стальная оболочка порошковой проволоки обеспечивает доставку кальция на такую глубину стальной ванны (около 1,2 м), где ферростатическое давление примерно равно упругости его пара (около 0,15 МПа при 1600°С) [1], что снижает потери кальция на испарение. При этом, при вводе её в расплав металла усвоение кальция повышается, т.к. железная дробь, имеющая значительно меньшую по сравнению с порошком железа удельную поверхность, расплавляется медленнее, что обеспечивает более плавное и длительное протекание эффекта «температурного балласта», ведущее к повышению усвоения кальция (до 30%) металлом, локально вводимого в большом количестве в расплав металла.

Использование трайб-аппарата позволяет вводить проволоку диаметром от 8-16мм. Проволока поставляется в бобинах и подается в стопорный 8т сталеразливочный ковш. С целью увеличения эффекта модифицирования во всем объеме металла применяли продувку газообразным аргоном высокой чистоты ТУ 6-21-12-94 в течение 4 минут через щелевую фурму под давлением 0,2-0,3 МПа, расположенную в подине ковша.

Для проведения эксперимента была выбрана кальций содержащая проволока $\phi 13$ мм, состоящая из механической смеси железной дроби 70% и 30% кальция. Длина вводимой проволоки составила 20 м, где общий вес кальция составил 3 кг.

Таблица № 1 – Химический состав стали марки 20 ГФЛ текущей плавки.

	C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Ni, %	Cu, %	V, %	Al, %
нормативный	0,17-0,25	0,9-1,40	0,3-0,5	Не более 0,03	Не более 0,04	Не более 0,3	Не более 0,3	0,07-0,13	0,02-0,06
текущий	0,2	1,089	0,39	0,016	0,016	0,1	0,12	0,064	0,03

Остаточное содержание Са в стали составило 0,001%.

По результатам проведенных механических испытаний временное сопротивление требуемое ОСТ 32.183-2001 не менее 490 МПа, фактическое 530 МПа, требуемый предел текучести от 294 до 343 МПа фактический 335 МПа, относительное удлинение требуемое не менее 20% фактическое 29%, относительное сужение требуемое 30% фактическое 45%, ударная вязкость КСЧ^{-60°C} требуемая не менее 24,5 Дж/см² фактическая 50,6 и 40,5 Дж/см². Ударная вязкость КСЧ^{-60°C} требуемая не менее 16,7 Дж/см² фактическая 17,7 и 17,1 Дж/см².

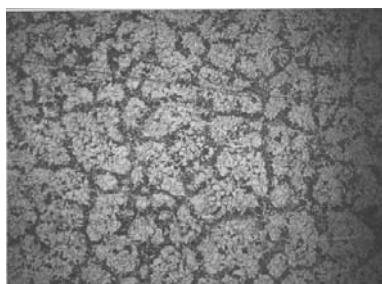


Рисунок 2

Металлографические исследования проводились после нормализации 935-960°C в проходной мазутной печи. Микроструктура ферритно-перлитная, мелкозернистая, с выделением перлита в виде перлитной сетки (рисунок 2). Величина зерна соответствует 8 баллу, шкалы 1 ГОСТ 5639-82. При металлографическом исследовании полированного образца из 25 полей зрения на одном обнаружено единичное глобулярное включение 2 группы (рисунок 3). На всех образцах наблюдались мелкие точечные оксидные включения, характерные 1 баллу ГОСТ 4967-2009. Микрошлифы рядовых плавках зачастую имеют 2 балл загрязненности (рисунок 4) стали неметаллическими включениями, среди которых присутствуют включения сульфидов и единичные включения алюмосиликатов.

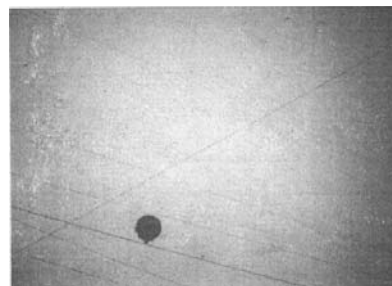


Рисунок 3 – Микрошлиф стали 20ГФЛ с единичным глобулярным включением. x100

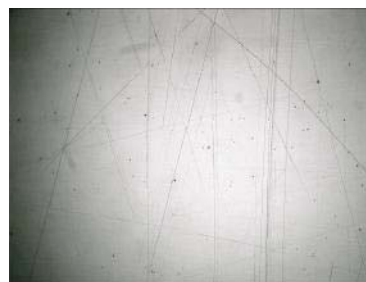


Рисунок 4 – Микрошлиф рядовой стали 20ГФЛ. x100

Выводы:

1. Применение кальций содержащей проволоки совместно с продувкой аргоном обеспечивает повышение чистоты стали по неметаллическим включениям в 2 раза.
2. Достигаются стабильные показания механических свойств. Показатели ударной вязкости, обеспечивающий характеристику работы развития трещины (КСЧ^{-60°C}), отличается схожимостью дублирующих испытаний, что свидетельствует об однородности стали.
3. Присутствующие включения в стали 20ГФЛ имеют сферическую благоприятную форму.

Список литературы:

1. Кудрин В.А. Внепечная обработка чугуна и стали. – М.: Металлургия, 1992. – 336 с.
2. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. – Магнитогорск, МГТУ 2000.
3. Д.А. Дюдкин, С.Ю. Бать, С.Е. Гринберг и др. Внепечная обработка расплава порошковыми проволоками. – Донецк, ООО «Юго-Восток», 2002.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Е. Ю. Татаркин, Ю. А. Кряжев, А. Ю. Кряжев, В. В. Ильиных
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

В настоящее время, несмотря на применение современного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), существуют операции, для выполнения которых применяется ручной труд. К таким операциям относится, в частности, снятие заусенцев после контурной обработки деталей. Как известно, применение ручного труда не позволяет обеспечить высокую степень постоянства параметров качества обрабатываемых деталей, снижает производительность обработки, приводит к повышенной травмоопасности на производстве. Таким образом, весьма перспективным направлением научных исследований является разработка и внедрение иглофрезерного инструмента на операциях снятия заусенцев.

Применение иглофрезерного инструмента для механизации операции снятия заусенцев предполагает решение следующих задач:

1. Выбор вида иглофрезерного инструмента (дисковый, торцовый или концевой для обработки внутренних поверхностей);
2. Разработка конструкции инструмента для условий обработки;
3. Лабораторные испытания инструмента с целью определения основных параметров режущих элементов (диаметр проволоки, длины вылета, коэффициент плотности проволочного ворса), режимов резания;
4. Расчет выходных технологических параметров (производительности, экономической эффективности и др.).

В рамках проведения научно-исследовательской работы по механизации процесса снятия заусенцев после контурной обработки детали «Шатун» на ОАО «Барнаултрансмаш» была разработана перспективная конструкция иглофрезы торцового типа (рисунок 1).

Режущие элементы иглофрезы изготавливались из пружинной проволоки ГОСТ 9389-75, изготовленной из стали 65Г по ГОСТ

1050-88 диаметром 0,5 мм, длиной вылета 30 мм, коэффициентом плотности проволочного ворса 0,7. Достоинством данной конструкции иглофрезы является возможность обработки фасонной поверхности с большим перепадом сопряженных поверхностей, что обеспечивается возможностью демпфирования режущих элементов в осевом направлении. Режимы резания выбирались на основании рекомендации работы [1]: продольная подача – 200 мм/мин, частота вращения – 400 об/мин.



Рисунок 1 – Общий вид иглофрезы для снятия заусенцев

Расчет трудоемкости обработки шатунов 1204-12А показал, что применение иглофрезерной обработки позволяет снизить основное время на операции по снятию заусенцев с 3,7 мин до 1,8 мин, вспомогательное время с 1,6 мин до 1 мин.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что внедрение механизированного процесса снятия заусенцев на основе применения иглофрезерного инструмента позволит снизить трудоемкость операции более чем в 2 раза, ликвидировать тяжелый ручной труд, снизить травмоопасность на рабочем месте.

Иглофрезерование является одним из перспективных методов отделочно-зачистной обработки (ОЗО). К основными достоинствам иглофрезерования можно отнести простоту конструкции и относительно низкую себестоимость изготовления инструмента, экологич-

ность по сравнению с химическими методами ОЗО. Анализ технической литературы показывает, что иглофрезерование может применяться как для зачистки, декоративной обработки так и для резания металлов, является перспективным методом формирования качества поверхностей деталей. Проведенные исследования [1] показывают, что обработка иглофрезерованием позволяет обеспечить высокое качество поверхностного слоя с параметрами $Ra=2...7,5$ мкм, $Rz=10...30$ мкм.

На этапе проектирования операции иглофрезерования одними из основных задач технолога являются определение основных конструктивно-геометрических параметров иглофрезы и назначение рациональных режимов резания с целью обеспечения задан-

ных параметров качества обрабатываемой поверхности. Для решения данных задач и снижение трудоемкости технологической подготовки производства (ТПП) необходима разработка методики проектирования операции иглофрезерования.

В соответствии с ГОСТ 2789-73 в качестве основных параметров качества поверхностного слоя для расчета были выбраны: среднеарифметическое отклонение профиля Ra , высота неровностей профиля по десяти точкам Rz и наибольшая высота профиля $Rmax$. Для определения выходных параметров шероховатости была построена расчетная схема процесса обработки плоской поверхности цилиндрической иглофрезой (рисунок 2).

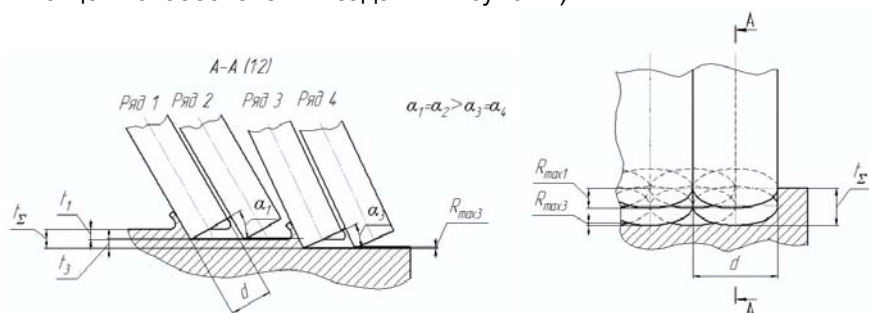


Рисунок 2 – Расчетная схема процесса иглофрезерования

В качестве входных параметров при иглофрезеровании были выбраны:

- диаметр режущих элементов (провода) d , мм;
- допуск на диаметральный размер режущих элементов в соответствии с ГОСТ 9389-75 и ГОСТ 14963-78;
- длина вылета режущих элементов l , мм;
- зазор между основанием иглофрезы и обрабатываемой поверхностью a , мм
- количество режущих элементов n , шт.

Глубина слоя, срезаемого i -м режущим элементом определялась как:

$$t_i = 0,5 \cdot d_i \cdot \sin \alpha_i, \text{ мм} \quad (1)$$

где d_i – диаметр i -ого режущего элемента, мм;

α_i – задний угол i -ого режущего элемента, градусы.

Наибольшая высота неровностей профиля рассчитывалась следующей формулой:

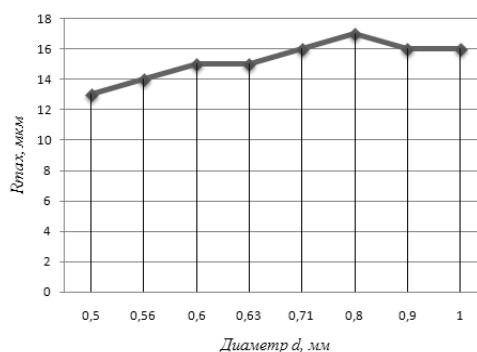
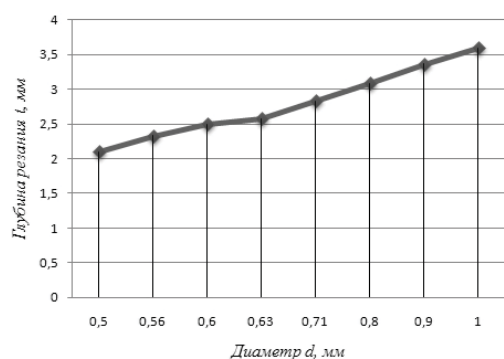
$$Rmax = \frac{d_i \cdot (1 - \sqrt{1 - 0,25 \cdot \sin^2 \alpha_i})}{2 \cdot \sin \alpha_i}, \text{ мм} \quad (2)$$

Расчет выходных параметров шероховатости поверхности и глубины срезаемого слоя показал, что наибольшая высота неровностей профиля $Rmax$ и глубина слоя t_i , срезаемого i -м режущим элементом уменьшается с увеличением его порядкового номера (рисунок 2). Это связано с тем, что по мере удаления срезаемого слоя увеличивается зазор a между основанием иглофрезы и обрабатываемой поверхностью, что, в свою очередь, приводит к изменению углов резания и профиля режущего элемента в поперечном сечении.

Рассматривая рисунки 3, 4 и 5, можно отметить, что величина $Rmax$ и глубина слоя t_i , срезаемого i -м режущим элементом уменьшаются при:

- уменьшении диаметра d режущих элементов;
- увеличении длины l режущих элементов;
- увеличении зазора a между основанием иглофрезы и обрабатываемой поверхностью.

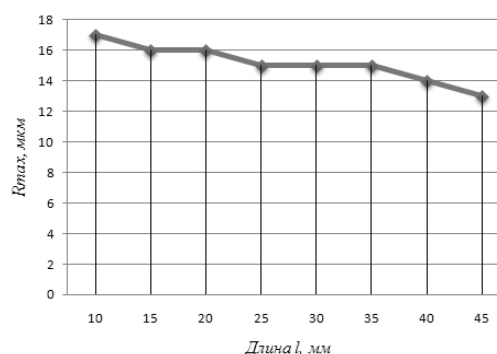
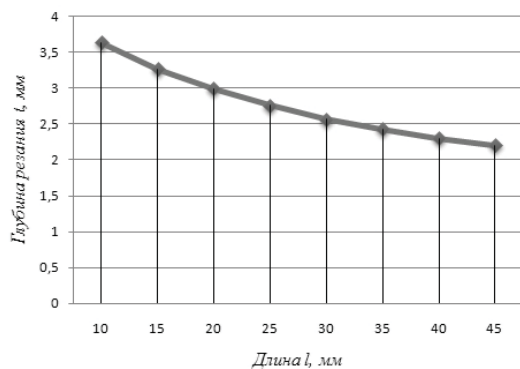
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



а)

б)

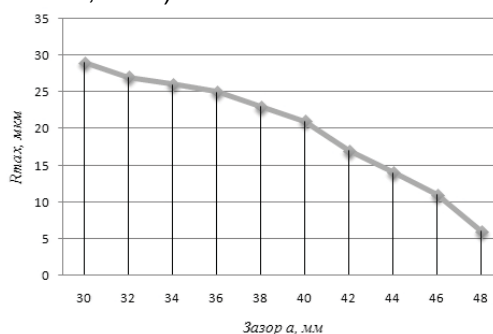
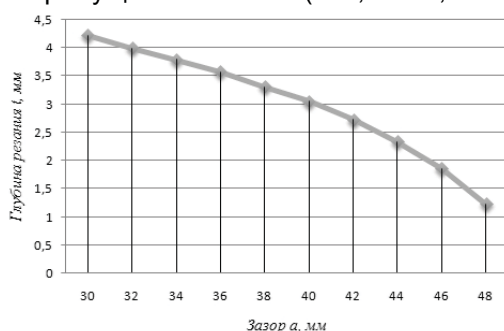
Рисунок 3 – Зависимости глубины резания t (а) и наибольшей высоты профиля R_{max} (б) от диаметра d режущих элементов ($l=30$ мм, $a=25$ мм, $n=40$)



а)

б)

Рисунок 4 – Зависимости глубины резания t (а) и наибольшей высоты профиля R_{max} (б) от длины l режущих элементов ($d=0,63$ мм, $a=5...40$ мм, $n=40$)



а)

б)

Рисунок 5 – Зависимости глубины резания t (а) и наибольшей высоты профиля R_{max} (б) от величины зазора a между основанием иглофрезы и обрабатываемой поверхностью ($d=0,63$ мм, $l=50$ мм, $n=40$)

Таким образом, разработана методика расчета выходных параметров шероховатости поверхности и глубины срезаемого слоя при иглофрезеровании, позволяющая определить основные конструктивно-геометрические параметры иглофрезы и назначить рациональные режимы резания на этапе ТПП.

Список литературы:

1. Кряжев Ю.А., Кряжев А.Ю., Огневенко Е.С. Повышение качества обрабатываемой поверхности при иглофрезеровании на основе научно-теоретических и практических исследований процесса резания. Ползуновский вестник №1/1 2012 .

ВЕНТИЛИРУЕМАЯ ЭКОЛОГИЧНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ КАПСУЛА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

А. А. Самокрутов

Тольяттинский государственный университет,
г. Тольятти, Россия

Силовые трансформаторы являются одними из многочисленных источников шума на селитебных территориях населенных пунктов, производственных зонах предприятий, технических помещениях жилых и общественных зданий торговых центров и т.п., производящих акустическое загрязнение окружающей среды и подвергающих негативному воздействию значительные части населения в отношении ухудшения их здоровья и самочувствия (ухудшению качества жизни).

Доминирующим источником шумового излучения трансформаторов являются динамические магнитные и магнитострикционные процессы, сопровождающиеся виброакустическими колебаниями пластин сердечника трансформатора. В данный динамический процесс вовлекаются присоединенные к сердечнику элементы трансформатора как жесткими путями передачи – через многочисленные вибрационные мостики, так и воздушными и жидкостными путями передачи (через масло к стенкам бака).

Определенный вклад в формирование общего виброакустического поля трансформатора вносит вентиляторная установка, предназначенная для его охлаждения путем принудительной циркуляции воздуха. Спектр шумового излучения типичной конструкции силового трансформатора характеризуется выделяющимися гармоническими составляющими 100, 200, 300, 400 Гц, кратными частоте напряжения сети и широкополосной высокочастотной областью 1000...3000 Гц.

Регламентируемой шумовой характеристикой силовых трансформаторов является скорректированный уровень звуковой мощно-

сти L_{PA} в дБА (ГОСТ 12.2.024-87. «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля»). Он определяется по результатам инструментальных измерений шумомерами уровней звука на заданных расстояниях от поверхностей его корпуса. Акустические испытания (измерения уровней звука в дБА) производят в режиме холостого хода при номинальной частоте и напряжении синусоидальной формы.

Маркетинговое позиционирование отдельных классов силовых трансформаторов как малошумных, находится в диапазоне общих уровней шума (общих уровней звука, замеренных с учетом корректировки А шумомера) составляющих 50...60 дБА. Следует указать также, что допустимые значения общих уровней шума на территориях жилой застройки (на которых могут также находиться силовые трансформаторы) в ночное время составляет 40 дБА (СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых общественных зданий и на территории жилой застройки». М.: Минздрав России, 1997).

Проведенные нами аналитические исследования указывают, что одним из наиболее радикальных по эффективности техническим приемом подавления шумового излучения источников является их акустическое капсулирование. Типичная конструкция акустической капсулы представляет собой замкнутую коробчатую оболочку, полностью охватывающую источник шумового излучения (рисунок 1).

ВЕНТИЛИРУЕМАЯ ЭКОЛОГИЧНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ КАПСУЛА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

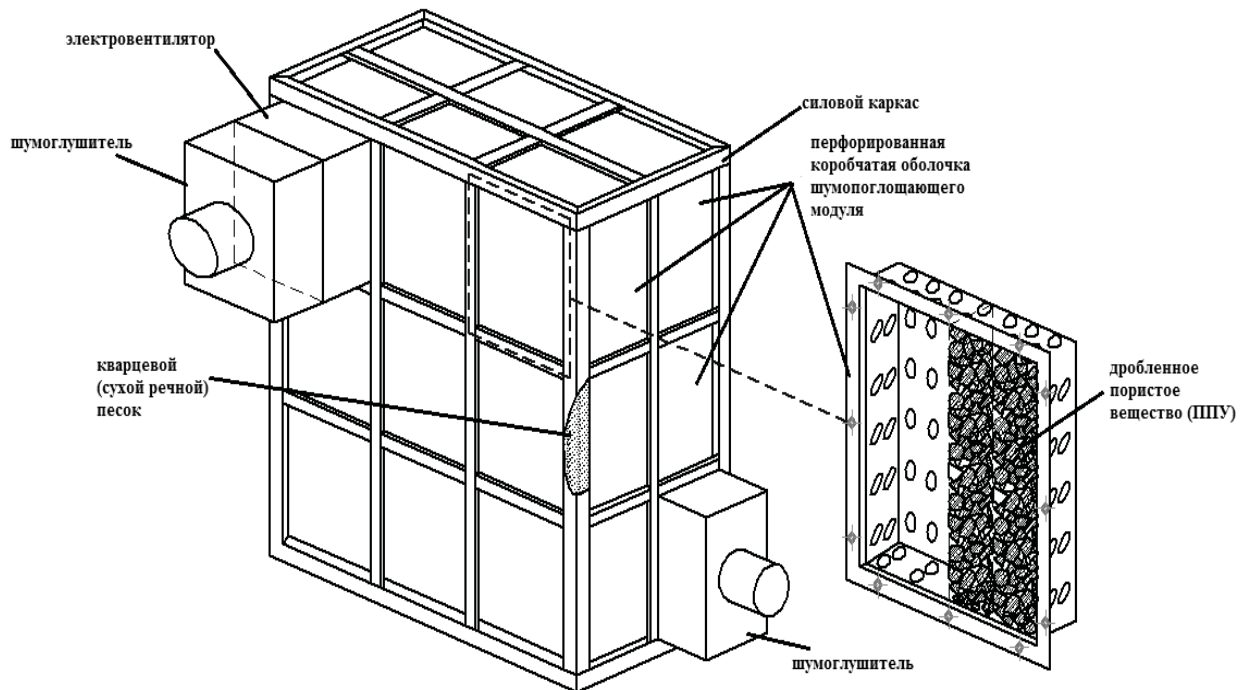


Рисунок 1

Как показал проведенный информационный анализ, в качестве типичных шумопоглощающих методов, реализуемых в устройствах трансформаторов являются: – ограничение степени «распушения» шихтованных элементов магнитопроводов путем уплотненной прессовки и равномерного сжатия пластин, уменьшение поверхности акустического излучения, устранение конструктивных и технологических несимметрий в магнитопроводах и обмотках, уменьшение индукции в сердечниках, применение маломангнетострикционных сталей с повышенным, более 4% содержанием кремния в железе, применение безстыковых конструкций, достижение максимальной продольной и поперечной жесткости путем качественной штамповки и склейки листов, сборки и стяжки сердечника составной конструкции, использование холоднокатаных листов стали с ориентированной зернистой структурой, однородных по магнитным и механическим свойствам, исключая разнотолщинность, волнистость и заусенцы, исключение в составе одного комплекта листов различной сортности и технологии изготовления, применение рациональных схем соединения обмоток, виброизолированное крепление сердечника к днищу бака, применение настроенных динамических гасителей колебаний и т.д.

Следует указать, что приведенные выше типичные конструктивно-технологические виброакустические усовершенствования обладают шумопоглощающими эффектами не превышающими 3 дБА. В это же время, эффективная конструкция акустической капсулы силового трансформатора, по нашим оценкам, составит 15...20 дБА, что позволит удовлетворить показателям маркетинговых оценок и требований Санитарных норм.

Для проверки шумопоглощающих характеристик акустической капсулы мы использовали это устройство в меньшем масштабе и экспериментально испытывали его в лаборатории – стендовой установке «Кабина Альфа». Она используется для определения звукопоглощающих характеристик крупномасштабных образцов материалов реверберационным методом. Оценочными параметрами являются «реверберационный коэффициент звукопоглощения» α , и «площадь эквивалентного поглощения» A .

Реверберационный метод определения звукопоглощающих характеристик материалов и деталей основан на сопоставлении регистрируемой времени реверберации диффузного звука в пустой реверберационной камере и в реверберационной камере с помещенным в ней образцом исследуемого звукопоглощающего материала с выраженной

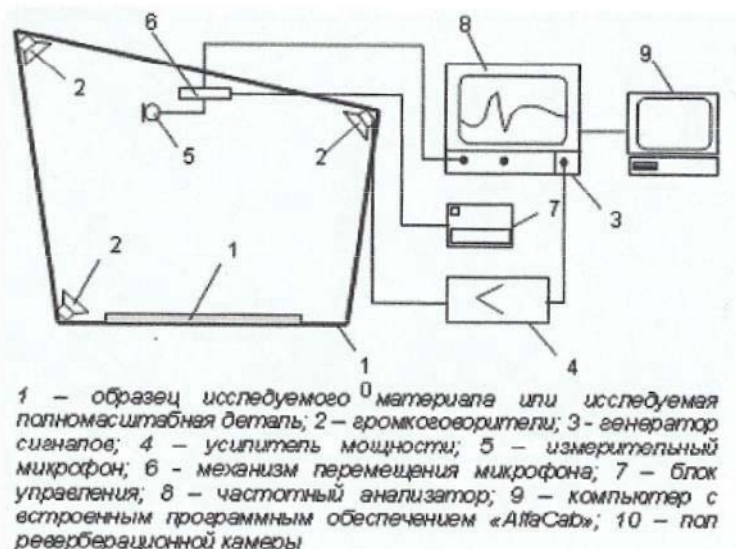
функцией звукопоглощения. Время реверберации определяется по кривой спада уровня звукового давления на 60 дБА.

$$\alpha_r = 55,3 \frac{V}{S \times c} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \times 0,92$$

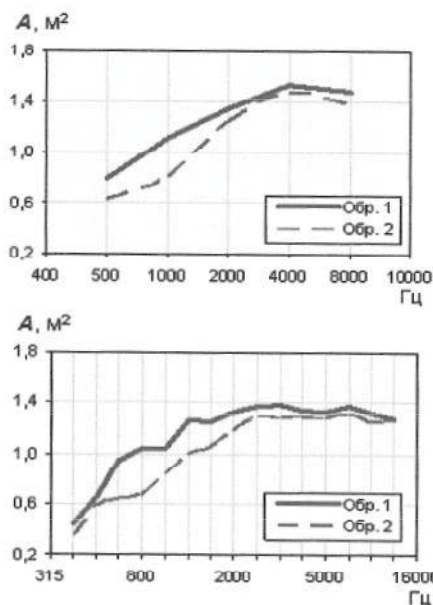
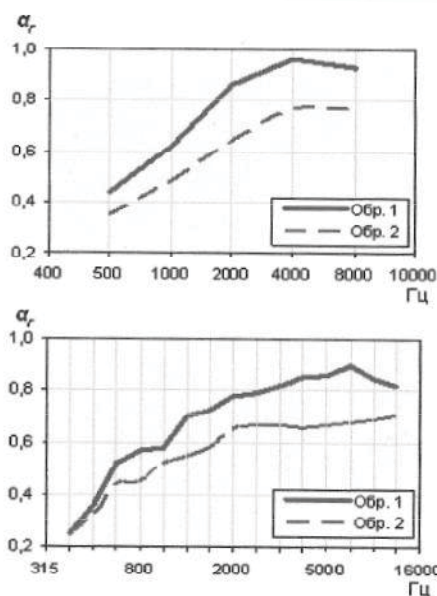
$$A = 55,3 \frac{V}{c} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right), \text{ м}^2$$

V – объем пустой реверберационной камеры, м³; c – скорость распространения звука

в воздухе, м/с; S – площадь лицевой поверхности испытываемого образца, м²; T₁ – время реверберации пустой камеры, без исследуемого образца, с; T₂ – время реверберации камеры, содержащей исследуемый образец, с.



Примеры определения звукопоглощающих характеристик (α_r и A) в октавной и 1/3-октавной полосах частот для двух образцов (обр. 1 и обр. 2) исследуемых материалов.



Разработка эффективной концептуальной схемы акустической капсулы, наделенной высокими шумозаглушающими и приемлемыми эксплуатационными характеристиками, удобством обслуживания, улучшенными экологическими характеристиками, с обеспечением снижения стоимости используемых пористых звукопоглощающих веществ посвя-

щена данная научно-техническая разработка. Предложенная концептуальная схема акустической капсулы силового трансформатора представляет собой сборный модуль, включающий силовой несущий пространственный каркас, составленный из пустотелых трубчатых элементов, полости которых заполнены сыпучим виброшумодемпфирующим веще-

ВЕНТИЛИРУЕМАЯ ЭКОЛОГИЧНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ КАПСУЛА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

ством типа кварцевого (сухого речного) песка, а к указанным несущим элементам закреплены замкнутые коробчато-полостные элементы, заполнены пористым звукопоглощающим веществом в виде дробленых фрагментированных элементов заданных габаритных размеров, произведенных из рециклируемых материалов, содержащихся в составе шумоизоляционных пакетов, демонтированных из штатных технических объектов (преимущественно шумоизоляционных пакетов, автотранспортных средств), завершивших свой жизненный цикл и в связи с этим подвергавшихся утилизации. Стенки замкнутых коробчато-полосных элементов, со стороны замкнутой полости акустической капсулы выполнены перфорированными с коэффициентом перфорации $K_{\text{пер}} \geq 0,2$, что обеспечивает их достаточную звукопрозрачность для обеспечения свободного распространения звуковых волн в полости с пористым звукопоглощающим веществом. Внутри замкнутых коробчато-полостных элементов могут находиться разделительные перегородки перфорированной конструкции.

Такого типа акустическая капсула оборудована двумя глушителями аэродинамического шума, монтируемыми в зонах входного (со стороны установки электровентилятора) и со стороны выходного вентиляционных кана-

лов. В полости акустической капсулы установлен термодатчик с системой автоматического «включения – отключения» работы электровентилятора, для обеспечения оптимального температурного эксплуатационного режима силового трансформатора.

Рассматриваются разнообразные конструктивные элементы и материалы в составе акустической капсулы улучшающие её эксплуатационные, долговечностные, экологические характеристики (адгезивы, антипирены, защитные звукопрозрачные пленочные и/или тканевые покрытия, брикетированные пористые дробленые фрагментированные звукопоглощающие элементы в составе заданных формообразованных структур, виброшумодемпфирующие ламинаты поверхностей стенок замкнутых коробчато-полосных элементов).

Список литературы:

1. ГОСТ 12.2.024-87. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Минздрав России, 1997

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ХАРРИНГТОНА ПРИ ЭКСТРУЗИОННОЙ СВАРКЕ ЛИСТОВ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА МАРКИ ПЭНД

¹Б. И. Мандров, ¹С. Д. Бакланов, ¹Д. Д. Бакланов, ²А.С. Влеско,
²А. Н. Путивский, ³С.Д. Сухинина

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

²ОАО «ТЕХПОЛИМЕР», г. Красноярск, Россия

³ОАО ПМСК г. Барнаул т, г. Барнаул, Россия

Как было показано в работе [1] одним из способов соединения полиэтиленовых листов в геомембранах является ручная экструзионная сварка. Несмотря на то, что экструзионная сварка известна достаточно давно рекомендации, в справочной литературе по выбору параметров режима, имеют характер общих рекомендаций, требующих экспериментального уточнения. При этом следует отметить, что критерии оценки результатов экспериментов достаточно трудоемки, а по оценке характера скольжения насадки во многом субъективны.

При ручной экструзионной сварке полиэтиленовых листов (рисунок 1) формирование шва определяется параметрами режима – температурой экструдированной присадки и температурой воздуха подаваемого от нагревателя впереди насадки.



Рисунок 1 – Экструзионная сварка полиэтиленового листа марки ПЭНД

В тоже время, при сварке оператор перемещает экструдер, вдоль стыка опирая его нагретой насадкой на полиэтиленовый лист. Между насадкой и листом возникает трение, что приводит к образованию волны и затруд-

нению в перемещении экструдера. Этому же способствует высокая температура в зоне сварки.

Скольжение насадки по поверхности листа с ростом температуры экструдированной присадки улучшается, но это приводит перегреву листа и ухудшению формирования шва. Если для оценки шва после экструзионной сварки при визуальном и измерительном контроле критерии могут быть сформулированы либо в виде размеров шва (количественные критерии), либо в виде ограничений (отсутствие надрывов, гладкое формирование - качественные критерии), то для оценки скольжения критерии не формулировались (субъективные критерии). Такое положение дел затрудняет проведение экспериментов по коррекции режима сварки и оценку их результатов и требует принятия компромиссного решения по количественным, качественным и субъективным критериям. Сравнение нескольких показателей, имеющих разные единицы измерения, затрудняет выбор наилучшего сочетания параметров из нескольких возможных.

По нашему мнению для решения этой проблемы может быть использована обобщенная функция желательности Харрингтона. В данной работе обсуждаются результаты экспериментов отработки параметров режима с использованием выше названного метода.

В основе построения обобщенной функции лежит идея преобразования полученных значений показателей свойств (в различных единицах измерения, в том числе с качественными, эстетическими, психологическими и личностными характеристиками) в безразмерную шкалу желательности. Назначение шкалы желательности - установление соответствия между полученными значениями

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ХАРРИНГТОНА ПРИ ЭКСТРУЗИОННОЙ СВАРКЕ ЛИСТОВ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА МАРКИ ПЭНД

показателей свойств, режимов и оценками экспериментатора желательности того или иного показателя процесса. Стандартные отметки по шкале желательности не являются строго обязательными. В наших экспериментах использовались следующие градации функции желательности (таблица 1).

Таблица 1 - Стандартные отметки по шкале желательности

Желаемая оценка	Отметки по шкале желательности
Очень хорошо	1,00-0,80
Хорошо	0,80-0,63
Удовлетворительно	0,63-0,37
Плохо	0,37-0,20
Очень плохо	0,20-0,00

Выбор отметок на шкале желательности 0,63 и 0,37 объясняется удобством вычислений: $0,63 = 1 - (1/e)$, $0,37 = 1/e$. Для получения единой, обобщенной оценки необходимо задать наиболее желательными значениями отдельных принятых к анализу показателей (количественных, качественных, субъективных и др.). Эти значения для отдельных показателей можно установить либо по рекомендациям, стандартам, либо по значениям, установленным на предварительной стадии эксперимента. На первой стадии необходимо установить границы допустимых значений (для «удовлетворительного» или «отличного» результата). Если такие данные отсутствуют, то ограничения для показателей делаются на основании опыта и прогностической интуиции экспериментатора.

В зависимости от «качества» показателя можно устанавливать односторонние или двусторонние ограничения. Если улучшение общей характеристики происходит только при однонаправленном изменении показателя (уменьшении или увеличении) - ограничение носит односторонний характер. Если изменение параметра вероятно в обе стороны от оптимальных значений, то ограничение должно носить двусторонний характер.

При проведении наших экспериментов с использованием функции желательности в качестве основы были приняты значения параметров режима, из диапазона рекомендуемых в справочной литературе и наших предварительных экспериментов. Поскольку изменение параметра режима сварки от опти-

мальных значений, изменение параметра от оптимальных значений может носить двусторонний характер, то ограничение на функции желательности также принято двусторонним. В качестве ограничений для каждого интересующего нас показателя (комплексного показателя оценки качества сварного шва с помощью ВИК и скольжения насадки экструдера) приняты значения функции желательности не менее 0,7. Такое же значение (0,7) принято для обобщенной функции желательности, применяемой при оценке компромиссного решения по количественным, качественным и субъективным критериям при выборе режима экструзионной сварки и вычисляемой по формуле 1.

$$D = \sqrt{d_1 \times d_2}, \quad (1)$$

где d_1, d_2 – соответственно желательности качества при ВИК и скольжения насадки.

В экспериментах участвовало три эксперта, при этом один эксперт производил сварку и оценивал качество сварного соединения и характер скольжения, а два эксперта оценивали только качество сварного соединения. В дальнейшем эксперты производили сварку, сменяя друг друга, что позволяло уменьшить влияние субъективных факторов на оценку характера скольжения. Оценка производилась по вышеуказанной шкале в таблице 1, включающей также фактические значения параметров режима сварки.

Эксперименты проводились на листах из полиэтилена (толщина 0,6; 1,0 и 1,6 мм) и присадочном прутке (диаметр 3,0 мм) марки ПЭНД. Насадка экструдера ступенчатого типа, соединения нахлесточные. В задачу эксперимента входило показать, что обобщенная функция желательности Харрингтона может быть использована для подобного класса задач. В таблице 2 приведены результаты экспериментов по определению выше-названной функции одного из экспертов. Аналогичные эксперименты проводились и для других экспертов.

Как видно из таблицы 2 ограничения функция желательности Харрингтона и параметров режима носят двухсторонний характер с выраженным максимумом. Опыты, в которых значение функции желательности было менее установленной нормы, в даль-

нейшем не рассматривались. Параметра режима сварки, обеспечивающие наибольшее

значение обобщенной функции приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Экспериментальные значения параметров режима и функции желательности

№ опыта	Толщина листа, мм	Температура расплава, °С	Температура нагретого воздуха °С	Экспертная оценка скольжения 0-1,0 (один эксперт)	Экспертная оценка ВИК сварного шва 0-1,0 (три эксперта)
1	1,0	260	160	0,6	0,6
2	1,0	260	170	0,8	0,8
3	1,0	260	180	0,8	0,6
4	1,0	260	190	0,7	0,55
5	1,0	250	180	0,7	0,8
6	1,0	250	190	0,85	0,83
7	1,0	250	200	0,7	0,67
8	1,0	250	210	0,6	0,62
9	1,0	240	190	0,72	0,7
10	1,0	240	200	0,85	0,9
11	1,0	240	210	0,87	0,65
12	1,0	240	220	0,7	0,6
13	1,0	220	190	0,56	0,58
14	1,0	220	200	0,6	0,6
15	1,0	220	210	0,78	0,75
16	1,0	220	220	0,7	0,6

Таблица 3 – Значение обобщенной функции желательности Харрингтона

№ опыта (таблица 2)	Толщина листа, мм	Температура расплава, °С	Температура нагретого воздуха °С	Значение обобщенной функции желательности
2	1,0	260	170	0,8
5	1,0	250	180	0,75
6	1,0	250	190	0,84
9	1,0	240	190	0,71
10	1,0	240	200	0,87
15	1,0	220	210	0,76

Выводы:

1. При отработке режима экструзионной сварки полиэтиленовых листов целесообразно использовать методы компромиссной оценки результатов действий.
2. Обобщенная функция желательности Харрингтона позволяет получить хорошие результаты при небольшом количестве экспериментов.

Список литературы:

1. Сварка и контроль качества соединений противофльтрационных устройств/Б.И. Мандров [и др.]/Ползуновский альманах №4/2011, с. 65-68.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ И СТРУКТУРУ ПОКОВОК ПРИ ПОЛУГОРЯЧЕЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

М. М. Радкевич, Д. Ю. Фомин

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
г. Санкт-Петербург, Россия

Работоспособность стальных изделий, получаемых штамповкой по режимам полугорячей термомеханической обработки, определяется в первую очередь механическими свойствами изделий – их прочностью и пластичностью, которые находятся в определенной зависимости от состава, строения и структуры металла.

Целенаправленное регулирование параметрами техпроцесса полугорячей термомеханической обработки обеспечивает достижение требуемой структуры и свойств поковок. Основными параметрами процесса штамповки с применением ПТМО являются температура деформирования (T_d), степень деформации (ϵ) и время последеформационной паузы (τ_n).

В литературе имеется информация о влиянии последеформационной паузы на структуру изготовленных изделий штамповкой на кривошипном горячештамповочном прессе в условиях ПТМО {1}. В нашем случае

стояла задача оценки влияния температуры деформирования и степени деформации на свойства стальных поковок при штамповке по режимам полугорячей термомеханической обработки на КГШП. В качестве исследуемых сталей были выбраны следующие марки 40Х, 20Х13, 08Х18Н10Т – представители трех основных структурных классов. Для решения поставленной задачи требовалось определить механические свойства поковок, изготовленных штамповкой из заготовок (рисунок 1) по режимам полугорячей термомеханической обработки по следующему температурно-временной циклу [2]: аустенизация при $T_n = A_{c3} + (350 \dots 400)^\circ\text{C}$, последующее охлаждение до температуры деформации и деформация при $T_d = A_{c3} + (150 \dots 250)^\circ\text{C}$, деформация сжатием со скоростью 5 с^{-1} с заданной степенью деформации $\epsilon = 20\text{-}60\%$, последеформационная пауза 20(ст.08Х18Н10Т) – 30(ст.40Х, 20Х13) сек., охлаждение в масло, отпуск (в соответствии с ТУ).

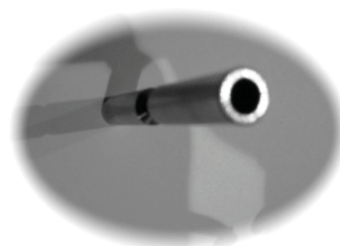
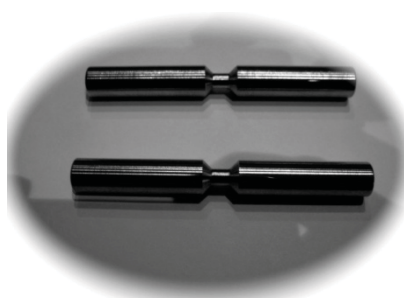


Рисунок 1 – Заготовки

Реализация режимов полугорячей термомеханической обработки осуществлялась в результате проведения физического моделирования техпроцесса на лабораторном пластометре Gleeble 3800. В качестве варьируемых параметров были выбраны: температура деформирования в диапазоне от $A_{c3} + 150^\circ\text{C}$ до $A_{c3} + 250^\circ\text{C}$, степень деформации в интер-

вале 20% - 60%.

Для стали 40Х была проведена полугорячая термомеханическая обработка с температурами деформирования $T_d = 950^\circ\text{C}$ и $T_d = 1050^\circ\text{C}$ по режиму: нагрев до $T_n = 1200^\circ\text{C}$, аустенизация; свободное охлаждение до 950°C со скоростью 30°C/сек ; деформация

по достижении T_d с степенью деформации в диапазоне $\varepsilon=20-60\%$ с шагом 10% , скорость деформации 5 с^{-1} ; последеформационная пауза 30 сек. ; закалка в масле со скоростью 100°C/сек. ; отпуск при $T=520^\circ\text{C}$, охлаждение в масле.

Для стали 20Х13 была проведена полугорячая термомеханическая обработка с температурами деформирования $T_d=1050^\circ\text{C}$ и $T_d=1150^\circ\text{C}$ по режиму: нагрев до $T_n=1200^\circ\text{C}$, аустенизация; свободное охлаждение до T_d со скоростью $15-20^\circ\text{C/сек.}$; деформация по достижении T_d с степенью деформации в диапазоне $\varepsilon=20-60\%$ с шагом 10% ; последеформационная пауза 30 сек. ; закалка в масле, со скоростью $100-120^\circ\text{C/сек.}$; отпуск при $T=450^\circ\text{C}$, свободное охлаждение на воздухе.

Для стали 08Х18Н10Т была произведена полугорячая термомеханическая обработка с температурами деформирования $T_d=1000^\circ\text{C}$ и $T_d=1100^\circ\text{C}$ по режиму: нагрев до $T_n=1200^\circ\text{C}$, аустенизация; свободное охлаждение до T_d со скоростью 10°C/сек. ; деформация по достижении T_d с степенью деформации в диапазоне $\varepsilon=20-60\%$ с шагом 10% ; скорость деформации 5 с^{-1} ; последеформационная пауза - 20 сек. ; охлаждение в масле со скоростью 100°C/сек.

Нагрев образцов производился электрическим током. При этом температура и скорости охлаждения контролировались термопарами, приваренными в двух точках рабочей части образца (рисунок 2). Одна из термопар была управляющей. Заданная температура в процессе проведения эксперимента выдер-

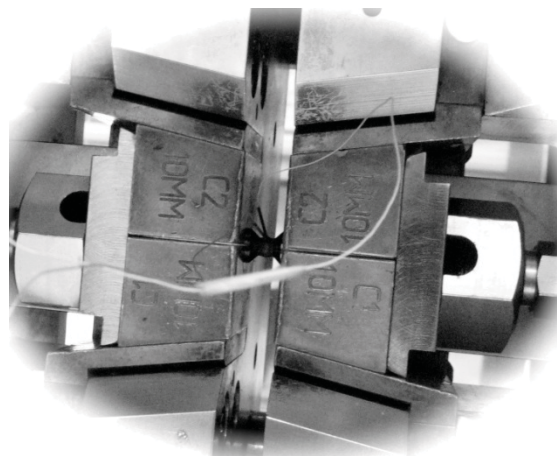


Рисунок 2 – Рабочий узел

живалась с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. Охлаждение производилось за счет теплоотвода водоохлаждаемых медных захватов, в которых закреплялся опытный образец. Усилия деформирования, а также продольная и поперечная деформации записывались с помощью соответствующих тензодатчиков.

Анализ влияния степени деформации при заданной температуре полугорячей термомеханической обработки на прочность стали производился сравнением результатов механических испытаний образцов, полученных в процессе проведения эксперимента по физическому моделированию. Результаты зависимости предела прочности от степени деформации при разных температурах деформирования для исследуемых сталей представлены на графиках (рисунок 3).

Анализ зависимостей показал, что с увеличением степени деформации в диапазоне $20-35\%$ наблюдается устойчивый рост прочности стали, который достигает своего максимума в конце диапазона. Так выявлено, что максимум прочности у образцов из ст.40Х наблюдается при штамповке со степенью деформации $28-32\%$; из ст.20Х13 при штамповке со степенью деформации $30-32\%$; из ст.08Х18Н10Т при штамповке со степенью деформации $32-34\%$. Дальнейшее увеличение степени деформации инициирует процесс разупрочнения. При этом необходимо отметить, что осуществление штамповки по режимом полугорячей термомеханической обработки в диапазоне температур деформации $T_d = A_{c3}+150^\circ\text{C}$ позволяет получить изделия с повышенным пределом прочности. Так рост прочности наблюдался для стали 20Х13, который составил 11% , для стали 40Х – $3,5\%$; для стали 08Х18Н10Т – $2,5\%$. Таким образом, значения параметров $T_d = A_{c3}+150^\circ\text{C}$ и $\varepsilon=30\%$ при осуществлении штамповки по режимам полугорячей ТМО были признаны оптимальными. С целью подтверждения выводов был проведен металлографический анализ структуры образцов(для оптимальных режимов)(рисунок 4).

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ И СТРУКТУРУ ПОКОВОК ПРИ ПОЛУГОРЯЧЕЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

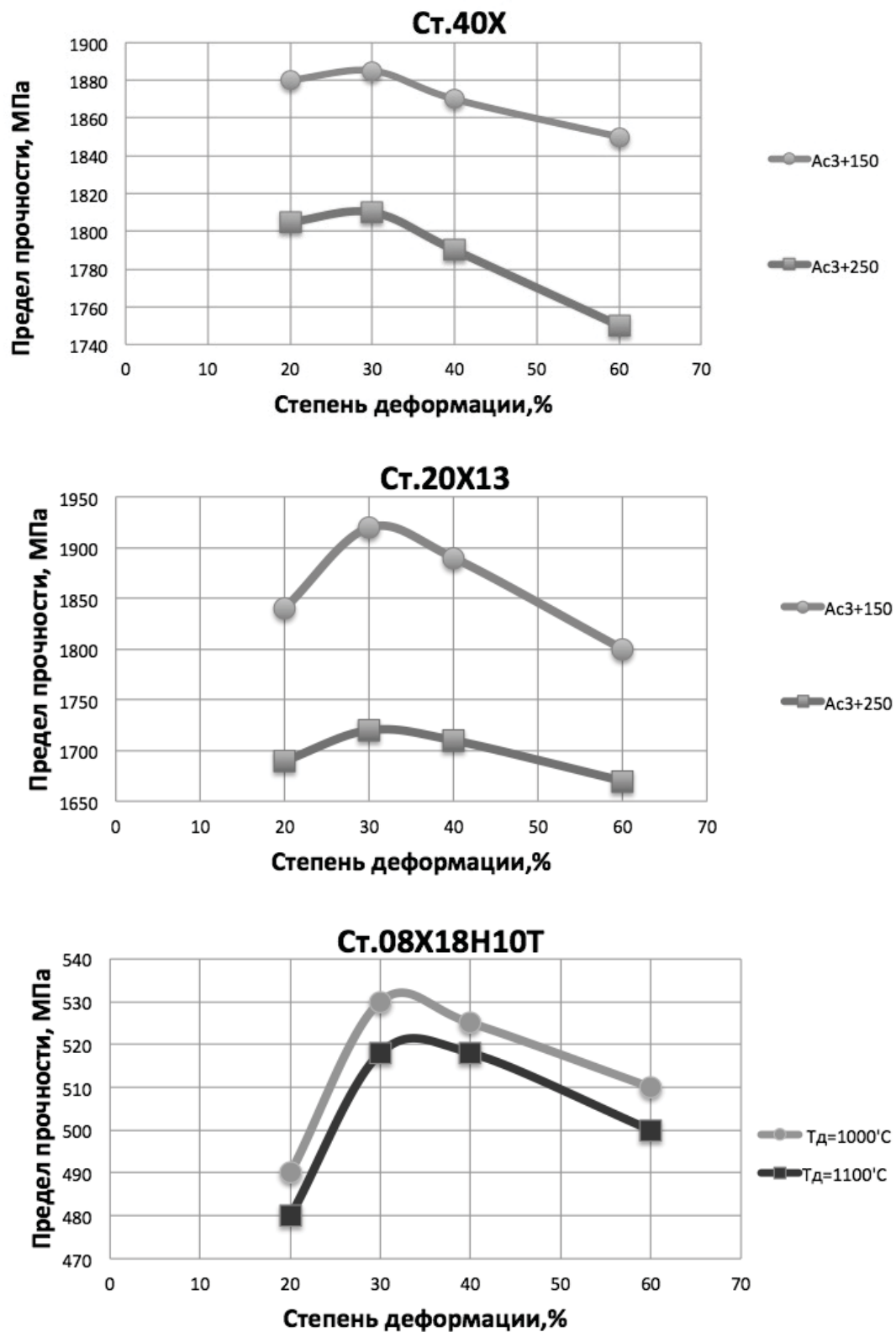


Рисунок 3 – Графики зависимости предела прочности стали 40X , 20X13 и 08X18N10T от степени деформации.

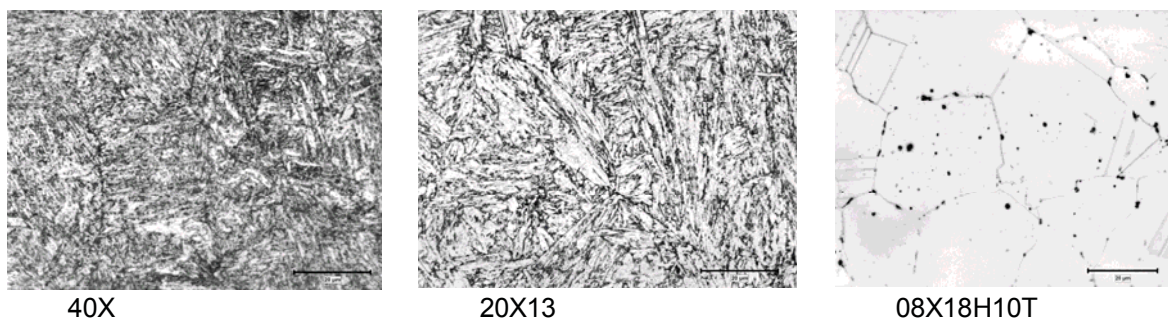


Рисунок 4 – Структура поковок, x1000

Металлографический анализ показал, что структура исследуемых образцов является однородной и мелкодисперсной при рекомендованных параметрах ТМО.

Итак, можно утверждать, что анализ влияния температуры деформирования и степени деформации на прочность и микроструктуру стали при полугорячей термомеханической обработке позволил установить, что с увеличением степени деформации в диапазоне $\epsilon=20-35\%$ и снижением температуры деформации в диапазоне от $T_d = A_{c3}+250^\circ\text{C}$ к $T_d = A_{c3}+150^\circ\text{C}$ в металле развиваются процессы упрочнения, которые достигают своего оптимального(высшего) значения в граничных точках соответствующего восходящего и нисходящего параметрического тренда. Дальнейшее увеличение степени деформации $\epsilon>35\%$ и температуры деформации $T_d > A_{c3}+150^\circ\text{C}$ инициирует в металле процессы разупрочнения.

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать при штамповке поковок на кривошипном горячештамповочном прессе по режимам полугорячей

термомеханической обработки назначать степень деформации для стали 40X, 20X13, 08X18H10T – 30%, а температуру деформации $T_d = A_{c3}+150^\circ\text{C}$ (ст. 40X, 20X13), а для стали 08X18H10T – 1100°C . Применение указанных режимов для изготовления поковок из исследуемых сталей полугорячей термомеханической обработкой способно повысить прочность изделий и обеспечить однородную, мелкодисперсную структуру металла.

Список литературы:

1. Радкевич М.М., Фомин Д.Ю. Влияние последеформационной паузы на структуру поковок при полугорячей термомеханической обработке. Современное машиностроение. Наука и образование: материалы 2-й Международной научно-практической конференции, СПб - 2012
2. Радкевич М.М. Технология упрочняющей программной механико - термической обработки. СПб. Изд-во Политехнического университета. – 2011.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ ПРИ ОБКАТЫВАНИИ УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

В. Н. Беляев

Бийский технологический институт,
г. Бийск, Россия

Существует метод обработки деталей поверхностно-пластическим деформированием, при котором усилие деформирования обеспечивается подачей технологической жидкости под давлением от гидростанции непосредственно на деформирующий шар – обкатывание с гидроприводом (рисунок 1).

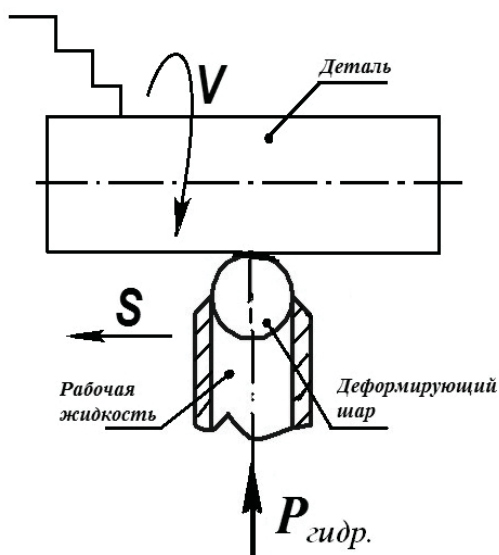


Рисунок 1 – Схема обкатывания с гидроприводом

водом

Проведенный структурный анализ выявил, что одним из факторов, влияющих на формирование качества поверхностного слоя при обкатывании с гидроприводом, являются характеристики технологической жидкости (рисунок 2). Для определения влияния характеристик технологической жидкости на качество поверхностного слоя изделия, решались следующие задачи:

1. Установить зависимости шероховатости поверхностного слоя деталей от режимов обработки, в частности давления технологической жидкости;

2. Исследовать возможность формирования покрытий при обкатывании с гидроприводом введением солей меди в технологическую жидкость, т.к. одним из перспективных направлений обеспечения качества изделий является применение методов упрочняющей обработки с нанесением покрытий[1,2];

3. Определить влияние твердых частиц наполнителя, в частности нанотрубок, введенных в технологическую жидкость на шероховатость и микротвердость поверхностного слоя деталей.

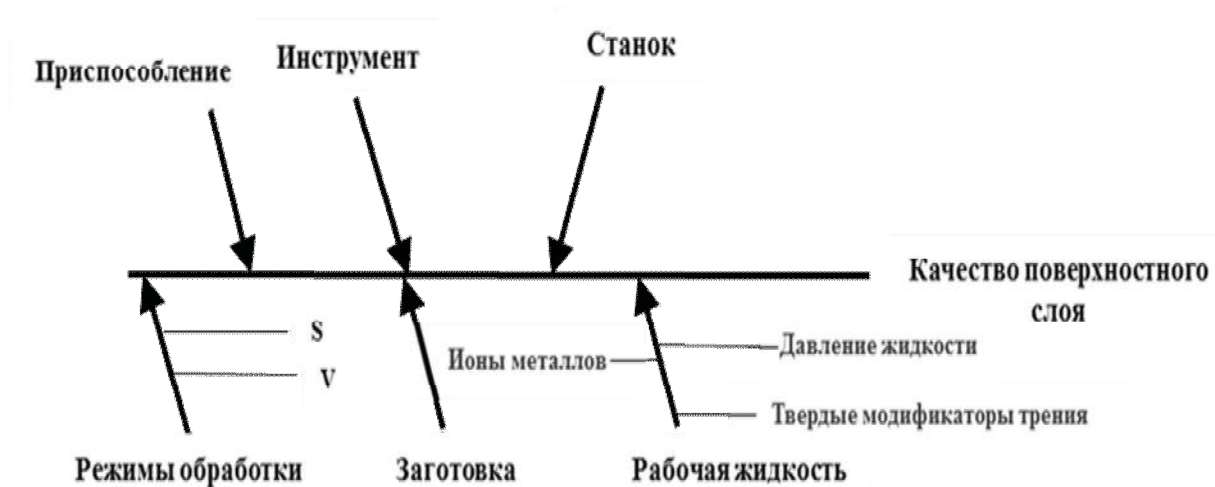


Рисунок 2 – Причинно-следственная диаграмма

В качестве экспериментальных использовались образцы диаметром 65 мм из стали 45 ГОСТ 1050-88, рабочая жидкость – масло И-40; глицерин с пятиводным сульфатом меди $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, твердый наполнитель – порошок УДАГ-С производства ОАО «ФНПЦ «Алтай» ТУ 84.415-115-2000. Обработка экспериментальных образцов производилась на токарно-винторезном станке 16К20Ф3. Шероховатость поверхности измерялась при помощи профилографа-профилометра модели 250 завода «Калибр» в соответствии с ГОСТ 19300-86. Измерения микротвердости по Виккерсу проводились в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 и ГОСТ 8.063-2007 при помощи твердомера Константа ТУ. Определение износостойкости образцов проводилась на машине трения СМТ-1 2070 по схеме ролик-шар. Пара трения «сталь–сталь с покрытием».

В результате исследований получены следующие результаты:

1. Определены зависимости шероховатость Ra поверхности деталей от режимных параметров обкатывания с гидроприводом (подача инструмента S_m , скорость обработки V , давление рабочей жидкости в гидросистеме P). Установлено, что обкатывание с гидроприводом позволяет снизить шероховатость поверхности с $Ra_{нач}$ 2,5 мкм после точения до $Ra_{кон}$ 0,6 мкм;

2. Практически показана возможность при обкатывании с гидроприводом одновре-

менно с упрочнением формировать на обрабатываемой поверхности медное покрытие, обеспечивающее повышение износостойкости изделий до 25%;

3. Показана эффективность введения наноглеродов в рабочую жидкость при обкатывании с гидроприводом с целью улучшение параметров качества поверхности деталей; а также установлены зависимости шероховатости и микротвердости поверхностного слоя от режимов обработки деталей обкатыванием с гидроприводом при введении различных концентраций наноглеродов в зону деформации. Введение наноглеродов позволяет уменьшить шероховатости поверхности с $Ra_{1,14}$ мкм (обкатывание без наноглеродов) до $Ra_{0,65}$ мкм (обкатывание с наноглеродами), а также увеличить микротвердость поверхности при обкатывании с 229 HV без наноглеродов до 265 HV и с наноглеродами.

Список литературы:

1. Берсудский А.Л. Технологическое обеспечение долговечности деталей машин на основе упрочняющей обработки с одновременным нанесением антифрикционных покрытий: дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08. – Саратов., 2008. – 294 с.
2. Сорокин В.М. Комбинированная антифрикционно-упрочняющая обработка деталей машин. Горький, ВСНТО, 1985, 92 с.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ВЕЛИЧИНУ УПРУГИХ И ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ДОРНОВАНИИ

И. С. Буканова, И. И. Ятло, О. Е. Еремина

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

В условиях производства при сборке неподвижных соединений типа «корпус-втулка», используются втулки разнообразных форм и размеров. Поэтому важно знать влияние конструктивных параметров деталей и самих узлов на величину упругих и остаточных де-

формаций элементов соединения.

С изменением размеров сопрягаемых деталей меняются и условия деформирования металла, что приводит к изменению величин деформаций по внутреннему и наружному диаметрам соединения.

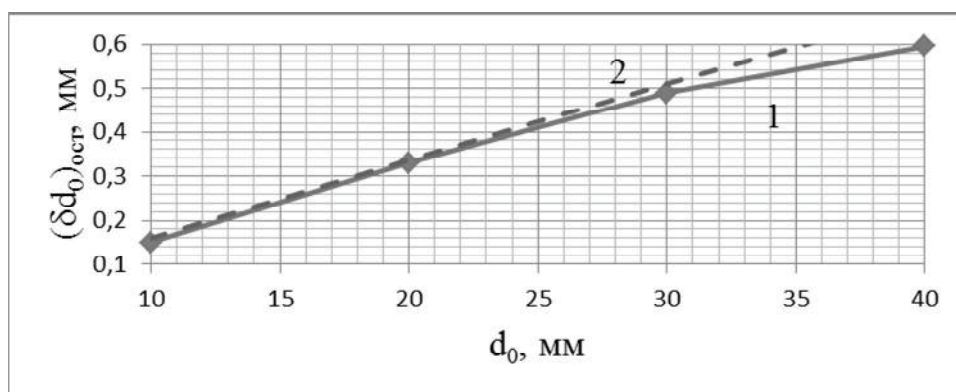


Рисунок 1 – Зависимость остаточной деформации по отверстию $(\delta d_0)_{ocm}$ от диаметра обрабатываемого отверстия d_0 при дорновании неподвижных соединений. Материалы втулки и корпуса – сталь 40X. ($d_1/d_0=1,6$; $D_1/D_0=2,0$; $i_d/d_0=0,02$). Зависимости: 1 - экспериментальная, 2 - теоретическая.

Увеличение номинального диаметра обработанного дорнованием отверстия неподвижного соединения вызывает рост абсолютной величины остаточных деформаций по внутреннему диаметру (рисунок 1). Однако, относительная величина $(\delta d_0)_{ocm}/d_0$ для всех размеров неподвижных соединений, составленных из одних и тех же материалов, примерно одинакова, для конкретного случая составляет 0,015.

Увеличение относительной толщины стенки втулки d_1/d_0 неподвижного соединения при обработке с одинаковым натягом дорнования вызывает уменьшение величины радиальных остаточных деформаций по внутреннему диаметру (рисунок 2). Зависимость показывает, что с увеличением относительной толщины стенки втулки с $d_1/d_0=1,2$ до $d_1/d_0=2,0$ величина $(\delta d_0)_{ocm}$ уменьшилась на

76%. По графику можно также установить, что после достижения некоторой предельной толщины стенки дальнейшее её увеличение не вызывает изменения величин остаточных деформаций по отверстию. Это явление вызывается превышением доли упругих деформаций над остаточными.

Как видно из графиков, теоретические и экспериментальные результаты исследований достаточно близки (рисунки 1, 2).

Увеличение относительных натягов до $i_d/d_0=0,04$ и изменение относительной толщины стенки втулки в пределах $d_1/d_0=1,2-1,4$ почти не изменяет значение величины $(\delta d_0)_{ocm}$ (рисунок 3). При дальнейшем увеличении относительных натягов наблюдается более значительное увеличение величин $(\delta d_0)_{ocm}$ у соединений с $d_1/d_0=1,2$. Остаточные деформации по наружному диаметру корпуса

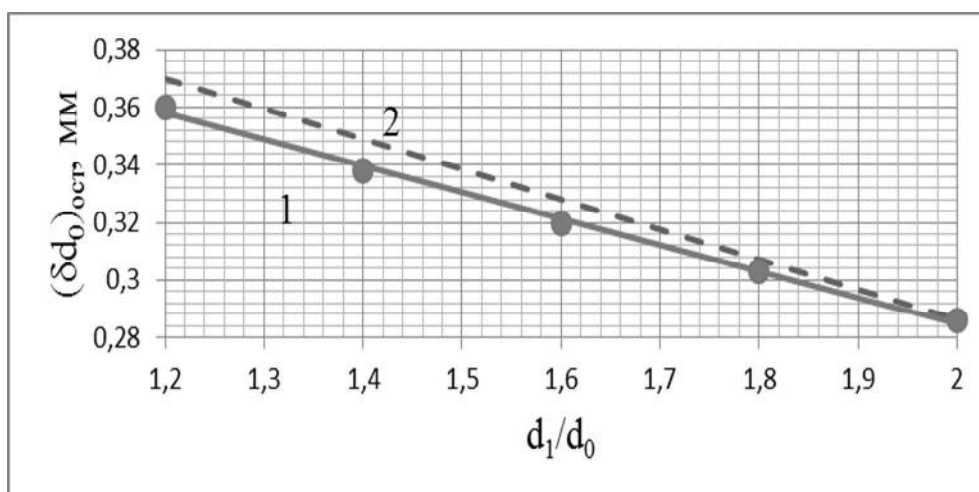


Рисунок 2 – Зависимость остаточной деформации по отверстию $(\delta d_0)_{ocm}$ от относительной толщины стенки втулки d_1/d_0 . Материалы втулки и корпуса сталь 45. ($d_0=10\text{мм}$; $D_1=40\text{мм}$; $i_d=0,5\text{мм}$). Зависимости: 1 – экспериментальная, 2 - теоретическая.

$(\delta D_1)_{ост}$ становятся значительно большими в соединениях с относительной толщиной стенки втулки $d_1/d_0=1,2$, чем с $d_1/d_0=1,4$ (рис.4). Упругая деформация $(\delta d_0)_y$ по внутреннему диаметру в принятых пределах значений относительных натягов, почти не изменяется с увеличением толщины стенки втулки (рисунок 5). Увеличение относительной толщины стенки корпуса незначительно изменяет значение величины $(\delta d_0)_{ocm}$ (рисунок 6), а при дорновании с относительным натягом $i_d/d_0=0,02$ на величины остаточных радиальных деформаций по внутреннему диаметру

не оказывает влияние ни толщина стенки корпуса, ни механические свойства материалов сопрягаемых деталей. С дальнейшим увеличением относительного натяга дорнования влияние относительной толщины стенки корпуса на величину $(\delta d_0)_{ocm}$ сказывается заметнее. Несколько иной характер имеет зависимость остаточной деформации корпуса $(\delta D_1)_{ocm}$ по наружному диаметру неподвижного соединения от относительного натяга дорнования и толщины стенки корпуса (Рисунок 7).

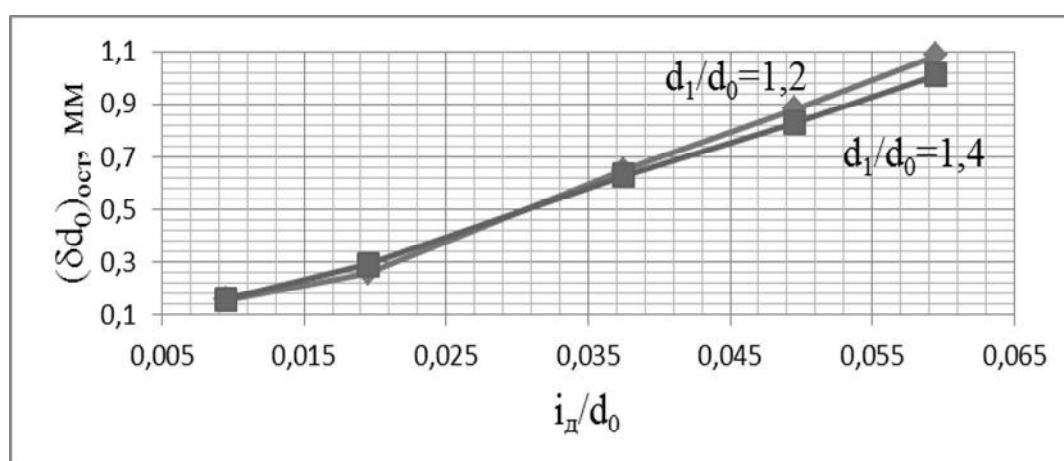


Рисунок 3 – Зависимость остаточной деформации по отверстию втулки $(\delta d_0)_{ocm}$ от относительного натяга дорнования i_d/d_0 . Материалы: втулки латунь ЛС59-1, корпуса – сталь 40Х. ($d_0=20\text{мм}$; $D_1/D_0=1,6$)

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ВЕЛИЧИНУ УПРУГИХ И ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ДОРНОВАНИИ

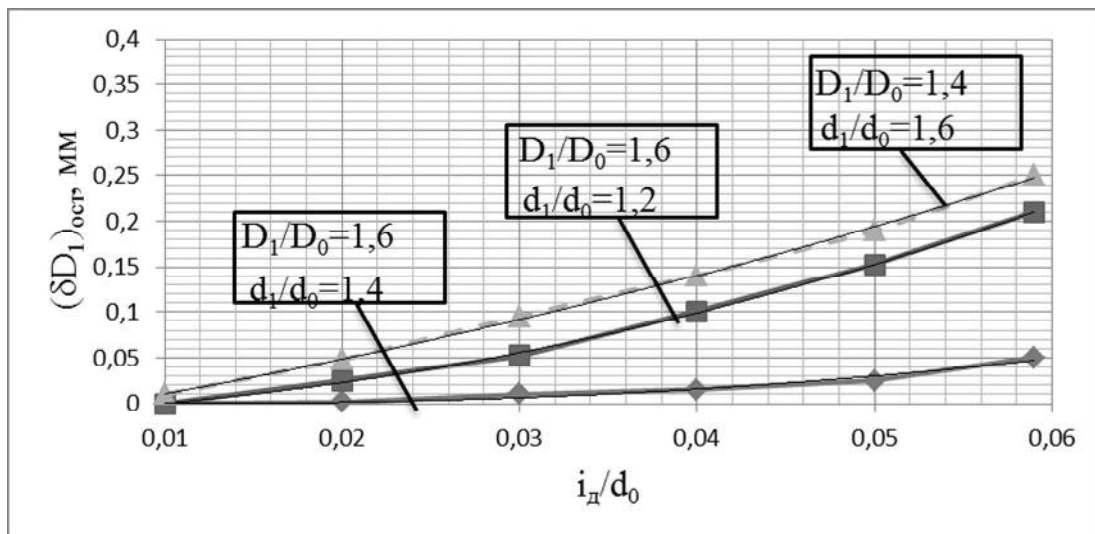


Рисунок 4 – Зависимость остаточной деформации по наружному диаметру корпуса $(\delta D_1)_{остр}$ от относительного натяга дорнования i_d/d_0 . Материалы: втулки – латунь ЛС59-1, корпуса – сталь 40Х. ($d_0=20$ мм)

С увеличением относительной толщины стенки корпуса величина $(\delta D_1)_{остр}$ интенсивно уменьшается, а в зависимости от относительного натяга дорнования эта величина растет примерно по прямолинейной зависимости. Такая зависимость характерна для неподвижных соединений, полученных из любых материалов. Как видно из рисунка 7, с увеличением относительной толщины стенки корпуса сходимость экспериментальных и

теоретических значений величин $(\delta D_1)_{остр}$ повышается. Так как при дорновании отверстий неподвижных соединений обычно осуществляется пластическое деформирование определенных слоев металла, то напряжения в них могут значительно превосходить предел текучести. Естественно, что при этом, ввиду постоянства объема при пластической деформации металла, будет меняться не только внутренний диаметр, но и длина втулки.

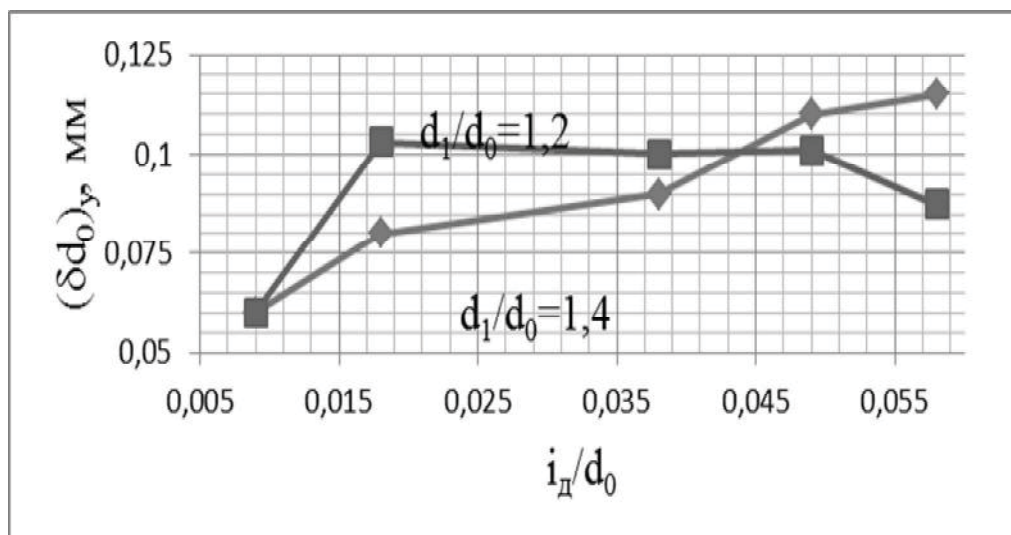


Рисунок 5 – Зависимость упругой деформации по отверстию $(\delta d_0)_y$ от относительного натяга дорнования i_d/d_0 . Материалы: втулки – латунь ЛС59-1, корпуса – сталь 40Х. ($d_0=20$ мм; $D_1/D_0=1,6$)

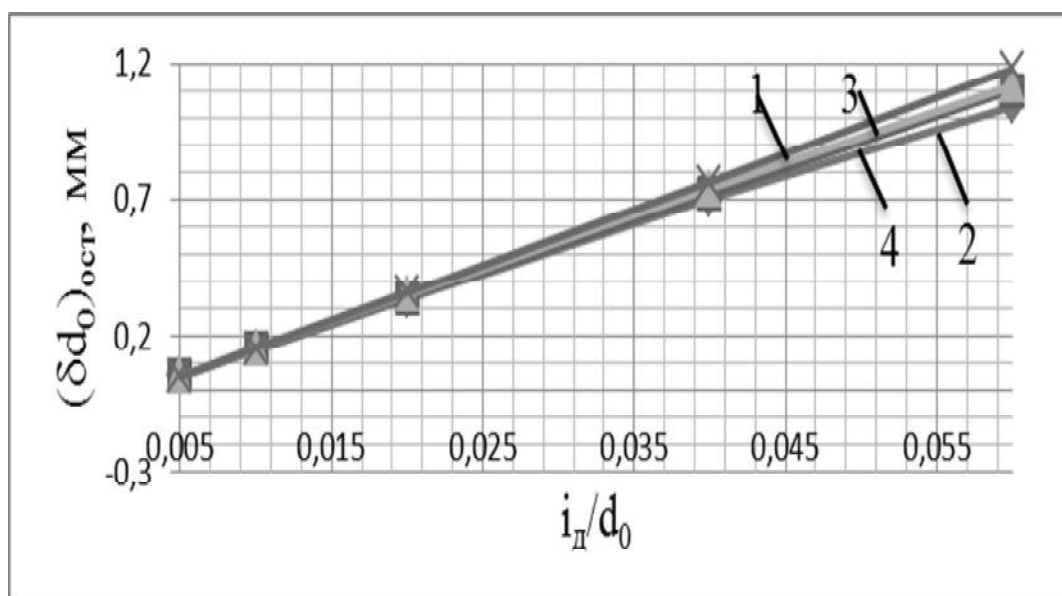


Рисунок 6 – Зависимость остаточной деформации по отверстию втулки $(\delta d_0)_{ост}$ от относительного натяга дорнования i_d/d_0 . Материалы: втулки -латунь ЛС59-1, корпуса – сталь 40Х. 1 - $D_1/D_0=1,4$; 2 - $D_1/D_0=2,0$

Материалы втулки и корпуса – сталь 40Х. 3 - $D_1/D_0=1,4$; 4 - $D_1/D_0=2,0$ ($d_0=20$ мм; $d_1/d_0=1,6$)

Анализ графика (рисунок 8) показывает,

что удлинение втулок при дорновании с одним и тем же относительным натягом тем больше, чем тоньше их сечение, то есть чем меньше отношение d_1/d_0 .

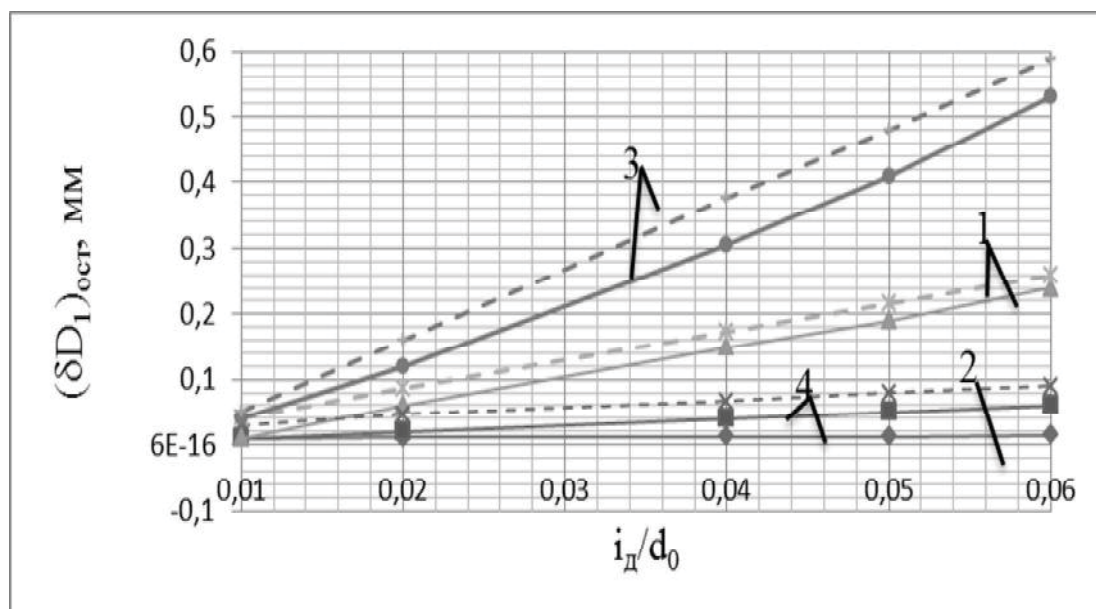


Рисунок 7 – Зависимость остаточной деформации по наружному диаметру корпуса $(\delta D_1)_{ост}$ от относительного натяга дорнования i_d/d_0 запрессованных втулок. Материалы: втулки – латунь ЛС59-1, корпуса – сталь 40Х. ($d_0=20$ мм) 1 - $D_1/D_0=1,4$; 2 - $D_1/D_0=2,0$; Материалы втулки и корпуса – сталь 40Х. 3 - $D_1/D_0=1,4$; 4 - $D_1/D_0=2,0$; ($d_0=20$ мм; $d_1/d_0=1,6$). Сплошная линия – экспериментальные данные, пунктирные – расчетные значения.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ВЕЛИЧИНУ УПРУГИХ И ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ДОРНОВАНИИ

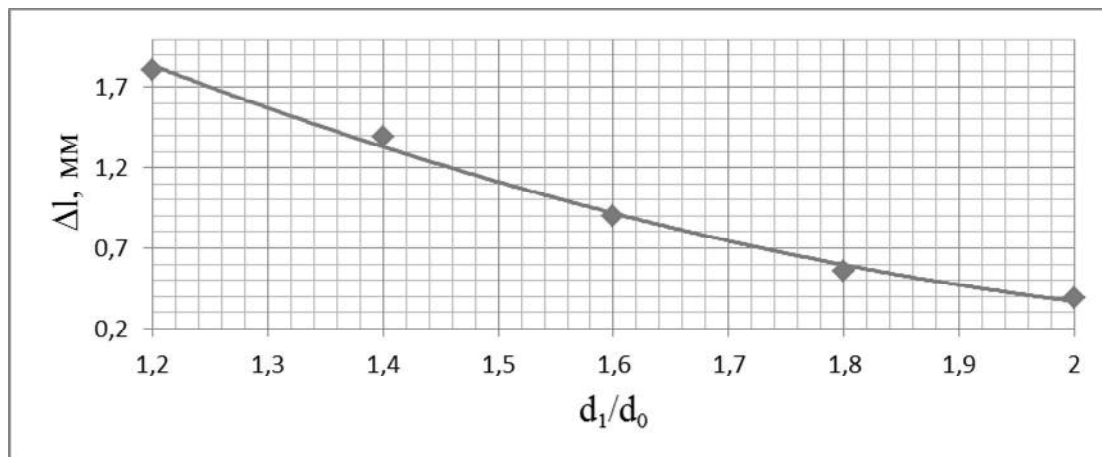


Рисунок 8 – Зависимость абсолютного удлинения Δl втулок после дорнования их отверстий от относительной толщины стенки d_1/d_0 . Материалы втулки и корпуса – сталь 45. ($d_0=10$ мм; $D_1=40$ мм; $i_0=0,5$ мм)

По данным рисунок 9, например, видно, что при дорновании неподвижных соединений удлинение втулки с толщиной стенки 2мм ($d_1/d_0=1,2$) больше, чем у втулки с толщиной стенки 6 мм $d_1/d_0=1,6$ во всем принятом интервале натягов.

Удлинение втулки, когда пластическая

деформация достигает её наружной поверхности, происходит по всему сечению стенки втулки. Сдвиг металла в осевом направлении только у поверхности отверстия наблюдается на глубине проникновения пластической деформации при работе в упругопластическом режиме деформирования.

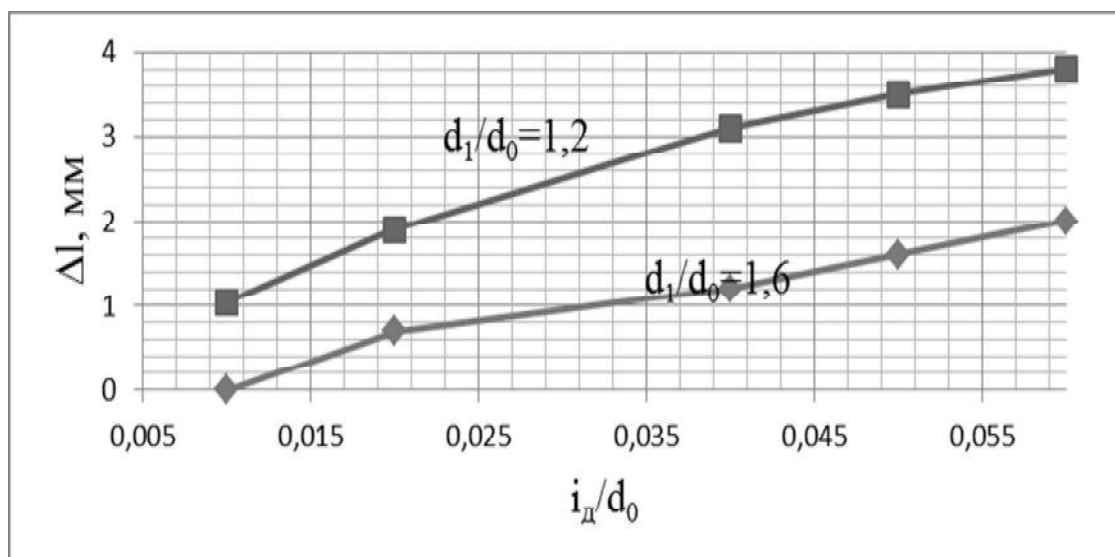


Рисунок 9 – Зависимость абсолютного удлинения Δl втулок от относительного натяга дорнования i_d/d_0 . ($d_0=20$ мм; $D_1/D_0=1,6$).

СВОЙСТВА ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ, ОТПУСКА И ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Г. А. Околович, В. И. Левков, Н. С. Баленко

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Упругие элементы изготавливают из углеродистых и легированных пружинных сталей 55С2, 65Г, 50ХФА и др. после термической обработки для повышения предела упругости с разной природой упрочнения:

- 1) закалка на мартенсит и отпуск 350-450°C;
- 2) изотермическая закалка;
- 3) деформационный наклеп.

После закалки сталь характеризуется высокой плотностью дислокаций и мелкозернистой структурой. Чем меньше зерно, тем выше сопротивлением малым пластическим деформациям.

Окончательные свойства пружин определяются условиями отпуска, в процессе которого реализуются возможности для повышения сопротивления малым пластическим деформациям и всего комплекса прочностных свойств.

Имеется несомненная общность между процессами изменения субструктуры, происходящими при отпуске стали, закаленной на мартенсит, и в стали, подвергнутой пластической деформации. Чтобы в результате был достигнут высокий предел упругости, сталь после мартенситного превращения или деформационного упрочнения должна иметь измельченную субструктуру. Именно поэтому предел упругости деформированной или закаленной стали после отпуска тем выше, чем выше степень пластической деформации или соответственно чем больше объемный эффект и ниже температура превращения при закалке для получения минимального количества остаточного аустенита. Во время отпуска и в закаленной, и в деформированной стали происходят, имеющие между собой много общего процессы изменения исходной субструктуры.

Режим отпуска закаленной стали должен обеспечивать не только достижение опреде-

ленной структуры продуктов превращения мартенсита, но и до-статочно полное превращение остаточного аустенита, отрицательно влияющего на свойства пружинной стали.

Исходя из этого, деформационное упрочнение предпочтительнее закалки с неизбежным появлением остаточного аустенита, т.к. в исходном состоянии в стали отсутствует остаточный аустенит.

Качественная работа двигателей во многом определяется эффективной работой поршневых колец. Одно из направлений – поршневые кольца из легированных пружинных сталей вместо традиционных из чугуна. Для выполнения своих функций кольца должны обладать определенными свойствами:

- сохранять свою форму в пределах всего срока эксплуатации;
- стабильную структуру материала кольца;
- иметь высокую степень релаксации и коррозионную защиту;
- износостойкие рабочие поверхности.

Постоянно возрастающие требования к качеству двигателей внутреннего сгорания, их мощности, экономичности, моторесурсу предполагает не только совершенствование конструкции двигателей и их элементов, но создание новых технологий.

Поэтому технология должна быть достаточно гибкой в части формообразования по сечению кольца, а также создание различных конфигураций по эпюрам радиальных давлений.

Для получения сложного профиля компрессионных колец нами разработана технология волочения проволоки ϕ 5...6 мм из рессорно-пружинной стали 65Г (ГОСТ 14959-79) после патентирования или нормализации.

Предварительное патентирование при-

СВОЙСТВА ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ, ОТПУСКА И ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

меняют для получения исходной однородной сорбитной структуры.

Процесс патентирования заключается в нагреве стали до аустенитного состояния и охлаждения в расплавленном свинце или соли до температур, от-вечающих превращению переохлаждению аустенита в структуру тонкопла-стинчатого перлита (сорбита). Такая структура обеспечивает возможность достижения высоких степеней обжата при последующей холодной пластической деформации, т. к. свойства поршневых колец, полученного холодной прокаткой или волочением, зависят от количества цементита, его формы и распределения. Патентирование способствует возникновению очень тонких цементитных пластинок, которые раздробляются, не образуя микротрещин.

Деформационное упрочнение пружинной стали обеспечивает высокий комплекс механических свойств не только после предварительного патентирования, но и после нормализации. Это объясняется тем, что и при охлаждении на воздухе в процессе нормализации полуфабрикатов сравнительно небольшого сечения из стали с повышенным содержанием углерода и, особенно, из низко и среднелегированной, образуется структура тонкопластинчатого сорбита, мало отличающаяся от получаемого при патентировании. Кроме того, применение нормализации вместо патентирования экономически эффективнее. Последующий отпуск вызывает те же субструктурные изменения стали, что и после предварительного патентирования.[1]

Важно, что пружины из нормализованной стали 65Г после деформации и отпуска имеют существенно большую усталостную прочность, чем после обычной термической обработки.

Стальные уплотнительные (компрессионные) кольца изготавливают из нормализованной пружинной проволоки 65 Г после холодной пластической деформации ($\epsilon = 50-70\%$) при протягивании проволоки через профильные волочильные ролики. После чего выполняют отпуск при температуре 500°C в течение часа для залечивания деформационных дефектов и повышения пластичности стали. Затем производят навивку профиля на

оправку с натяжением и последующий термостабилизационный отпуск при температуре 550°C , 1 час для динамического старения под нагрузкой, протекания полигонизации и повышения механических свойств деформационной структуры.

Главным достоинством динамического старения (или отпуска под нагрузкой) является то, что структурное и напряженное состояние оказывается таким, каким оно будет в условиях эксплуатации.

Упрочнение при пластической деформации является результатом роста плотности дислокаций, генерируемых от межфазных поверхностей феррит-цементит и образующих ячеистую субструктуру феррита, стабилизируемого пластинками цементита.

Помимо этих изменений структуры, под действием пластической деформации происходит частичный распад цементита, поскольку энергия связи атомов углерода с дислокациями больше, чем их связи с атомами железа в решетке цементита. Этот эффект сказывается на росте упрочнения и в то же время улучшает пластичность. Упрочнение происходит в результате закрепления подвижных дислокаций атомами примесей в дислокационных стенках, возникающих при полигонизации деформируемого металла. Так как для надежной работы упругих элементов в условиях длительного статистического и динамического нагружения режим отпуска, помимо высокого предела упругости, должен обеспечивать определенный уровень пластичности и вязкости при повышенном сопротивлении хрупкому разрушению.

Таким образом, во время нагрева до 550°C и выдержки, развиваются процессы полигонизации –упорядочение субструктуры, определяющей структурную стабильность и долговечность в эксплуатации. Кроме того, достигается повышение предела текучести, упругости и выносливости, а также пластичности.[2]

В то же время, сохранение упругости колец, определяющее эксплуатационную надежность двигателя, имеет гораздо большее значение, чем их поведение при износе. Исключение представляют только стальные кольца, которым упругость была придана в

результате холодной пластической деформации.

Сравнительные исследования структуры поршневых колец из стали 65Г полученного профиля после изотермической закалки и деформационного упрочнения при волочении.

1. После деформационного упрочнения и закалки от 830°C с изотермической выдержкой при 550°C, 30 мин. Структура соответствует сорбито-трооститной. Твёрдость составила 256 HV=20–26 HRC.

2. После деформационного упрочнения и термофиксации при 550°C, 1–ч. структура также соответствует троостито-сорбитной, но с более высокой твёрдостью 289 HV=24–30 HRC.

Выводы:

1. Деформационное упрочнение пружинной стали обеспечивает высокий комплекс механических свойств не только после предварительного патентирования, но и после нормализации. Это объясняется тем, что и при охлаждении на воздухе в процессе нормализации деталей сравнительно небольшого сечения образуется структура тонкопластинчатого сорбита, мало отличающаяся от структуры стали после патентирования.

Список литературы:

1. Рахштадт А.Г., Пружинные стали и сплавы./А.Г. Рахштадт – М.: Металлургия, 1971, 495 с.

2. Богатов А.А., Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. /А.А. Богатов, О.И. Митирицкий, С.В. Смирнов. – Металлургия, 1984, 413 с.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЕ-ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

А. И. Безнедельный, В. П. Гилета, В. Б. Асанов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия

Распространенным методом обработки закаленных деталей машин является шлифование, позволяющее получать поверхностный слой с шероховатостью $R_a = 0,08 \dots 6,3$ мкм в зависимости от режимов. На сегодняшний день для окончательного формирования качества поверхностного слоя закаленных сталей получило распространение алмазное выглаживание и упрочняюще-чистовая обработка ультразвуковым инструментом (УЗО), которые обычно проводятся после шлифования.

В данной работе рассматривается влияние различных режимов шлифования на формирование шероховатости поверхности при бесцентровой схеме обработки поверхностным пластическим деформированием инструментом, колеблющимся с ультразвуковой частотой.

В качестве материала для исследования была выбрана сталь ШХ 15СГ, которая в состоянии закалки и низкого отпуска чувстви-

тельна к температурным и силовым воздействиям, характерным для шлифования и поверхностного пластического деформирования. С практической точки зрения эта сталь нашла широкое применение в промышленности для изготовления шарико- и роликоподшипников.

Образцами для исследования служили ролики железнодорожного подшипника, которые подвергались шлифованию по бесцентровой схеме на режимах, обеспечивающих различное микрогеометрическое состояние поверхности.

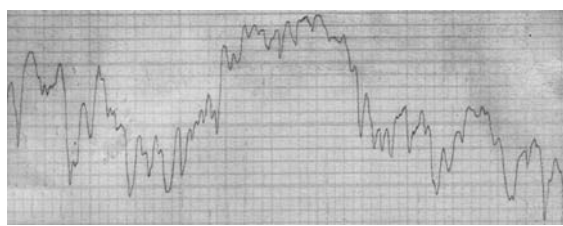
Изучение влияния исходной шероховатости поверхности на конечную микрогеометрию после УЗО оценивалось после трех режимов шлифования: черного, чистового и тонкого. Режимы шлифования и параметры шлифовальных кругов приведены в таблице 1, профилограммы шлифованных поверхностей образцов на рис. 1, а параметры микрогеометрии в таблице 2.

Таблица 1 – Режимы шлифования и параметры шлифовальных кругов

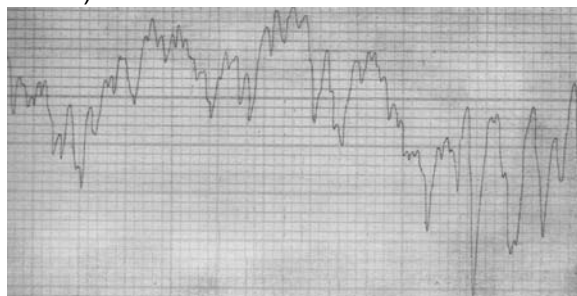
Вид обработки	Марка шлифовального круга	Режимы шлифования				
		V_k	V_d	t	S	СОЖ
		м/с	м/мин	мм	мм/мин	
Черновое шлифование	24A16CM1K	35	60	0,018	600	3% из эмульсола СДМУ-2
Чистовое шлифование	24A10CT1B	35	60	0,01	600	3% из эмульсола СДМУ-2
Тонкое шлифование	24A10CT1B	35	60	0,005	600	3% из эмульсола СДМУ-2



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Профилограммы поверхностей после шлифования: а) черного, В.У.=20000, Г.У. = 400; б) чистового, В.У.=40000, Г.У. = 400; в) тонкого, В.У.=40000, Г.У. = 400

Таблица 2 – Параметры микрогеометрии образцов

Вид обработки	Шероховатость R_a , мкм	Радиус выступов r_b , мкм	Отношение	Радиус впадин $r_{вп}$, мкм	Микротвердость H_{μ} , МН/м ²
Черновое шлифование	0,50	20	4,5	17	8900
Чистовое шлифование	0,22	23	11	10	7600
Тонкое шлифование	0,08	35	44	8	8600

Шлифованные образцы в дальнейшем подвергались УЗО на режиме: статическая нагрузка $F_{ст} = 300$ Н, скорость обработки $V = 50$ м/мин, подача $S = 0,07$ мм/об, частота ультразвуковых колебаний $f = 18$ кГц; радиус

инструмента $r = 5$ мм, амплитуда колебаний инструмента $A = 15$ мкм.

Профилограммы поверхностей после УЗО представлены на рисунке 2, а параметры шероховатости в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики поверхностного слоя после шлифования +УЗО

Вид обработки	Шероховатость R_a , мкм	Радиус выступов r_b , мкм	Отношение	Радиус впадин $r_{вп}$, мкм	Микротвердость H_{μ} , МН/м ²
Шлифование предварительное + УЗО	0,12	180	260	40	9800
Шлифование чистовое + УЗО	0,08	200	320	19	10000
Шлифование тонкое + УЗО	0,05	240	40	17	10500

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕ-ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

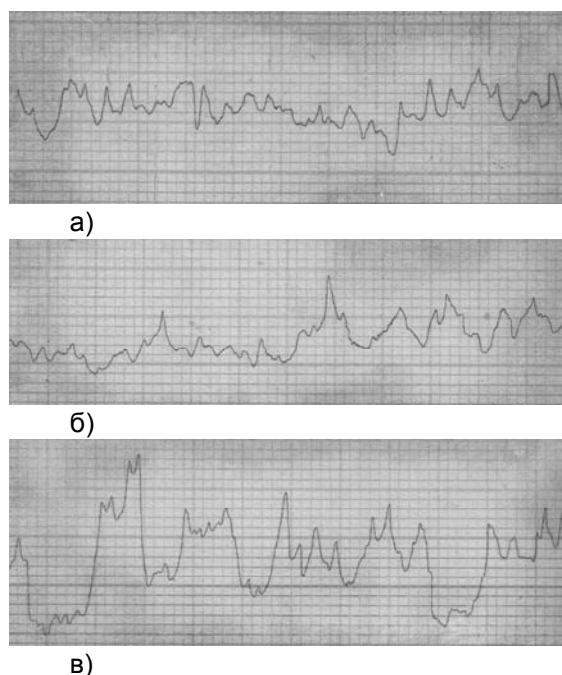


Рисунок 2 – Профилограммы поверхностей: а) черновое шлифование +УЗО; б) чистовое шлифование +УЗО; в) тонкое шлифование +УЗО; В.У. = 40000, Г.У. = 400

На основе полученных профилограмм после шлифования и шлифования +УЗО построены графики относительной опорной длины профиля, приведенные на рисунок 3.

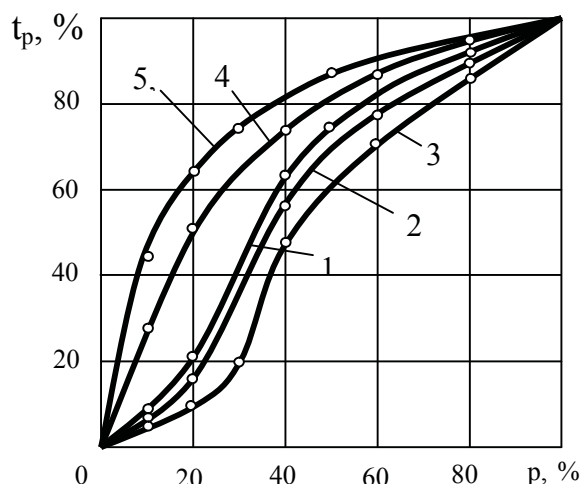


Рисунок 3 – Относительная опорная длина профиля: 1 – черновое шлифование ($R_a = 0,58$ мкм); 2 – чистовое шлифование ($R_a = 0,27$ мкм); 3 – тонкое шлифование ($R_a = 0,12$ мкм); 4 – черновое шлифование +УЗО ($R_a = 0,12$ мкм); 5 – чистовое шлифование +УЗО ($R_a = 0,07$ мкм); 6 – тонкое шлифование +УЗО ($R_a = 0,05$ мкм).

Анализ полученных результатов показывает, что для шлифования характерен микрорельеф с большим количеством местных выступов и впадин с малыми радиусами их закруглений, с неравномерными шагами, что подтверждается графиками относительной опорной длины профиля. Режимы обработки в большей степени сказываются на высотно-шаговых характеристиках.

Для УЗО характерно получение поверхностей со специфичным микрорельефом регулярного строения, со сплаженными выступами и впадинами, высотные параметры которого существенно зависят от исходной микрогеометрии, определяемой режимами шлифования. Специфичность микрорельефа после УЗО сказывается и на относительной опорной длине профиля, значение которого превышает относительную опорную длину профиля шлифованной поверхности при любом уровне сечения профиля.

Так как ставилась задача определения влияния режимов шлифования на параметры шероховатости поверхности после УЗО то можно констатировать:

- УЗО позволяет изменять характер микрорельефа поверхностей на специфичный, регулярный;
- режимы шлифования в значительной степени определяют параметры шероховатости поверхности после УЗО;
- УЗО не может полностью устранить следы чернового шлифования;
- После предварительной подготовки поверхности чистовым и тонким шлифованием УЗО формирует полностью новый микрорельеф.

Исходя из результатов исследований, можно рекомендовать использование УЗО для получения требуемых характеристик качества поверхностного слоя по микрогеометрическим параметрам роликов железнодорожных подшипников следующую технологию: чистовое шлифование +УЗО, что позволяет устранить операцию полирования и даже операцию тонкого шлифования.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А. А. Демин

Бийский технологический институт,
г. Бийск, Россия

Детали прессового соединения всегда изготавливают с отклонением формы сопрягаемых поверхностей от идеального геометрического профиля (цилиндра, конуса, призмы). Данное отклонение при повышенных допусках на изготовление деталей может оказывать существенное влияние на прочность прессового соединения.

Целью проведенных численных исследований была оценка влияния овальности профиля соединяемых деталей на момент проворота, для соединений с натягом имею-

щих цилиндрическую форму сопрягаемых поверхностей и содержащих промежуточную деформируемую втулку [1, 2]. Исследования проводили на основе моделирования методом конечных элементов с использованием программного комплекса DEFORM 10. В результате моделирования были получены зависимости несущей способности соединения в осевом направлении и момента проворота от относительной высоты соединения (рисунок 1), а также от величины монтажного зазора (рисунок 2).

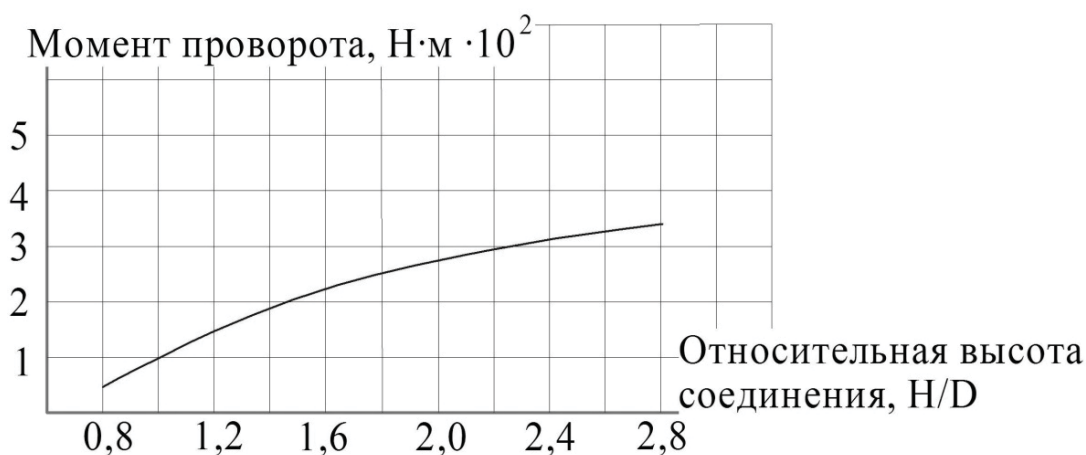


Рисунок 1 – Зависимость момента проворота от относительной высоты соединения

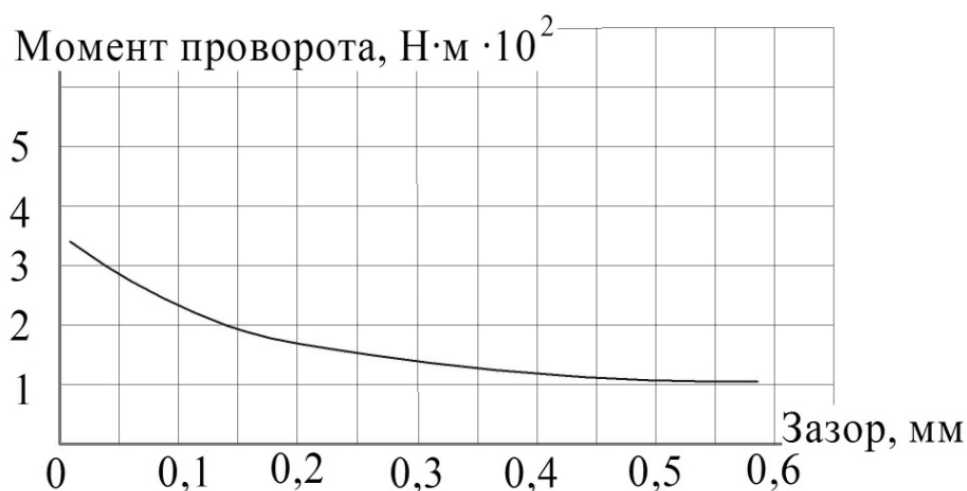


Рисунок 2 – Зависимость момента проворота от монтажного зазора

ТЕХНОЛОГИИ ДИСПЕРСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ

Исходя из анализа классических формул расчета прочности соединений с натягом, можно сделать вывод: если не учитывать погрешность формы сопрягаемых поверхностей (овальность), то между несущей способностью соединения в осевом направлении и окружном, т.е. моментом проворота, можно провести достаточно строгое соответствие. Поэтому зная прочность соединения в одном направлении (окружном или осевом) можно вычислить прочность соединения в другом

направлении, не прибегая к проверке полученных данных экспериментальными методами. Однако с увеличением отклонения профиля деталей в поперечном сечении (овальности) момент проворота резко изменяется (рис. 3).

На рис. 3 представлены результаты, которые показывают характер зависимости относительной высоты соединения от ее овальности при максимально допустимом моменте проворота вала.

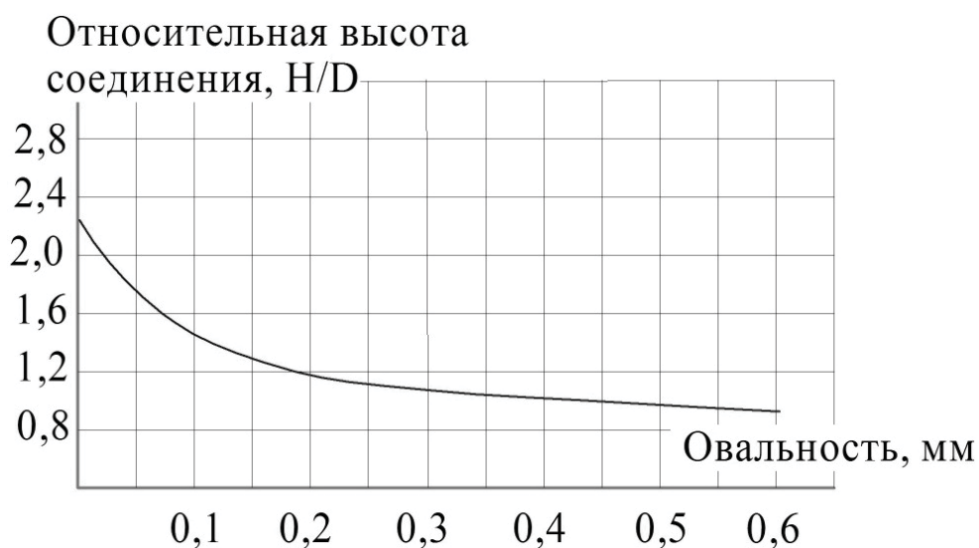


Рисунок 3 – Зависимость относительной высоты соединения от овальности ее сопрягаемых поверхностей (для диаметра вала 10 мм)

Таким образом, при повышенных допусках на изготовление деталей прессового соединения содержащего пластически деформируемую втулку увеличение овальности сопрягаемых поверхностей приводит к существенному увеличению прочности соединения в окружном направлении. При этом габариты прессового соединения возможно уменьшить за счет увеличения овальности сопрягаемых поверхностей соединения без потери его прочности в осевом направлении.

Список литературы:

1. Авторское свидетельство СССР № 602337, 23.03.1987
2. Авторское свидетельство СССР №

617128, 28.02.1987

3. Демин А. А. Повышение качества соединений с гарантированным натягом с использованием промежуточной втулки // Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 6-й Всероссийской научно-практической конференции – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2012. С. 93-96

4. Демин А.А., Титов И.А., Бут Н.В. Учет анизотропии механических свойств при конечно-элементном моделировании сборки деталей с натягом // Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 6-й Всероссийской научно-практической конференции – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2012. С. 136-138.

ПРОГРАММЫ НАГРУЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СИГНАЛЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

И. В. Мирошин, О. А. Останин

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

В условиях возрастающих требований к надежности и качеству машин актуальной задачей при проектировании технологических процессов упрочняющей обработки (ТП УО) является контроль наследуемых параметров состояния поверхностного слоя. На основе результатов научных исследований был предложен ТП УО с учетом явления технологического наследования. Состояние поверхностного слоя оценивалось с использованием интегральных параметров механического состояния, таких как степень деформации сдвига Λ и степень истощения запаса пластичности (СИЗП) Ψ , контроль и управление которыми осуществлялись методом АЭ [1].

Как известно, накопление механических свойств материала, в том числе, истощение запаса пластичности происходит под действием программ нагружения. Исследования

показали, что получить определенное (одинаковое) значение Ψ можно, нагружая поверхностный слой по различным программам, что существенно изменяет эксплуатационные свойства деталей машин [2].

Эксперимент проводился на алюминиевых образцах из сплава Д16Т с использованием пресса Бринелля. Повторному нагружению подвергали образцы, которые после предварительного нагружения полностью исчерпали запас пластичности $\Psi = 1$ по разным программам нагружения, описание которых приведено в статье [3]. Зависимость энергии сигнала АЭ от программы предварительного нагружения приведена на рисунке 1. Полученная диаграмма дает качественную картину распределения накопленной энергии E и позволяет судить о влиянии ПН на сигнал АЭ.

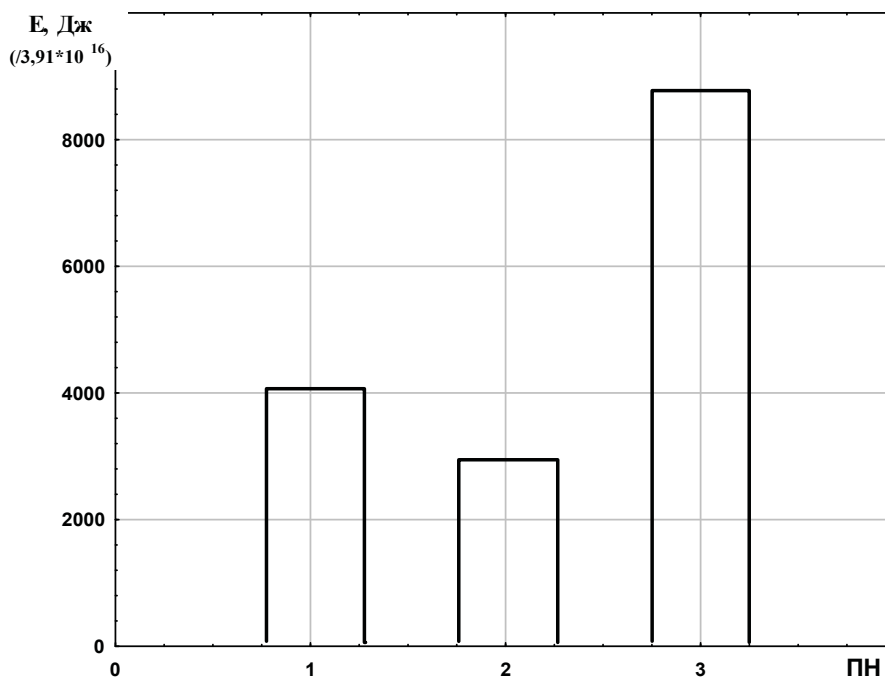


Рисунок 1 – Зависимость накопленной энергии сигнала акустической эмиссии E от программы нагружения ПН (приведены средние значения из выборки – по три образца для каждой ПН; по оси x отложен порядковый номер программы нагружения)

ПРОГРАММЫ НАГРУЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СИГНАЛЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Анализ полученных данных показал, что при равных значениях СИЗП для всех экспериментальных образцов накопленная степень деформации сдвига Λ была различной [4].

Исходя из полученных результатов, в работе принята гипотеза, в соответствии с которой изменение программы нагружения может быть определено по изменению энергии сигнала АЭ, а именно:

$$\left(\frac{d\Lambda}{d\Pi}\right) = f(E) \quad 1)$$

Исследования показали, что аналитическое описание будет существенно упрощено, если программу нагружения представить в

виде соотношения $\frac{\Delta\Lambda}{\Delta\Pi}$, где $\Delta\Lambda$ и $\Delta\Pi$ представляют собой диапазоны изменения данных параметров по соответствующим осям координат (рис. 2). В этом случае формула 1 примет вид

$$\frac{\Delta\Lambda}{\Delta\Pi} = f(E) \quad 2)$$

Соотношение сторон не отражает в явном виде траекторию нагружения, однако характеризует скорость накопления поврежденности (интенсивность накопления деформаций) в очаге деформации.

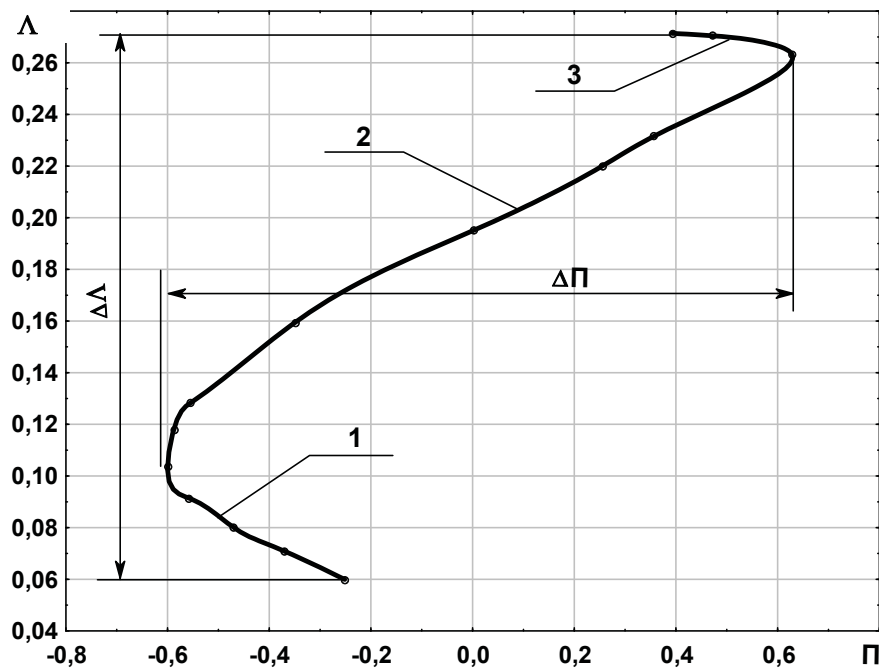


Рисунок 2 – Программа нагружения поверхностного слоя: 1,2,3 – этапы квазимонотонной деформации

В работе выдвинута научная гипотеза о том, что параметры сигналов акустической эмиссии, излучаемых очагом деформации, отражают пластическое течение металла и распределяются в объеме очага деформации таким же образом, как и интенсивность скоростей деформации сдвига H .

При разработке модели принято, что распределение параметров сигналов АЭ по очагу деформации идентично распределению

интенсивности скоростей деформаций сдвига в виде $H = H(xyz)$.

Формула распределения интенсивности скоростей деформаций сдвига H в общем виде для каждой линии тока, согласно проведенным исследованиям, имеет вид [2]:

$$H = a + b \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{d^2}\right), \quad (3)$$

где a, b, c, d - коэффициенты.

В нашем случае эти коэффициенты имеют наследственный характер и отражают изменение геометрических параметров очага деформации. Предполагается, что они изменяются по глубине очага деформации по линейной зависимости $k = a_k^h y + b_k^h$.

Подставляя наследственные коэффициенты a, b, c, d , получили интегральную зависимость распределения интенсивности скоростей деформаций сдвига H :

$$H = z \iint \left((a_a^h y + b_a^h) + (a_b^h y + b_b^h) \exp \left(- \frac{(x - (a_c^h y + b_c^h))^2}{(a_d^h y + b_d^h)^2} \right) \right) dx dy, \quad (4)$$

где Z – толщина образца (величина постоянная величина); Y – ордината (глубина очага деформации); X – длина очага деформации; $a_a^h, b_a^h, a_b^h, b_b^h, a_c^h, b_c^h, a_d^h, b_d^h$ – наследственные коэффициенты, характеризующие распределение свойств по глубине упрочненного поверхностного слоя.

Проведены расчеты и получено распределение акустических характеристик в очаге пластической деформации не только вдоль очага деформации, но и по глубине очага деформации.

Сопоставление результатов, полученных расчетным путем, и при проведении экспериментов по методу визиопластичности, показало высокую сходимость, что свидетель-

ствует о корректности допущений и модели в целом.

Список литературы:

1. Мирошин, И.В. Проектирование упрочняющего технологического процесса с учетом явления технологического наследования [Текст] : И.В. Мирошин / Инновационные технологии в машиностроении: материалы междунар. научно-техн. конференции; под общ. ред. А.И. Гордиенко, В.К. Шелега. – Новополоцк: ПГУ, 2011. – С. 139-142.
2. Блюменштейн, В.Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В.Ю. Блюменштейн, В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.
3. Калпин, Ю.Г. Оценка деформационной способности металлов в процессах холодной объемной штамповки [Текст] // Ю.Г.Калпин, Ю.К. Филиппов, Н.Н. Беззубов // Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. – 1988. – № 10. – С. 1-16.
4. Мирошин, И.В. Технологическое обеспечение наследуемых параметров качества при упрочняющей обработке на основе выбора рациональных режимов методом акустической эмиссии [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / И.В. Мирошин – Барнаул, 2008.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ХОНИНГОВАЛЬНЫХ БРУСКОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ

А. А. Карпов, С. Л. Леонов, Т. А. Аскалонова

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,,
г. Барнаул, Россия

Совершенствование обработки точных отверстий хонингованием остается одной из актуальных задач машиностроения. Хонингование глухих отверстий, наряду с обработкой сквозных, имеет дополнительные трудности. Это связано с невозможностью выхода хонинговальной головки на величину перебега у дна отверстия, как правило, равной 1/3 длины бруска. Отсутствие перебега приводит к повышенному изнашиванию хонинговальных брусков в нижней части, в результате чего происходит неравномерный съем металла и образование конусности, с уменьшением диаметра к дну отверстия.

Для решения этой задачи разработана имитационная модель процесса хонингования, описывающая особенности формообразования обработки глухих отверстий. В качестве основных рабочих гипотез при анализе формообразования поверхности приняты [1]:

- формирование параметров качества поверхности и точности обработки необходимо рассматривать как результат последовательного (от оборота к обороту, прохода к проходу) съема металла, происходящего вследствие взаимодействия двух случайных профилей хонинговального инструмента и заготовки.
- управление процессом хонингования должно выполняться с учетом характерных особенностей износа хонинговального инструмента.
- неравномерность износа хонинговального инструмента может быть компенсирована механизмом разжима брусков.

При анализе процесса хонингования глухих отверстий приняты следующие допущения [2]:

1. хонинговальный брусок и заготовка являются однородными и изотропными телами.
2. упругие деформации металла заготовки не оказывают существенного влияния на величину ее радиус-вектора.
3. упругие и температурные деформации

абразивного инструмента и заготовки постоянны [1,3].

Первое допущение может быть аргументировано обязательным соответствием используемых хонинговальных брусков стандартам. Второе допущение обосновывается тем, что упругие деформации металла значительно меньше величины его радиального съема. Третье допущение принято с целью упрощения расчетов, исходя из условия, что процесс обработки считаем установившимся.

Учитывая принятые допущения и размерный анализ процесса хонингования была получена формула расчета фактической глубины резания алмазных зерен t_{ϕ} за один проход инструмента

$$\left. \begin{aligned} t_{\phi} &= t - \Delta y - \Delta R_{\Sigma} - \Delta r_{\Sigma} \\ \Delta r_{\Sigma} &= K_1 \sum_{i=1}^{N_{об}} t_{\phi_i} \\ \Delta R_{\Sigma} &= K_2 \sum_{i=1}^{N_{об}} t_{\phi_i} \\ \Delta y &= K_3 \cdot S \sum_{i=1}^n t_{\phi_i} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где Δr_{Σ} – накопленный съем металла за один проход; ΔR_{Σ} – суммарный износ алмазного инструмента за один проход; Δy – величина упругих отжатий; K_1, K_2, K_3 – эмпирические коэффициенты; K_1 – коэффициент съема металла; K_2 – коэффициент износа алмазного бруска; K_3 – коэффициент упругих отжатий.

Работа алмазного инструмента (АИ) при хонинговании глухих отверстий характеризуется тремя основными этапами: врезание, резание всем инструментом, выход алмазного инструмента на величину перебега. Динамику перемещения инструмента можно проследить по схеме, представленной на рисунке 1.

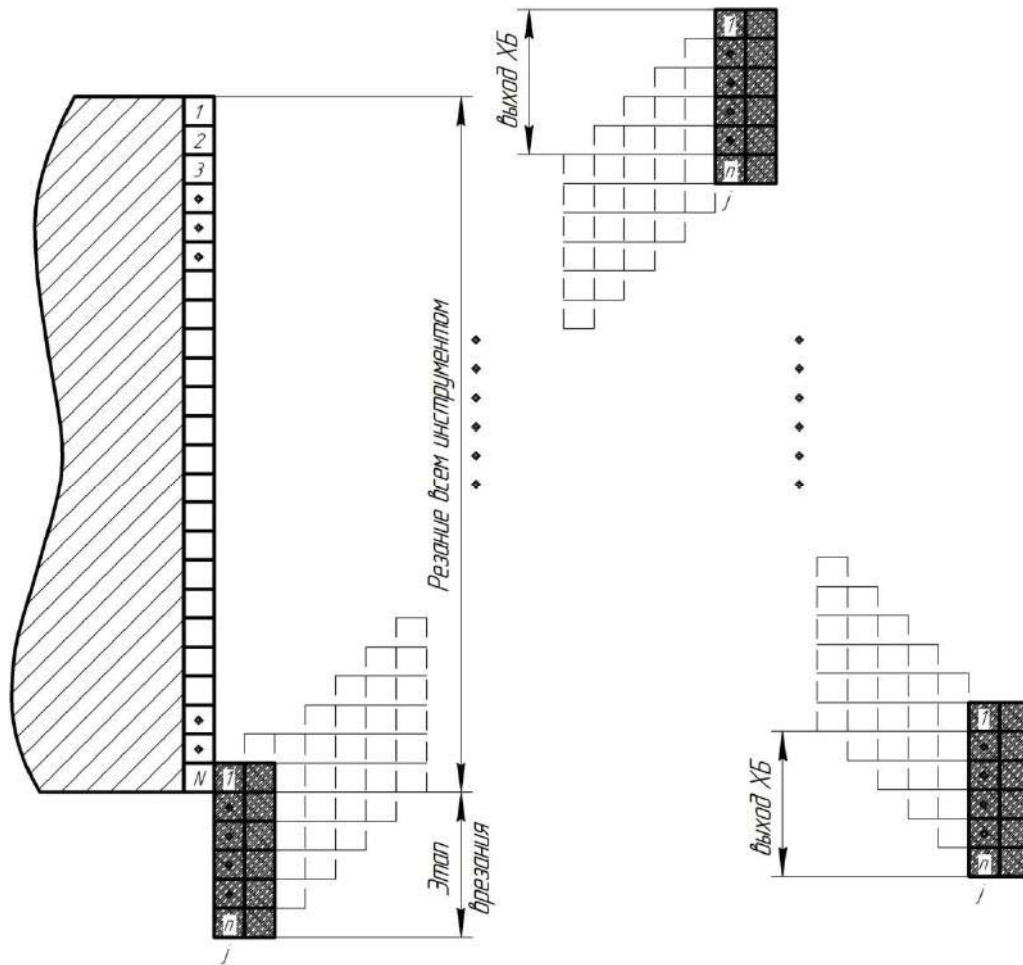


Рисунок 1 – Схема перемещений хонинговального бруска относительно поверхности заготовки

H – высота хонинговального бруска; N – количество участков (сечений) заготовки; n – количество участков (сечений) инструмента; j – количество перемещений (ходов) инструмента от этапа врезания до полного выхода; i – номер сечений заготовки и абразивного инструмента, участвующих в резании попарно.

Анализ данного процесса показывает, что j будет находиться в пределах от 1 до $N_{\text{кас}}$, а количество касаний рассчитываться по формуле:

$$N_{\text{кас}} = N + n - 1, \quad (2)$$

где $N = \frac{l}{S} + 1$ количество сечений заготовки;

$n = \frac{H}{S} + 1$ – количество сечений инструмента.

В итоге получаем:

на этапе врезания: $j < n$

$$\left. \begin{aligned} \Delta y_j &= \frac{K_3 \cdot S \cdot \left(j \cdot t - \sum_{i=1}^j \Delta R_i - \sum_{i=N+1-j}^N \Delta r_i \right)}{1 + j \cdot K_3 \cdot S} \\ \Delta r_i &= \Delta r_i + K_1 \cdot t_{\phi_i} \\ \Delta R_i &= \Delta R_i + K_2 \cdot t_{\phi_i} \\ t_{\phi_i} &= j \cdot t - \Delta y - \sum_{i=1}^j \Delta R_i - \sum_{i=N+1-j}^N \Delta r_i \end{aligned} \right\} (3)$$

Для t_{ϕ_i} i берется в пределах $i = 1 \dots (n - 1)$.

на этапе резания всем инструментом: $n \leq j \leq N$

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ХОНИНГОВАЛЬНЫХ БРУСКОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ

$$\left. \begin{aligned} \Delta y_j &= \frac{K_3 \cdot S \cdot \left(n \cdot t - \sum_{i=1}^n \Delta R_i - \sum_{i=N+1-j}^N \Delta r_i \right)}{1 + n \cdot K_3 \cdot S} \\ \Delta r_i &= \Delta r_i + K_1 \cdot t_{\phi_i} \\ \Delta R_i &= \Delta R_i + K_2 \cdot t_{\phi_i} \\ t_{\phi_i} &= n \cdot t - \Delta y - \sum_{i=1}^n \Delta R_i - \sum_{i=N+1-j}^N \Delta r_i \end{aligned} \right\} (4)$$

Для t_{ϕ_i} i берется в пределах $i = 1 \dots n$.

на этапе выхода инструмента: $j > N$

$$\left. \begin{aligned} \Delta y_j &= \frac{K_3 \cdot S \cdot \left((N + n - j) \cdot t - \sum_{i=j+1-N}^n \Delta R_i - \sum_{i=1}^{N+n-j} \Delta r_i \right)}{1 + (N + n - j) \cdot K_3 \cdot S} \\ \Delta r_i &= \Delta r_i + K_1 \cdot t_{\phi_i} \\ \Delta R_i &= \Delta R_i + K_2 \cdot t_{\phi_i} \\ t_{\phi_i} &= (N + n - j) \cdot t - \Delta y - \sum_{i=j+1-N}^n \Delta R_i - \sum_{i=1}^{N+n-j} \Delta r_i \end{aligned} \right\} (5)$$

Для t_{ϕ_i} i берется в пределах $i = (n - 1) \dots 1$.

Данный алгоритм был внедрен в программу Excel, что позволило автоматизировать процесс расчетов. Разработанная программа для ЭВМ позволяет также:

- получать зависимости изменения величины съема металла Δr , шероховатости

обработанной поверхности R_a , износа алмазного инструмента ΔR в пределах одного прохода;

- производить расчеты размерных составляющих для нескольких проходов инструмента.

Это даст возможность анализировать динамику процесса хонингования и оценивать величину съема металла Δr , износа алмазного инструмента ΔR , шероховатость обработанной поверхности R_a .

Список литературы:

1. Карпов А.А. Проектирование хонинговального инструмента и операционной технологии обработки глухих отверстий повышенной точности. Дис. на соиск. учен. степени магистра техн. наук. - Барнаул, 2012. - 113с.
2. Шевелева Е.А. Совершенствование чистовых операций изготовления прецизионных деталей топливной аппаратуры путем применения сложноимпрегнированного инструмента / Е.А. Шевелева, С.Л. Леонов, Е.Ю. Татаркин // Ползуновский вестник. - № 2007. - № 4. - с.224-230.
3. Леонов С. Л. Технологические предпосылки прогнозирования показателей качества круглого наружного врезного шлифования с разработкой имитационной модели процесса: дисс. канд. техн. наук / С.Л. Леонов. - Барнаул, 1982. - 234 с.

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ЗАДАННЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ

М. В. Пимонов

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва,
г. Кемерово, Россия

В настоящее время существует много подходов к обеспечению эксплуатационных свойств деталей машин. Проведено большое количество исследований по определению влияния параметров механической обработки на качество поверхностного слоя, а также показателей качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства.

В частности в работах А.А. Маталина [1] описано большое количество зависимостей влияния параметров процесса механической обработки на качество поверхностного слоя, а также на эксплуатационные свойства. Однако как подчёркивает сам автор, нахождение подобных зависимостей и особенно их математическая обработка требуют тщательного изучения физической сущности явлений, сопровождающих данный метод обработки, и закономерностей их изменения при разных условиях выполнения технологической операции. В работах Суслова А.Г. и его учеников [2 - 4] приведено описание влияния параметров поверхностного слоя на эксплуатационные свойства через комплексные параметры. Недостатком такого подхода к проектированию технологических процессов является то, что комплексные параметры описывают влияние параметров поверхностного слоя на определённое эксплуатационное свойство, что затрудняет расчёты комплекса эксплуатационных свойств. В.Ф. Безъязычный в своих работах [5, 6] считает что, процессы механической обработки связаны с возникновением в зоне обработки сложных физических явлений, обусловленных высокими температурами и силами резания, трением контактируемых поверхностей и др. Для описания этих процессов автор использует методы теории подобия, которая позволяет на основе небольшого числа экспериментов получать обобщенные выводы. То есть задавая значения технологической обработки, геометрические характеристики инструмента, а также используя справочные данные по обрабатываемому и инструментальному материалам,

можно расчетным путем определить значение предела выносливости детали после обработки точением и фрезерованием, а также решать обратную задачу по определению условий обработки с целью обеспечения требуемого предела выносливости, с учетом свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

Несмотря на большое количество работ посвящённых влиянию механической обработки на параметры качества поверхностного слоя, а также влиянию параметров поверхностного слоя на эксплуатационные свойства, использование этих подходов затруднено их математической сложностью и необходимостью экспериментальной проверки. Большинство существующих подходов не позволяют судить о дальнейших изменениях параметров качества, физико-механического и структурного состояния поверхностного слоя.

Более комплексный подход к разработке технологических процессов, возможно разработать пользуясь аппаратом механики технологического наследования [7]. К настоящему времени в большинстве работ описание технологического наследования сводится к трудно применимым математическим формулам, не позволяющим однозначно определить влияние наследования на параметры поверхностного слоя.

Для описания истощения запаса пластичности используются категории критерия Калпина-Филиппова, учитывающие как накопление деформации, так и накопление поврежденности.

В работе поставлена цель: развитие механики технологического наследования в направлении описания параметров механического состояния в категориях параметров структурно-фазового состояния материала. Для достижения данной цели сформулирован ряд задач:

1. Определить влияние режимов обработки на параметры структурно-фазового состояния и влияние структурно-фазового со-

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ЗАДАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРНОГО
СОСТОЯНИЯ

стояния на эксплуатационные свойства.

2. Определить взаимосвязь Δ (степень деформации сдвига) и Ψ (степень истощения запаса пластичности) с параметрами структурно-фазового состояния материала в процессах обработки и на стадии эксплуатации.

3. Разработать функциональную модель проектирования технологических процессов обеспечивающих заданные параметры структуры и как следствие определённые эксплуатационные свойства.

Список литературы:

1. Маталин А. А. Технология механической обработки. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1977. 464 с. с ил.

2. Суслов А.Г., Горленко А.О., Симкин А.З. Повышение долговечности кулачковых пар трения // Трение и износ. Т. 18. № 3. 1997. С. 395-398.

3. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. - М.: Машиностроение, 2000. - 320 с., ил.

4. Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение. 208 - 320 с.: ил.

5. Оптимизация технологических условий механической обработки деталей авиационных двигателей / В.Ф. Безъязычный, Т.Д. Кожина, А. В. Константинов и др. - М.: Изд-во МАИ, 1993. - 184 с.

6. Расчет режимов резания. Учебное пособие / Безъязычный В. Ф., Аверьянов И. Н. Кордюков А. В. - Рыбинск: РГАТА. 2009. - 185 с.

7. Блюменштейн В.Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. - М.: Машиностроение-1, 2007. - 400 с.

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИБРОПАРАМЕТРОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕАНИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ

Р. А. Понкрашкин

Филиал Кузбасского государственного технического университета
имени Т.Ф. Горбачева в г. Прокопьевске
г. Прокопьевск, Россия

Вибрация и шум, генерируемые подшипниками при вращении, являются важными характеристиками качества многих машин и приборов.

Вибрация и шум подшипников имеют не только потребительское значение. Важность этих параметров связана еще и с тем, что они характеризуют состояние объекта, являясь диагностическими факторами. Исследование машин и приборов с помощью виброакустической аппаратуры позволяет заблаговременно определять возникающие в них дефекты и предотвращать поломки и аварии.

Таким образом, проблемы вибрации и шума подшипников выдвигаются на передний план, играя двойную роль: характеризуя качество подшипников и являясь диагностическими факторами. И в том, и в другом случаях необходимо, прежде всего, разобраться в причинах возникновения вибрации и шума, найти их основные источники и определить закономерности образования.

В соответствии с ГОСТ 24346-80 под вибрацией подшипника понимается движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин. Вибрация оценивается общим уровнем вибрации (ОУВ), величина которого является одним из основных показателей назначения [1].

ОУВ – это величина виброускорения, виброскорости в радиальном направлении точки по наружной образующей поверхности невращающегося наружного кольца при вращении внутреннего кольца, измеренная при установленных условиях и режимах.

Измерение ОУВ может осуществляться различными способами. Измерения ускорения или скорости вибрации, согласно стандарту [2], обычно проводятся в трех частотных диапазонах: 50-300 Гц, 300-1800 Гц,

1800-10000 Гц. Выбор этих частотных диапазонов обусловлен пониманием механики подшипника. Низкочастотный диапазон (50-300 Гц) соответствует первым гармоникам волнистости дорожек качения, средний диапазон вибрации (300-1800 Гц) – средним гармоникам волнистости колец и нижним гармоникам волнистости шариков, верхний диапазон (1800-10000 Гц) – высшим гармоникам волнистости дорожек качения и шариков. Для исследовательских целей находят узкополосные анализаторы с шириной полосы $1/3$ или $1/12$ октавы.

К основным источникам вибрации подшипников качения можно отнести следующие (по степени значимости):

1. Структурная вибрация (даже для идеальных подшипников), имеет два источника:
 - 1.1. Контактные силы, действующие со стороны шариков на кольца и вызывающие изгибные деформации колец.
 - 1.2. Колебания жесткости подшипника при вращении в результате действия радиальной нагрузки.
2. Вибрация, обусловленная погрешностями изготовления дорожек качения и шариков.
3. Вибрация, обусловленная неоднородностью упругих свойств материалов.
4. Вибрация, обусловленная смазкой подшипника.
5. Вибрация, обусловленная загрязнением подшипников.
6. Вибрация, вызванная колебаниями сепаратора.
7. Вибрация, обусловленная единичными дефектами дорожек качения и шариков.

В рамках данной работы задача технологического обеспечения требуемых вибропараметров подшипника решалась с исполь-

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИБРОПАРАМЕТРОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕАНИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ

зованием основных положений механики технологического наследования, что вызвало необходимость проведения экспериментальных исследований с целью формирования начальных и граничных условий, а также установления влияния ряда операций обработки на конечные свойства поверхностного слоя деталей подшипников [3].

При проведении экспериментов исследовались закономерности технологической наследственности, на примере колец подшипников №310А, на этапах: «резание – термическая обработка – шлифование – полирование – общий уровень вибрации – контактная долговечность».

В каждой серии экспериментов кольца отбирались в порядке схода со станка и нумеровались. Проводилось измерение и за-

пись по поверхностям качения после каждой операции: отклонений от круглости; круглограмм; виброактивности; размеров, отклонений формы и расположения.

Для оценки ОУВ была отобрана выборка из наружных (310А-01), внутренних (310А-02) колец и шариков (310-03). Указанные детали были обработаны по действующей технологии, отсортированы по группам и подготовлены к сборке. Исследование ОУВ проводилось с использованием приводной установки КВП-1М и частотного анализатора бельгийской фирмы "Брюль и Кьер" мод. 2131 по параметрам виброскорости и виброускорения.

Предельные значения виброактивности наружных и внутренних колец приведены в таблице 1.

Таблица 1

Тип кольца	Максимальные (числитель) и минимальные (знаменатель) значения виброактивности (мкм/с) при полосе частот фильтра, Гц				
	35-50	50-100	100-300	300-1800	1800-10000
310-01	82/3	550/62	700/110	1200/150	150/33
310-02	250-25	400/57	700/55	800/50	500/45

Анализ таблицы 1 показывает, что: виброактивность наружных колец находится в пределах от 3 до 1200 мкм/с; виброактивность внутренних колец находится в пределах от 25 до 800 мкм/с; виброактивность для внутреннего и наружного колец имеет максимальное значение в диапазоне частот 300-1800 Гц, что соответствует числу волн на окружности от 19 до 98 для внутреннего и от 26 до 154 для наружного колец.

Далее проанализировали отклонения от круглости колец подшипников. Для этого по записанным на приборе Талиронд 73 профилограммам в различных диапазонах частот 1-500, 1-150, 1-50, 1-15, 15-500 (цифры означают количество неровностей на один оборот шпинделя) производилось измерение: отклонения от круглости; отклонение от радиуса; отклонение угла профиля. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

№ подшипника	Диапазон частот				
	1-500	1-150	1-50	1-15	15-500
	Места отклонений от круглости				
1	1-2/2	1-2/3-4	3/3-4	4/1	5/5
2	1/1	2/2	3/4	4/5	5/3
3	1/1	2/2-3	3/2-3	4/4	5/5
4	1/3	2/1-2	3/4	4/5	5/1-2
5	1/1-2	2/1-2	3/3	4/4	5/5
Итого: сумма мест	5,5/8,5	9,5/10	15/17	20/19	25/19,5

Определили, какие виды отклонений зафиксировал прибор в каждом частотном диапазоне. В технологии машиностроения принята классификация неровностей шага к высоте: L/H

< 50 – шероховатость; $50 < L/H < 1000$ – волнистость; $L/H > 1000$ – погрешность формы.

Для определения шага неровностей определили длину окружностей желобов ко-

лец исходя из номинальных размеров. Поделили длину окружности на количество волн, равное величине частотного диапазона. Получили шаг неровностей. Полученный шаг

неровностей относили к максимальной высоте волны (отклонению от круглости) в данном частотном диапазоне (таблица 3).

Таблица 3

Параметр неровностей	Диапазон частот				
	1-500	1-150	1-50	1-15	15-500
Шаг неровностей H , мм	0,622/ 0,383	2,073/ 1,276	6,22/ 3,83	20,73/ 12,76	20,73-0,622/ 12,76-0,383
Максимальная высота, H_{\max} , мм	0,00602/ 0,00708	0,006/ 0,00615	0,00592/ 0,00497	0,00546/ 0,00334	0,00258/ 0,00637
L/H_{\max}	103,3/ 54,1	345,5/ 207,5	1050,7/ 770,6	3796,7/ 3820,4	3796-103,3/ 3820,4-54,1

В дальнейшем были собраны подшипники и измерен ОУВ.

Анализ результатов показал, что: общий уровень вибрации подшипников с металлическим сепаратором колеблется от 85 до 105 дБ при нормированных 92 децибелах; вид сепаратора практически не оказывает влияния на общий уровень вибрации. Это влияние становится заметным при частотах $f > 5000$ Гц, не характерных для работы подшипника № 310А; экстремумы виброускорения во всех случаях зафиксированы при $f = 350-400$ Гц и $f = 2000-2500$ Гц.

Далее определили, какие виды неровностей вызывают экстремумы виброускорения в указанных частотных диапазонах. Для этого сопоставили частотные диапазоны, в которых проводились испытания виброактивности, отклонения от круглости и ОУВ по виброускорению. Такое сопоставление является условным и справедливо для идеального абсолютно твердого шара по реальному желобу.

Исходя из экспериментальных данных выявили, что интерес представляют отклонение от круглости в диапазонах частот 1-150 Гц и 1-50 Гц (т.е. волнистость) при контроле на приборе типа Талиронд-73 и отклонение от круглости в диапазонах частот 100-300 и 300-1800 при контроле виброактивности на приборе типа MWK-150.

Как говорилось, причиной появления вибраций является волнистость, проявляющаяся в определенных частотных диапазонах. Сопоставление параметров волнистости с параметрами режима резания (с частотой вращения изделия и шлифовального круга) позволило установить, что погрешность такого уровня переносят на кольца желобошлифовальные и желобополировальные станки. В процессе шлифования возникает волни-

стость высотой до 0,0115 мм на наружных и 0,01276 мм на внутренних кольцах. Это приводит к виброактивности колец до 3000 мкм/с в диапазоне 300-1800 Гц. Последующее полирование снижает высоту неровностей примерно в 2,0-2,5 раза. При этом виброактивность в диапазоне 300-1800 не превышает 575 мкм/с для наружных и 120 мкм/с для внутренних колец.

Для оценки влияния микроструктуры и микротвердости на ОУВ провели дополнительный эксперимент в условиях ЗАО «Автосельхозснаб».

Многочисленные результаты экспериментальных исследований систематизируются, выполняется энтропийный анализ по методу проф. А.Б. Логова [4]. Для изучения степени влияния каждого параметра эксперимента на результат реализуется численное представление степени зависимости результата от параметра. Наиболее рациональным решением этой задачи стало применение модельного вида представления параметров эксперимента.

Список литературы:

1. ГОСТ 24346-80. Вибрация. Термины и определения.
2. American National Standard of rolling bearing vibration and noise. ANSI B3.13 – 1976. 7p.
3. Блюменштейн В.Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.
4. Логов А.Б. Анализ состояния уникальных объектов. Учебное пособие/А.Б. Логов, Р.Ю. Зама-раев, А.А. Логов; ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет». – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2009. – 199 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ ОБЪЕМНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

А. С. Сивушкин

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва,
г. Кемерово, Россия

В настоящее время большой интерес вызывает изучение наноматериалов. Можно выделить следующие приоритетные направления: углеродные наноматериалы, нанокерамика, наноструктурированные покрытия, нанокомпозиты и объемные наноматериалы [1]. Последние являются одним из наиболее востребованных, имеющих реальное практическое применение и наиболее финансируемых направлений нанотехнологий. Область их применения достаточно широка: машино- и авиастроение, медицинские протезы и имплантаты, изделия для высокопрочного и надежного крепежа и др. Перспективность изучения объемных наноматериалов связана с их существенно более высокими характеристиками механических свойств по сравнению с традиционными [2, 3].

На данный момент существует множество методов получения объемных наноматериалов, среди которых хотелось бы выделить способы интенсивной пластической деформации (ИПД), в связи с их технологическими и экономическими преимуществами при обработке заготовок относительно большой формы. Данные способы обеспечивают измельчение микроструктуры в металлах и сплавах до наноразмеров за счет больших деформаций сдвига. Наиболее изученными способами ИПД являются: равноканальное угловое прессование (РКУП), всесторонняя изотермическая ковка (ВИК) и кручение под высоким давлением (КВД) [1, 4]. Заготовки, получаемые данными способами, имеют высокие эксплуатационные характеристики. Предел прочности обработанных металлов повышается в 1,5–3 раза, твердость также заметно возрастает, примерно в 1,5 раза, пластичность падает до приемлемых показателей [2].

Основными недостатками данных способов являются относительно малый размер и простая форма получаемых заготовок, тогда

как изделия машиностроения, как правило, имеют сложную форму. Вследствие этого, простая форма получаемых заготовок затрудняет промышленное внедрение способов ИПД и вызывает необходимость дальнейшей механической обработки полученных образцов. Вместе с тем, существенным препятствием для широкого применения наноматериалов является их структурная нестабильность. Температура рекристаллизации в наноструктурированных металлах на 20 – 30% ниже, чем в обычных [5]. Таким образом, механическая обработка наноматериалов, в частности резанием, приводит к росту зерен и частичной потере полученных при наноструктурировании свойств. Это вызвано влиянием температурного и силового факторов, действующих при механической обработке.

Как показывают исследования [3, 6, 7], механическая обработка точением и фрезерованием НК и СМК металлов, в частности титана ВТ1-0 и меди технической чистоты (Cu: 99,98%), полученных с помощью ВИК, приводит к снижению микротвердости обработанных образцов. При увеличении подачи и скорости резания эксплуатационные характеристики падают до уровня крупнокристаллических металлов. Это может быть объяснено частичной релаксацией напряженного состояния в поверхностном слое наноструктурированного образца, подвергнутого ИПД, что связано с повышением температуры в зоне резания вследствие повышения скорости резания и, как следствие, увеличением среднего размера зерна [6]. В работах [4, 6] по методике, разработанной в [7], были установлены рациональные режимы механической обработки для титана и меди, при которых материал сохраняет свои высокие эксплуатационные характеристики.

В наших исследованиях планируется изучение влияния режимов механической обработки на наноструктурированную сталь 45,

полученную способом РКУП. Выбор материала обоснован его широким применением в машиностроении. За основу будет взята методика из работы [7], но с учетом влияния силового фактора при обработке. Вместе с тем, необходимо учитывать, что поведение различных металлов отличается при нагреве, а также, что способ получения наноструктурированных материалов может влиять на эволюцию структуры при обработке [2].

Целью работы является: повышение эффективности изготовления изделий сложной формы из объемных наноматериалов. Для достижения данной цели сформулированы следующие задачи:

1. Разработать аналитическую модель расчета параметров структурного состояния в зависимости от режимов механической обработки.

2. Исследовать влияние режимов механической обработки на структурное состояние и свойства наноматериалов.

3. Разработать методику проектирования технологических процессов механической обработки наноструктурированных материалов.

Также планируется промышленное внедрение полученных результатов.

Список литературы:

1. Лякишев Н.П. Наноматериалы конструкционного назначения // Российские нанотехнологии. Т. 1. № 1–2. 2006. С. 71-81.

2. Валиев Р. 3. Наноструктурные материалы, полученные методом интенсивной пластической деформацией / Р. 3. Валиев, И. В. Александров. - М.: Логос, 2000. - 272 с.

3. Вerezub Н.В. Влияние механической обработки на микротвердость заготовок из титана с субмикрористаллической структурой, полученных интенсивной пластической деформацией / Н.В. Вerezub, Л.И. Пупань, А.А. Симонова // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. прац. – Харьков, 2011. – С. 214-221.

4. Рааб Г.И. Развитие научных основ технологий интенсивной пластической деформации и создание оборудования по схеме равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистых металлических полуфабрикатов / автореф. докт. диссерт. – Уфа, 2009. – 36 с.

5. Дегтярев М.В. О термической нестабильности микрористаллической структуры в однофазных металлических материалах / М.В. Дегтярев, А.В. Воронова, В.В. Губернаторов, Г.И. Чашухина // ДАН. 2002. Т.386. №2. С. 180-183.

6. http://www.nbuuv.gov.ua/portal/natural/vcpi/TvM/2010_54/st017.pdf

7. http://www.nbuuv.gov.ua/portal/natural/vcpi/TvM/2010_53/st015.pdf

ЛАЗЕРНО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНАЦИИ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

**Х. М. Рахимьянов, Б. А. Красильников, Н. П. Гаар, А. И. Журавлев,
А. А. Локтионов, Г. Б. Мироненко**
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия

Традиционная электрохимическая размерная обработка металлов и сплавов [1] основана на процессе электрохимического растворения материала детали при прохождении тока через электролит в зазоре между деталью-анодом и инструментом - катодом. Скорость анодного растворения, определяющая производительность процесса, подчиняется объединенному закону Фарадея, согласно которому количество прореагировавшего вещества пропорционально току, прошедшему через электроды. В отдельных случаях ускорить процесс анодного растворения при электрохимической размерной обработке только повышением тока невозможно, поскольку этому препятствуют процессы пассивирования анодной поверхности. Явление пассивации возникает из-за превышения скорости образования анодных продуктов над скоростью их удаления с поверхности. В результате вблизи анода или на его поверхности накапливаются плохо растворимые соединения, препятствующие электрохимическому взаимодействию материала анода с электролитом, что приводит к торможению процесса растворения или к его полному прекращению. Пассивное состояние обрабатываемого материала, характеризующееся образованием при электрохимическом растворении легко разрушаемых пленок на поверхности, снимается при введении в электролит активирующих анионов или увеличении скорости прокачки электролита через межэлектродный зазор. Однако, указанный способ имеет недостатки, заключающиеся в невозможности снятия отмеченными действиями пассивного состояния металлов и сплавов, при электрохимической обработке которых происходит образование труднорастворимых

пленок, имеющих зачастую хорошее сцепление с обрабатываемой поверхностью.

Существует лазерно-электрохимическая размерная обработка [2], в котором для активации процесса электрохимической обработки, а следовательно, и для повышения скорости анодного растворения, на обрабатываемую поверхность в процессе электрохимической обработки на анод налагается лазерное излучение. При наложении лазерного излучения осуществляется локальный нагрев электролита, что приводит к интенсивному конвективному перемешиванию жидкости вследствие разности температур всего объема электролита и столба жидкости, поглотившего лазерное излучение. Это способствует, с одной стороны, выносу продуктов реакции из зоны обработки, что облегчает подход новой порции анионов к обрабатываемой поверхности, а с другой стороны, при лазерной интенсификации процесса возможно избирательное возбуждение анионов в растворе электролита за счет сообщения им дополнительной энергии от лазерного излучения используемой длины волны для перехода в возбужденное состояние. Это приводит к усилению активирующих свойств анионов электролита и увеличению скорости образования их комплексов с ионами металла. В тоже время активированные лазерным излучением анионы электролита вытесняют кислород из образовавшихся химических соединений (пленок) и адсорбционных слоев на поверхности металла, что приводит к их разрушению. Кроме того, при наложении лазерного излучения возможно создание в пленках эффекта фотопроводимости, что способствует активации их анодного растворения. Одновременно погло-

¹ Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2012 г. и в плановом периоде в 2013-2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 «Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высокоэнергетическом воздействии»).

щение энергии лазерного излучения пленками приводит к их частичному или полному терморазрушению. Отмеченные механизмы воздействия лазерного излучения на процесс электрохимического растворения приводят к увеличению плотности тока, а следовательно, к повышению скорости анодного растворения материалов.

Ограничением широкого использования данного способа является невозможность увеличения скорости анодного растворения ряда металлов и сплавов из-за образования на их поверхности гаммы химических соединений в виде пленок, состоящих из различного рода окислов, что объясняется сложным химическим составом обрабатываемых материалов. Наличие на анодной поверхности различного рода химических соединений, имеющих различные свойства, в частности, разные коэффициенты поглощения в диапазоне длин волн используемого в способе лазерного излучения, приведет к тому, что одна часть химических соединений поглотит излучение данной длины волны, а другая – отразит его. В результате такой активации возможно терморазрушение только определенных химических соединений на обрабатываемой поверхности. В итоге пассивное состояние обрабатываемой поверхности в целом окажется не устраненным и роста скорости анодного растворения при электрохимической обработке не произойдет. Кроме того из-за большой скорости релаксации возбужденного состояния в тепло анионы электролита быстро теряют свои реакционные способности и также не могут осуществить пробой образующихся на обрабатываемой поверхности пленок. Это приводит к сужению функциональных возможностей данного способа при обработке широкого класса металлов и сплавов.

Выходом из сложившейся ситуации может стать лазерно-электрохимическая размерная обработка с использованием двух длин волн разного спектра (инфракрасного и ультрафиолетового) в одном пучке.

Совместное воздействие длин волн из инфракрасного и ультрафиолетового спектра излучения позволяет получить двухступенчатое возбуждение молекул электролита. Это повышает реакционную способность

анионов электролита по сравнению с одноступенчатым возбуждением. Кроме того, время жизни возбужденных анионов электролита значительно больше, чем при воздействии лазерного излучения одной длины волны. Таким образом, активация процесса электрохимического растворения металлов и сплавов двумя длинами волн ускоряет процесс анодного растворения вещества в течение более длительного промежутка времени, чем при одноступенчатом возбуждении. Наряду с увеличением скорости анодного растворения за счет повышения реакционной способности анионов электролита при активации процесса лазерным излучением с комбинированным ультрафиолетовым и инфракрасным спектром происходит терморазрушение многокомпонентных различного типа пленок на обрабатываемой поверхности. Удаление пленок с поверхности приводит в свою очередь к увеличению скорости анодного растворения сложнoleгированных металлов и сплавов.

Таким образом, предложенный способ размерной обработки металлов и сплавов позволяет расширить функциональные возможности его использования за счет увеличения скорости анодного растворения материалов, образующих группы многокомпонентных пленок на обрабатываемой поверхности в процессе электрохимического растворения и повышения реакционной способности анионов электролита для пробоя образующихся пленок. Указанный способ лазерно-электрохимической размерной обработки запатентован (Патент № 2451582 «Способ размерной обработки металлов и сплавов») и отмечен Серебрянной медалью XL Международного салона «Inventions Geneva» 2012 г.

Список литературы:

1. Электрохимическая обработка металлов. Под ред. Мороза И.И. Москва: Машиностроение, 1969 г. - 208 с.
2. Филимоненко В.В., Самусев В.Г. Воздействие излучения ОКГ на анодное растворение металлов. Электрохимические и электрофизические методы обработки. Новосибирск: НЭТИ, 1976 г. № 4. С. 48-49).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПОИСКОВОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ

Е. Ю. Татаркин, А. М. Иконников, Р. Н. Шапоров

Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Развитие современного производства невозможно без проектирования и внедрения инновационных технологий. Поддержание конкурентоспособности продукции машиностроения непрерывно требует решения задач, связанных с сокращением сроков создания изделий, снижением материальных затрат на их изготовление и обеспечением максимального соответствия качества продукции требованиям потребителя. Оперативное решение технологических задач в современных условиях должно предполагать использования системного подхода, способного обеспечить целенаправленный осознанный поиск инновационных высокоэффективных технологий и создание новых технологических методов изготовления продукции с конкурентоспособными технико-экономическими показателями.

Магнитно-абразивная обработка [1], являясь финишным методом, обеспечивает формирование параметров качества ответственных поверхностей деталей, требования к которым постоянно возрастают.

Это обуславливает необходимость совершенствования методов поиска новых решений, расширяющих технологические возможности современных методов обработки, повышающих производительность труда и качество обработки (низкая шероховатость, отсутствие дефектов поверхности в виде сколов и микротрещин).

Для создания нового инструмента предлагается использовать методологию поискового конструирования [2] и массивы патентов и авторских свидетельств на изобретения для магнитно-абразивной обработки с заданной глубиной ретроспективы и обзором по ведущим странам мира. Классификацию и систематизацию массивов охраняемых документов необходимо проводить на основе анализа формул на изобретения, относящиеся к устройствам и способам.

В изобретениях, относящихся к формуле устройства, следует выделять следующие признаки:

- наличие конструктивного элемента;
- наличие связи между элементами;
- взаимное расположение элементов;
- форма выполнения элемента или устройства в целом, в частности, геометрическая форма;
- форма выполнения связи между элементами;
- параметры и другие характеристики элемента и их взаимосвязь;
- материал, из которого выполнен элемент или устройство в целом;
- среда, выполняющая функцию элемента.

В изобретениях, относящихся к формуле способа, признаками являются:

- наличие действий или совокупности действий;
- порядок выполнения действий во времени
- условия осуществления действий;
- режим;
- использование веществ, устройств.

Эффективным методом поиска новых решений является синтез с использованием И-ИЛИ-графов. Дерево, полученное в результате совмещения общих элементов и признаков известных решений, называется деревом прошлого опыта. Оно обладает незначительной информативной мощностью по новизне технологических решений. В связи с этим общее И-ИЛИ-дерево необходимо расширить путем использования методов активизации творчества (мозговой штурм, метод эвристических приемов, контрольные перечни и т.д.). Для синтеза перспективных инструментов и способов обработки И-ИЛИ-граф целесообразно дополнить признаками, полученными на основе анализа законов строения и закономерностей развития технологического

обеспечения операций магнитно-абразивной обработки.

Структура общего И-ИЛИ-дерева конструкций инструментов и способов обработки, полученного расширением дерева прошлого опыта, не является закрытой. Дополнение проводится также и на основе изучения новых патентов, выданных на способы и инструменты для операций магнитно-абразивной обработки и на функционально близкие технические объекты. Возможно комбинирование ветвей дерева и элементов между собой. Такой подход позволяет проектировать новые решения, отвечающие требованиям патентной чистоты и расширяющие технологические возможности магнитно-абразивной обработки.

Для построения И-ИЛИ графа конструкций устройств для магнитно-абразивной обработки создан информационный массив. Информационный массив создан на основании поиска по патентным фондам шести стран: России (СССР), США, Великобритании, Франции, ФРГ и Японии за период с 1956 по 2003 годы. Для повышения его информативности и снижения трудоемкости построения И-ИЛИ-дерева из полученного множества отобраны только те устройства, которые отличаются оригинальностью, перспективностью и высокими технико-экономическими показателями. Из них составлено исходное множество. Объем множества - около пятисот описаний технологических решений. Фрагмент И-ИЛИ графа представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фрагмент И-ИЛИ графа устройств для магнитно-абразивной обработки

В результате синтеза на И - ИЛИ графе сгенерированы различные конструкции устройств для магнитно-абразивной обработки, на три из которых получены патенты на изобретения.

Устройство для магнитно-абразивной обработки патент RU №2220836 (рисунок 2) содержит корпус и перемещающийся относительно него магнитный индуктор, установленный с возможностью оцилляции. Внутри его магнитной головки размещены верхний с механизмом перемещения и нижний блоки из ряда поочередно расположенных вертикальных магнитов и магнитопроводов. Магниты и магнитопроводы расположены в шахматном порядке рядами и подпружинены относительно монолитной части верхнего блока с возможностью фиксации каждого ряда в нижнем блоке магнитного индуктора.

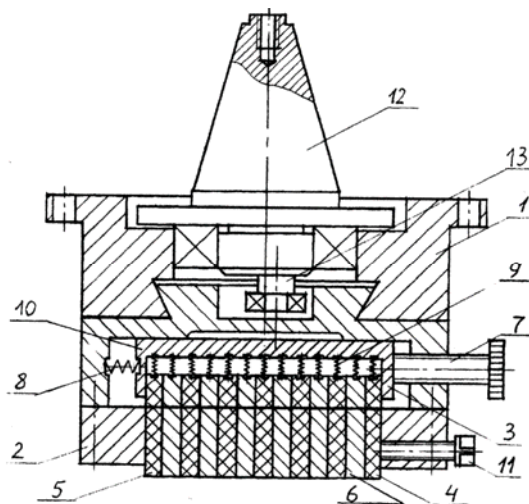


Рисунок 2 – Устройство для магнитно-абразивной обработки патент RU №2220836

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПОИСКОВОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ

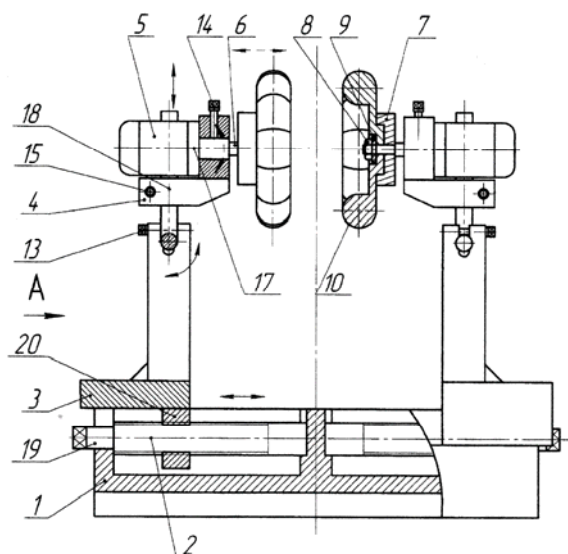


Рисунок 3 – Устройство для магнитно-абразивной обработки патент RU №2220836

Устройство для магнитно-абразивной обработки патент RU №2220836 (рисунок 3) содержит магнитные системы с индукторами, расположенные друг против друга с возможностью перемещения и поворота. Индукторы закреплены на валах электродвигателей и собраны из чередующихся относительно их рабочих поверхностей постоянных магнитов и магнитопроводов. Рабочие поверхности индукторов выполнены тороидальными. Каждая магнитная система установлена с возможностью перемещения вдоль трех взаимно перпендикулярных осей координат и поворота на угол 360° вокруг каждой из этих осей. Такая конструкция позволяет обрабатывать широкий спектр поверхностей деталей на различном металлорежущем оборудовании с минимальными затратами на переналадку.

Устройство для магнитно-абразивной обработки патент RU №2220836 (рисунок 4) содержит магнитный индуктор, выполненный в виде корпуса с расположенным в нем блоком из радиально установленных и чередующихся между собой постоянных магнитов и магнитопроводов, и хвостовик. В корпусе магнитного индуктора выполнены каналы подвода и канал отвода жидкой смеси.

Применение метода поискового конструирования при проектировании устройств для магнитно-абразивной обработки позволяет эффективно разрабатывать и совершенствовать устройства. Полученные патенты России

RU №2220836, RU №2314185, RU №78111 на устройство для магнитно-абразивной обработки подтверждает эффективность применяемого метода.

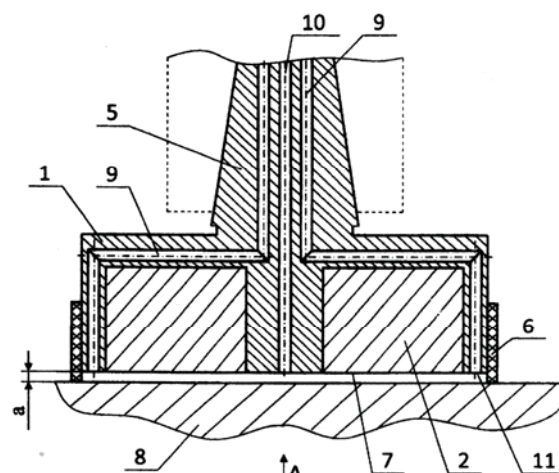


Рисунок 4 – Устройство для магнитно-абразивной обработки патент RU №2220836

Список литературы:

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение. 1989. – 176 с.
2. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании)/ А.И. Половинкин, Н.К.Бобков, Г.Я. буш и др.; под ред. А.И. Половинкина.-М.; Радио и связь, 1981.-344., ил.
3. Патент на изобретение RU №2220836. Устройство для магнитно-абразивной обработки / Федоров В.А., Ситников А.А., Татаркин Е.Ю., Иконников А.М., Балашов А.В., Коневский И.Ф. – Оpub. в Б.И., 2004, № 1.
4. Патент на изобретение RU №2314485. Устройство для магнитно-абразивной обработки / Иконников А.М., Полуденный В.В., Федоров В.А. – Оpub. в Б.И., 2008, № 1.
5. Патент на полезную модель RU №78111. Устройство для магнитно-абразивной обработки / Федоров В.А., Балашов А.В., Иконников А.М., Карпов А.П., Ситников А.А., Татаркин Е.Ю. – Оpub. в Б.И., 2008, № 32.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОДУЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

В. А. Абанин, А. Н. Ромашев, В. В. Беломыцев, Н. И. Десятов

Бийский технологический институт,
г. Бийск, Россия

Целью данной работы является разработка измерительной оснастки (средства измерений), встроенного в модульную инструментальную оснастку (МИО) [1] для получения диагностической информации о составляющих вектора силы резания действующих непосредственно на режущий инструмент (РИ).

Одним из наиболее распространенных способов контроля состояния РИ является способ, основанный на измерении силовых параметров процесса резания. Суть реализованного в данных исследованиях метода построения измерительной оснастки заключается в деформировании упругого элемента многокомпонентного датчика силы резания [2] встроенного в МИО. При этом многокомпонентный датчик силы выполняется автономным функциональным узлом (измерительным модулем), измерительные и информационные возможности которого планируется расширить путем дополнительного размеще-

ния цепей измерения температуры и вибрации. Исследование и контроль метрологических характеристик измерительного модуля обеспечивается экспериментальными приемами, применяемыми в силоизмерительной и испытательной технике [3].

Для выбора базовой конструкции упругого элемента измерительной оснастки на первом этапе исследований проводилось моделирование силовых процессов в МИО с использованием метода конечных элементов [4]. Методика моделирования включала анализ полей деформации во внутреннем объеме инструментальной оснастки с учетом предварительного усилия прижатия сменного модуля к корпусу, а также различных значений силы резания и направлений ее действия в пространстве.

Моделирование полей деформаций в МИО проведено в несколько последовательных этапов, отраженных в таблице.

№	Усилие прижатия МИО, кН	Составляющие усилия резания, кН			Максимальная деформация, мм
		Px	Py	Pz	
1	20	-	-	-	0,020
2	20	4	4	4	0,032
3	20	4	4	0	0,028
4	20	0	4	4	0,029

На первом этапе модель нагружалась только усилием прижатия инструментальной оснастки к корпусу. Результаты моделирования первого этапа моделирования подтверждают, что максимальные смещения в детали составляют 0,0197 мм и не превышают предельных деформаций по условиям жесткости 0,03-0,05 мм.

Из анализа второго и последующих этапов моделирования следует, что при введении в модель дополнительной силы – силы резания, меняется распределение составляющих вектора силовой нагрузки, но максимальная деформация не превышает предельно допустимого значения.

Для проверки подлинности результатов моделирования был изготовлен опытный образец упругого элемента из стали ХВГ и производилось его нагружение на разрывной машине Р-10 (рисунок 1).

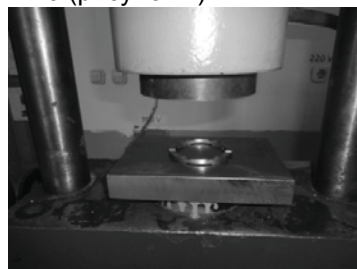


Рисунок 1 – Упругий элемент на разрывной машине Р-10

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОДУЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

По результатам нагружения был построен график зависимости деформации упругого элемента от воздействующего на него усилия (рисунок 2).

Как видно из графиков полученные в результате моделирования данные совпадают с реальными результатами, поэтому полученную форму упругого элемента можно считать окончательной.

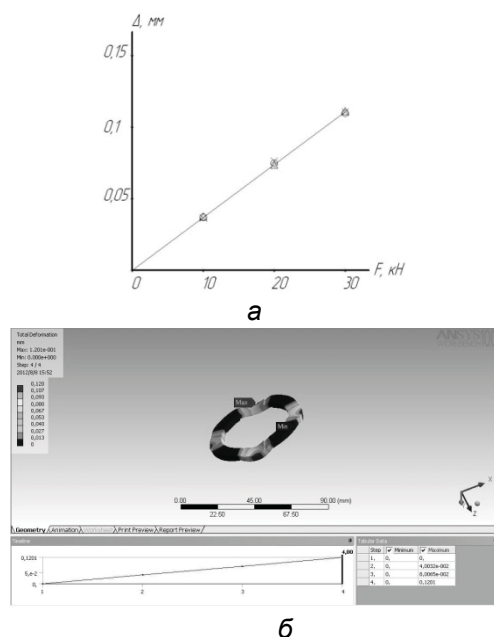


Рисунок 2 – График зависимости деформации упругого элемента от воздействующего на него усилия: а – практический; б – теоретический

Полученные данные о деформации применены для обоснования базовой конструкции упругого элемента многокомпонентного датчика, физический принцип работы которого основан на тензорезисторном эффекте [5]. Результаты моделирования позволили обосновать зоны размещения тензорезисторов, уровни воспринимаемых тензорезисторами деформаций, геометрические размеры тензорезисторов с учетом ограничений на предельные перемещения модульной оснастки при ее работе.

Упругий элемент многокомпонентного датчика силы резания, изготовлен кольцевой формы, на половине высоты которого выполнены симметрично относительно друг друга в плоскости перпендикулярной вертикальной оси кольца четыре плоские балки, воспринимающие деформацию от действия вектора силовой нагрузки (рисунок 3). Узлы ввода силы размещены в середине балок. Нижняя

сторона кольца опирается на четыре выступа, являющиеся силоопорными элементами балок, а на противоположных сторонах каждой балки размещены тензорезисторы, соединенные в гальванически независимые мостовые цепи. Место установки упругого элемента во внутреннем объеме модульной оснастки выбрано на основе анализа модели силового процесса в модульной инструментальной оснастке. В датчике предпочтительно применять фольговые тензорезисторы с базой 3 мм с сопротивлением 400 Ом. По сравнению с проволочными тензорезисторами они имеют повышенную чувствительность к деформации упругого элемента, что позволяет повысить уровень выходных сигналов. Кроме этого у фольговых тензорезисторов меньший уровень температурных составляющих погрешностей и они более устойчивы к неинформативному воздействию составляющих деформации упругих элементов. При соответствующем подборе материала упругого элемента в конструкции измерительного модуля допустимо применение металлопленочных тензорезисторов, изготовленных по микроэлектронной технологии из наноструктурированных материалов с пониженной чувствительностью к воздействию температурных нагрузок при одновременном размещении функциональных узлов преобразования аналоговых сигналов в цифровой код, микропроцессоров и интерфейсом для ввода информации ПЭВМ. Современная микроэлектронная технология обеспечивает жесткое закрепление тензорезисторов на упругих элементах, что исключает нестабильные свойства клеевого закрепления. Помимо этого групповая технология изготовления тензорезисторов мостовых цепей формирует в едином технологическом процессе тензорезисторы с идентичными параметрами (коэффициенты тензочувствительности, начальные сопротивления), что создает необходимые условия для обеспечения высокоточного измерения составляющих вектора силы. С введением в модульную инструментальную оснастку дополнительно датчиков (сенсоров) измерения температуры и параметров вибрации измерительный модуль является многопараметрической цифровой сенсорной измерительной системой [6]. Она позволит обосновывать физические критерии диагностирования состояния лезвия режущего инструмента, реализуемые программным путем и с выдачей соответствующих команд по корректировке хода технологического процесса.

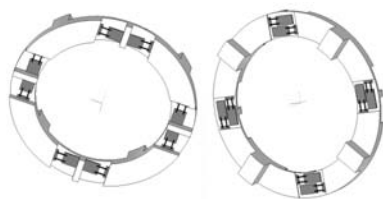


Рисунок 3 – Расположение тензорезисторов мостовых цепей на упругом элементе датчика силы

Принцип работы измерительной оснастки заключается в следующем (рисунок 4). При закреплении сменного инструментального модуля 3 происходит начальное деформирование упругого элемента 1 за счет того, что толщина упругого элемента h больше глубины паза, в котором он находится, при этом деформирование упругого элемента 1 ограничивается усилием закрепления инструментального модуля 3. Таким образом, происходит требуемая первоначальная деформация упругого элемента 1 и обеспечивается необходимая жесткость модульной инструментальной оснастки. При точении на режущий элемент инструментального модуля 3 действует сила резания. При этом деформация инструментального модуля 3 через узлы ввода упругого элемента 1, соприкасающиеся с торцом инструментального модуля 3, передается на плоские балки упругого элемента 1 за счет имеющегося зазора Δ между торцами корпуса 2 и инструментального модуля 3. Тензорезисторы, закрепленные на плоских балках упругого элемента 1, изменяют свое сопротивление пропорционально деформации плоских балок, которая, в свою очередь, пропорциональна приложенной нагрузке, вследствие чего на выходе мостовых цепей формируются электрические сигналы, пропорциональные составляющим вектора силы резания.

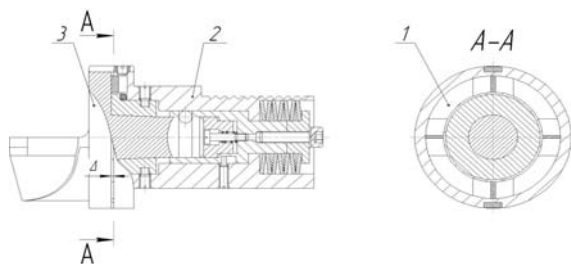


Рисунок 4 – Модульная инструментальная оснастка со встроенным упругим элементом многокомпонентного датчика силы

Дальнейшее совершенствование измерительной оснастки планируется провести в создании многопараметрической сенсорной информационно-измерительной системы диагностирования состояния лезвия режущего инструмента на основе физических критериев, основанных на комплексном анализе результатов измерения составляющих силы резания, температуры и параметров вибрации.

Применение средств автоматизированного диагностирования модульной инструментальной оснастки позволит снизить простои оборудования, связанные с потерей инструмента работоспособности, а также сократить затраты времени на подналадку инструмента (его размерное регулирование) за период его работы без замены.

Список литературы:

1. Патент RU № 97662, 2010 г.
2. Патент на изобретение RU № 2455121, 2012 г.
3. Базжин Ю.М. Исследование и разработка электротензометрических силоизмерительных датчиков высокой точности для промышленного контроля: Дис.канд. техн. наук. – М., 1964. – 181 с.
4. Беломыцев В.В., Ромашев А.Н., Абанин В.А. Модульная инструментальная оснастка со встроенным многокомпонентным датчиком для контроля составляющих силы резания. // Сборник работ победителей отборочного тура Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых по нескольким междисциплинарным направлениям, г. Новочеркасск, октябрь-ноябрь 2011 г. / Мин-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. Гос. Техн. Ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: - Лик, 2011. – 126-129 с.
5. Адамов Ю.Ф., Сигатуллин А.Г., Сомов О.А. Тенденции развития сенсорных систем и интеллектуальных датчиков/ Датчики и системы- № 5.- 2011.- с. 58-59.
6. В.А. Абанин, Е.А. Абанина, Г.А. Привалов. Совершенствование методов и средств измерения силовых параметров в испытательной технике/ Датчики и системы- № 11, 2010.- С 11-16.

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ

Г. А. Околович, В. И. Левков, Е. В. Петрова

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Стальные компрессорные кольца изготавливают из пружинной проволоки 65Г, маслосъемные – из стали 20Х13 после холодной пластической деформации и термофиксации при температуре 560-580° С. Такие высокие температуры нагрева позволяют применять упрочняющие режимы химико-термической обработки поверхности.

Химико-термическую обработку применяют для повышения твердости и износостойкости, сопротивления усталостной и контактной выносливости.

Для изделий, работающих в условиях контактного трения, весьма большое значение имеет точность размеров после химико-термической обработки, причем лучшим является тот способ, после которого не нужна механическая обработка. В этом случае обеспечивается почти полный контакт поверхностей и исключаются ударные нагрузки, создающие обычно начальные условия разрушения.

В интересах улучшения эксплуатационной надежности и повышения срока службы материалы поршневых колец, особенно для двигателей внутреннего сгорания малой и большой мощности, во многих случаях обрабатываются, чтобы повысить износостойкость и улучшить сохранение упругости. Но с увеличением износостойкости поршневых колец ухудшается прирабатываемость.

Поэтому приработка, т.е. обоюдное приспособление рабочих поверхностей кольца и цилиндра, может стать опасной для обеих названных деталей. Исключительно высокие удельные нагрузки, которые возникают при точечном соприкосновении (преимущественно в начале процесса приработки) между рабочими поверхностями, а также повышенная утечка газов на уплотнительных поверхностях, которая продолжается до образования соприкосновения по замкнутой линии, часто не дают возможности с самого начала вести эксплуатацию с полной нагрузкой и номинальными числами оборотов.

Поршневое кольцо можно считать «достаточно приработанным» в том случае, если оно уплотняет по всей окружности и, при этом, при любых условиях эксплуатации мо-

жет нагружаться без опасения максимальной допустимой нагрузкой. Обычно же кольцо считается «полностью приработанным» только тогда, когда металлическая зеркальная рабочая поверхность образовалась на всей рабочей поверхности кольца. Однако это окончательное состояние рабочей поверхности кольца не является необходимой предпосылкой для безопасного выхода на полную нагрузку, так как это возможно также и тогда, когда, например, на кольцо нанесено вспомогательное покрытие для приработки, выдерживающее достаточную нагрузку, и это покрытие обеспечивает уплотнение. Таким образом, следует различать состояние полного уплотнения кольца и состояние его полной приработки; состояния эти могут достигаться в моменты весьма далеко отстоящие друг от друга по времени.

Для сокращения времени приработки и исключения повреждений или затруднений в процессе приработки можно использовать различные пути:

а) позаботиться о том, чтобы на рабочих поверхностях постоянно имелось столько смазочного масла, что исключается чрезмерное нагревание в отдельных точках рабочей поверхности вследствие очень высоких удельных давлений и прорыва горячих газов;

б) нанести на рабочую поверхность кольца поверхностный слой, который – равно как и возникающие из него продукты изнашивания – не приводил бы к заеданию с материалом цилиндров или колец;

в) искусственно улучшить процесс изнашивания наружных слоев поверхностей колец, таким образом, чтобы поверхностное соприкосновение между кольцом и стенкой цилиндра, обеспечивающее нормальное уплотнение, образовалось быстрее, чем этого можно достичь, когда рабочие поверхности получили просто чистовую обточку.

Для улучшения прирабатываемости и повышения износостойкости нами разработана технология трехслойного упрочнения поверхности ПК, которая включает карбонитрацию, ионную имплантацию нитрида титана с последующим сульфидированием в электролитной плазме.

Нами выполнены исследования износостойкости ПК после хромирования, карбонитрации и ионного азотирования. Карбонитрацию стальных маслосъемных поршневых колец из стали 20Х13 ведут при разложении карбамида в расплаве солей или в газовой среде в интервале температур 540 – 580 °С в течение 1 часа. Глубина карбонитридного слоя составляет 12 – 15 мкм при твердости HV 1158 – 1513.

Применение карбонитрации для обработки деталей обеспечивает повышение усталостной прочности на 50 – 80 %, резкое повышение сопротивления износу по сравнению с цементацией, нитроцементацией, азотированием. Полученные на поверхности нитридные фазы даже при отсутствии смазки не проявляют склонности к схватыванию.

Для устранения коробления маслосъемного поршневого кольца, вследствие температурного воздействия при карбонитрации, а также диффузионного насыщения поверхности углеродом и азотом, осуществляют алмазную притирку в гильзе со снятием карбонитридного слоя 3 – 4 мкм.

Последующее нанесение покрытия осуществляют путем ионной имплантации нитридов титана TiN_4 толщиной 5 – 7 мкм на поверхность карбонитридного слоя. Ионы титана высокой энергии разогревают поверхность до 600 °С и внедряются на глубину 1 – 2 мкм. Достоинство ионной имплантации обусловлено весьма низкими температурами процесса (500–600 °С), высокой твердостью нитрида титана (до HV 2400), отсутствием коробления изделий, что весьма важно для ажурных маслосъемных поршневых колец и необходимости в доводочных операциях механической обработки.

После этого, для улучшения прирабатываемости поршневых колец и повышения адгезии покрытия к основе, выполняют сульфидирование в электролитной плазме. Время обработки составляет 20 – 40с. В результате образуется пористый слой Fe_2S толщиной 8 – 10 мкм и твердостью 915 – 1158 HV.

Сравнительные испытания износостойкости стальных маслосъемных ПК из стали 20Х13 проводились после упрочнения различными способами (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты испытаний стальных маслосъемных поршневых колец из стали 20Х13 на износостойкость

№ п/п	Способ упрочнения	Микротвёрдость, HV ₁₀₀	Глубина слоя, мкм	Потеря веса, мг
1	Электролитическое хромирование	940 – 1088	30 – 40	35 за 13 часов
2	Ионное азотирование	915 – 1158	5 – 7	18 за 3 часа
3	Оксикарбонитрация в расплаве солей	1158 – 1513	10 – 12	33 за 12 часов
4	Газовая карбонитрация	1158 – 1513	12 – 15	23 за 15 часов
5	Карбонитрация + нитрид титана (TiN_4) + сульфидирование	915 – 1188	18 – 20	12 за 15 часов

Выводы:

1. Испытания показали, что карбонитридный слой не только не уступает хромированному, но и несколько превосходит его.
2. Наилучшие результаты достигаются после нанесения трёхслойного упрочнения: карбонитрация, осаждение нитридов титана и сульфидирования, которые в 2 раза превосходят традиционное хромирование.

Список литературы:

1 Пат.2386726 РФ, заявл. 01.10.08; опубл. 20.04.10, Бюл. №11. Способ упрочнения поверхностей стальных поршневых ко-

лец. Околович Г.А., Гурьев А.М., Околович А.Г.

2 Чаттерджи Фишер Р. Азотирование и карбонитрация / Р. Чаттерджи Фишер. – М. Металлургия, 1986. – 324 с.

3 Прокошкин Д. А. Химико-термическая обработка металлов - карбонитрация / Д. А. Прокошкин. – М. : Металлургия, 1984. – 240 с.

4 Пат. 2109075 Российская Федерация, МПК⁷ C21D9/22C23, C8/26. Способ упрочнения поверхностей стальных изделий / Г. А. Околович, Л.

5 Т. Аксенова, Т. Г. Шарикова, И. В. Околович; заявитель и патентообладатель Алт. гос. тех. ун-т. – № 96105231/02; заявл. 19.03.96; опубл. 20.04.98, Бюл. № 11.

ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН¹

Б. А. Красильников, В. В. Янпольский, О. К. Нураев, Д. О. Астапенко

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия

Современные полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы представляют собой чрезвычайно сложные устройства, отдельные компоненты которых имеют размеры не более доли микрометра. Изготовление таких устройств осуществляется на монокристаллических полупроводниковых пластинах с использованием фотолитографии. В последнее время наибольшее применение среди полупроводниковых материалов получил монокристаллический кремний. Кремневые пластины, предназначенные для формирования изделий микроэлектроники, характеризуются совершенной атомной структурой и высокой геометрической точностью, поскольку от этого зависят электрические параметры готовых полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Формирование геометрической точности и качества поверхности пластин из кремния осуществляется на операциях механической обработки, в частности, при шлифовании. Именно при выполнении операции шлифования наблюдается большой процент появления дефектных пластин, достигающий в некоторых случаях 65% от всей партии обработанных деталей [1]. Одной из причин снижения качества и точности при изготовлении полупроводникового прибора является воздействие силовых и температурных нагрузок, возникающих в процессе обработки. Попытки снижения режимов шлифования с целью обеспечения необходимого качества поверхностного слоя, приводят к значительному увеличению длительности технологического процесса изготовления полупроводникового прибора, а следовательно, к повышению себестоимости. Решение вопросов по повышению качества поверхностного слоя полупроводникового материала возможно за счет снижения тепловых и деформационных воздействий в процессе формообразования при

обеспечении необходимой производительности возможно при использовании технологий, основанных на комбинировании электрофизикохимических процессов, в частности технологии электроалмазного шлифования (ЭАШ). Электроалмазное шлифование основано на совмещении процессов электрохимического растворения поверхности пластины и механического съема материала, что приводит к уменьшению силового воздействия, следовательно, позволяет производить формообразование с большими глубинами резания, чем при традиционном способе обработки. Однако для эффективного применения ЭАШ при формообразовании подложки из кремния необходимо проведение комплексных исследований, направленных на установление параметров качества, производительности от режимов обработки.

Исследования, направленные на установление зависимостей производительности и качества обработки пластин из кремния от режимов формообразования осуществлялись на экспериментальной установке для электроалмазного шлифования [2]. Обработка осуществлялась по упругой схеме (рисунок 1.)

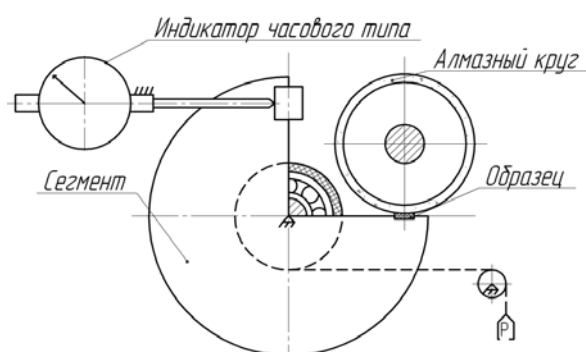


Рисунок 1 – Схема шлифования пластин из кремния

¹ Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2012 г. и в плановом периоде в 2013-2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 "Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высокоэнергетическом воздействии")

При проведении экспериментов в качестве электролита использовался 10% водный раствор NaNO_3 . Напряжение технологического тока составляло $U=8$ В. Скорость главного движения равнялась 15-17 м/с. В качестве инструмента применялся алмазный круг на металлической связке АСВ 80/63 100% М1. Давление пластины из кремния на алмазный

круг варьировалось от $3,8 \text{ Н/см}^2$ до $11,4 \text{ Н/см}^2$.

В результате проведенных исследований было установлено, что максимальная производительность процесса электроалмазного шлифования кремниевых пластин ($100 \text{ мм}^3/\text{мин.}$) достигается при давлении $11,4 \text{ Н/см}^2$ (рисунок 2).

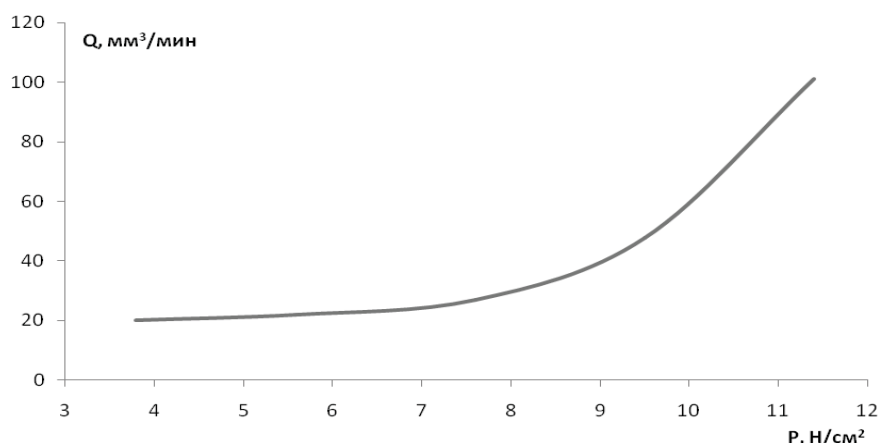


Рисунок 2 — Зависимость производительности процесса электроалмазного шлифования кремниевых пластин от давления.

Следует отметить, что достигнутое значение производительности процесса электроалмазного шлифования кремниевых пластин в 2...2,5 раза выше, чем при обработке по существующей технологии. Шероховатость поверхности кремниевых пластин составила $Ra 2,5$, что соответствует требованиям по качеству пластины из кремния после выполнения операция чернового шлифования.

Список литературы:

1. Курносов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Учеб. пособие для вузов. —3-е изд., пераб. и доп. —М.: Высш. шк., 1986. —368с.: с ил.
2. Янпольский В.В. Установка для оценки влияния гидродинамических факторов на анодное растворение стали Р6М5 в электролитах на водной основе. Сб. тез. Докладов международной научно-технической конференции «Современные технологические системы в машиностроении». — Барнаул, 2003. — 174-175 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ КОНИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ВПАДИНЫ ЧАСТИЧНО-РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА

И. С. Буканова, И. И. Ятло, Е. О. Одинаев

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Для определения площади, занимаемой частично-регулярным микрорельефом (ЧРМР) в виде конусных впадин шахматного расположения по ГОСТ 24773-81, необходимо знание зависимости между усилием вдавливания деформирующего элемента и глубиной впадины. Микрорельеф наносится центробежно-инерционным накатыванием на внутренней поверхности охватывающей детали неподвижного соединения типа «корпус-штулка».

В настоящее время широкое применение нашло использование метода конечных элементов для восстановления диаграммы σ - ε по данным индентирования (диаграмма вдавливания P - h). При индентировании применяют разнообразные типы инденторов (шар, пирамиды, конусы) с разными углами заточек этих инденторов.

Моделирование внедрения индентора в упругопластический материал было выполнено с применением программного комплекса ANSYS. Индентор и образец рассматривались как тела вращения и задачу решали в осесимметричной постановке. Конечно-элементная модель, используемая в расчетах, приведена на рис. 1. Для построения конечно-элементной сетки был выбран двухмерный элемент объемного напряженно-деформированного состояния PLANE183 с восемью узлами, который может использоваться для моделирования осесимметричного деформированного состояния [4]. Геометрические размеры моделируемого образца выбирались такими, чтобы пластическая деформация не достигала боковых границ образца. Граничные условия задавались в перемещениях. Узлы вдоль оси вращения могут перемещаться только вдоль оси u и все узлы нижней грани закреплены. Для осуществления контакта индентора с материалом задавали контактную пару индентор-тело, считая

контактирующими элементами верхнюю грань тела и боковую поверхность индентора с контактными элементами TARGE169, CONTA172. На поверхности контакта принимали закон трения Амонтона-Кулона. Поставленную задачу решали с применением процедуры Ньютона-Рафсона и фронтального прямого решателя. Разбиение конечно-элементной сетки было равномерное с областью сгущения под индентором. Алмазный индентор рассматривали как линейно упругий изотропный материал с модулем Юнга $E=1140$ ГПа и коэффициентом Пуассона $\mu=0,07$. Материал, в который осуществляется внедрение индентора, – упругопластический. Чисто упругая деформация имеет место только в начале процесса индентирования и подчиняется закону Гука. В пластическом состоянии материал подчиняется условию текучести Мизеса в виде степенной функции от двух эмпирических коэффициентов a и b :

$$\sigma = a\varepsilon^b, \quad (1)$$

где σ – напряжение текучести Мизеса; ε – полная деформация по Мизесу; a и b – числовые коэффициенты. В исходном состоянии в материале отсутствуют внутренние напряжения. Максимальную величину вертикального перемещения индентора изменяли от 25 нм до 500 нм. Для обеспечения оптимального соотношения между точностью расчета и временем вычисления выполнили конечно-элементное моделирование внедрения индентора в материал с разным количеством элементов в теле. Измельчение сетки в окрестностях элемента было проведено с применением команды «EREFINE». На рис. 1 приведены разные варианты конечно-элементной сетки, которые использовали при расчетах.

В таблице 1 представлены параметры конечно-элементной сетки и результаты расчета. Диаграмма вдавливания представляет

собой зависимость усилия внедрения P от глубины внедрения индентора h . Она хорошо описывается квадратичной зависимостью в виде закона Кика [6]:

$$P = ch^2 \quad (2)$$

где P - усилие внедрения, h - глубина внедрения, c - числовой коэффициент.

Здесь коэффициент c зависит от угла индентора 2α и упругопластических свойств материала, в который вдавливается индентор, и практически не зависит от глубины

вдавливания. Для проверки адекватности конечно-элементного моделирования процесса внедрения конического индентора в упруго-пластический материал были проведены эксперименты по внедрению конического индентора в цилиндрические образцы из стали 40Х диаметром и высотой по 20 мм со шлифованными торцевыми поверхностями на испытательной машине. Индентор был изготовлен из твердого сплава ВК-5 с углом при вершине 120° .

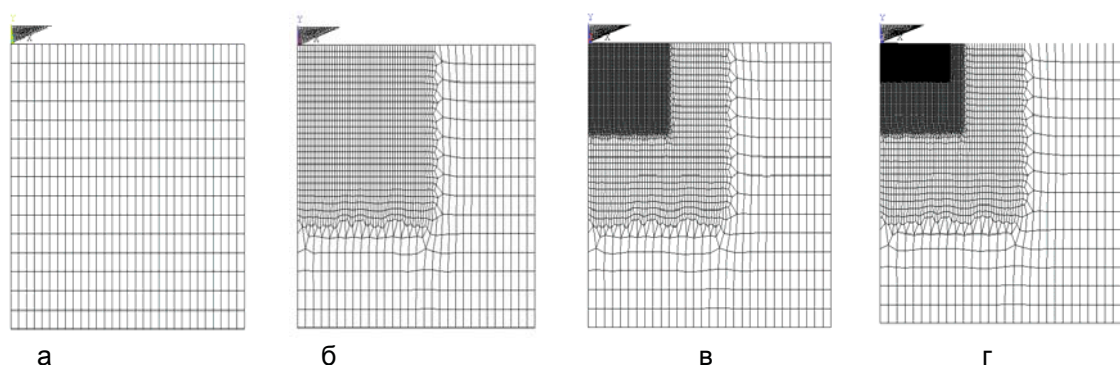


Рисунок 1 – Варианты конечно-элементной сетки

Было произведено 25 вдавливаний на глубину до 1,6 мм, при этом фиксировали изменения усилия вдавливания и глубины

внедрения индентора. По результатам экспериментов построили диаграмму вдавливания.

Таблица 1- Параметры конечно-элементной сетки и результаты расчета

Вариант конечно-элементной сетки на рисунке 1.	а	б	в	г
Размер элемента, мкм	0,8-1,6	0,3-0,6	0,1-0,2	0,03-0,06
Количество элементов	600	1996	6484	19656
Коэффициент c	9,476	9,248	8,951	8,789
Время расчета, сек	410	890	2064	60880

Деформационное упрочнение описывали степенной зависимостью (1) с коэффициентами $a=637,4$ МПа и $b=0,186$, определенной экспериментально по результатам испытания образцов на растяжение, изготовленных из того же материала [5], с модулем Юнга $E=206$ ГПа и коэффициентом Пуассона $\mu=0,34$.

Для стали 40Х на рис. 2 приведены экспериментальная и расчетная диаграмма вдавливания. Среднее отличие экспериментальных и расчетных данных составляет 6,68 %, что подтверждает адекватность построенной конечно-элементной модели.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ КОНИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ВПАДИНЫ ЧАСТИЧНО-РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА

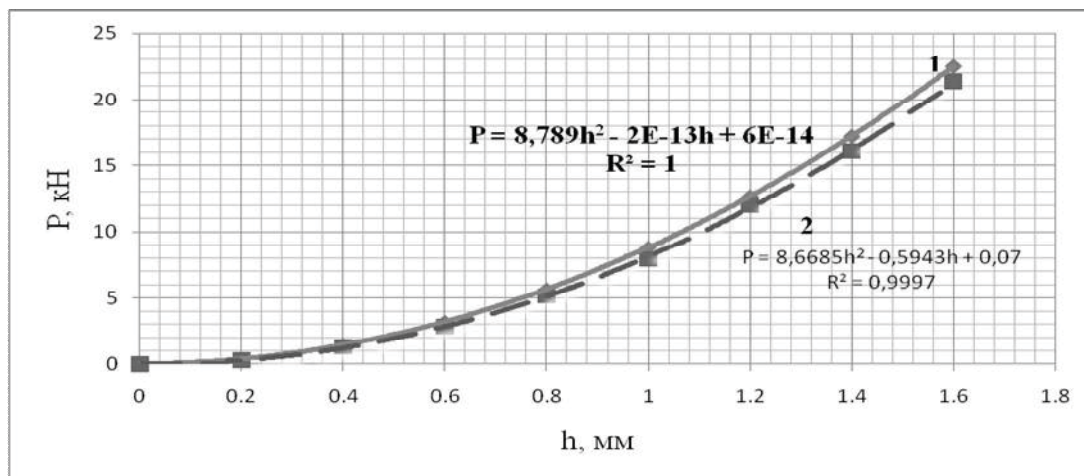


Рисунок 2 – Экспериментальная (□-2) и расчетная (Δ-1) диаграммы вдавливания

По результатам моделирования для индентора с углом $2\alpha=120^\circ$ и стали 40X HB=217-249 была получена зависимость :

$$h = \sqrt{\frac{P}{HB^{0,404}}} \quad (3)$$

Таким образом, зависимость (3) может служить для определения площади единичной микронеровности и площади, занимаемой ЧРМР.

Список литературы:

1. Булычев С.И., Алехин В.П. Метод кинетической твердости и микротвердости в испытаниях вдавливанием индентором // Заводская лаборатория, 1987, № 11. С. 76 – 79
2. Федосов С.А., Пешек Л. Определение механических свойств материалов микроин-

дентированием: Современные зарубежные методики. М.: Физический факультет МГУ, 2004. 100 с.

3. Булычев С.И., Алехин В.П. Испытание непрерывным вдавливанием индентора. М.: Машиностроение, 1990. 224 с.

4. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. - М.: ДМК Пресс, 2005. 640 с.

5. Смирнов С.В., Смирнов В.К., Солошенко А.Н., Швейкин В.П. Определение сопротивления деформации по результатам внедрения конического индентора // Кузнечно-штамповочное производство, 2000, №8. С. 3 – 6.

6. Chollacoop N., Dao M., Suresh S. Depth-sensing instrumented indentation with dual sharp indenters. Acta Materialia, 2003. № 51. P.3713-3729.

КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ С УЗЛОМ КРЕПЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЕРЕДАЧИ СО СВОБОДНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

А. Н. Ромашев, В. В. Беломыцев, Н. И. Десятов

Бийский технологический институт,
г. Бийск, Россия

Эффективность работы станков с ЧПУ, повышение их производительности в значительной мере зависят от технического уровня инструмента.

При выборе инструмента предпочтение следует отдавать конструкциям с элементами, регламентированными стандартами, что обеспечивает преемственность конструкций и снижение себестоимости производства инструмента [1]. Применение таких конструкций позволяет увеличить объем выпуска однотипной продукции и расширить использование более совершенных технологических процессов и форм организации инструментального производства. Критериями выбора оптимальных конструкций инструмента, при их разработке являются универсальность, жесткость, точность, переналаживаемость и другие, которые определяют исходя из основного критерия-эффективности эксплуатации станков с ЧПУ.

Развитие систем модульной инструментальной оснастки позволило удовлетворить эти критерии и, тем самым, увеличить конкурентоспособность металлообрабатывающих производств.

Предлагаемая конструкция (рисунок 1) [3] включает ряд элементов: корпус 1, предназначенный для размещения в гнезде револьверной головки и для базирования в нем других конструктивных элементов оснастки; центрирующую втулку 2, предназначенную для центрирования сменного модуля относительно корпуса; инструментальный модуль 3, установленный в коническом отверстии центрирующей втулки; тягу 4, имеющую наклонные прорези для закрепления инструментального модуля. Зажимной узел включает в себя пазы на хвостовике сменного инструментального модуля 3 и в корпусе 1, тягу 4, пакет тарельчатых пружин 5 и шарики (рисунок 1).

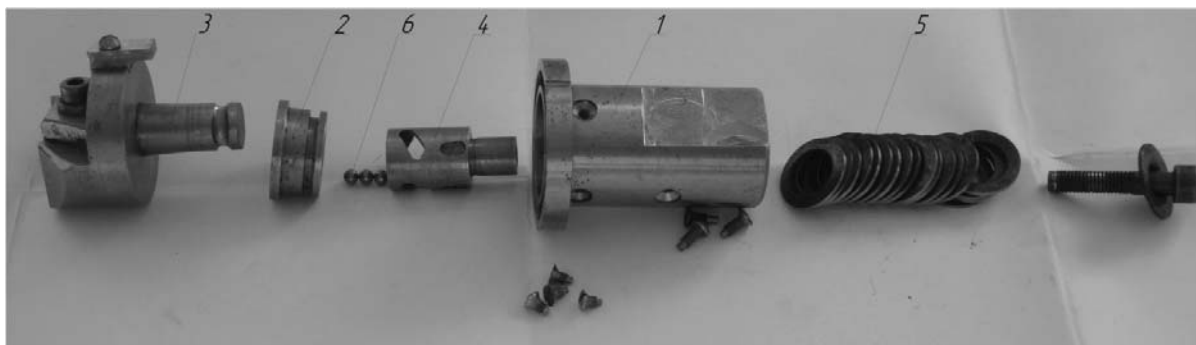


Рисунок 1 – Разнесенный вид модульной инструментальной оснастки

Для создания усилия закрепления инструментального модуля в данной конструкции использовано устройство на основе механической передачи со свободными телами качения. Зажим сменного блока осуществляется шариками 6, находящимися в прорезях тяги. Тяга (рисунок 2), за счет наклона прорезей, при перемещении в осевом направлении заставляет шарики перекатываться по канав-

ке на хвостовике инструментального модуля.

При смене инструментального модуля для снятия усилия закрепления на пакет тарельчатых пружин 5 воздействуют внешней силой, превышающей усилие, создаваемое ими, чем обеспечивается перемещение тяги в осевом направлении. Перемещение тяги (рисунок 2) ограничивается ходом винта 8 по пазу.

КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ С УЗЛОМ КРЕПЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЕРЕДАЧИ СО СВОБОДНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ



Рисунок 2 – Тяга

При этом шарики, перекатываясь по прорезам тяги, попадают в вершины паза в инструментальном модуле, высвобождая его. Необходимые воздействия создаются внешним силовым устройством, которое непосредственно не входит в состав инструментальной оснастки. При установке модуля действия выполняются в обратной последовательности. Внешний силовой элемент воздействует на пакет тарельчатых пружин 5. Тяга 4 находится в крайнем левом положении. Шарики 6 находятся во впадинах паза корпуса 1 (рисунок 3).

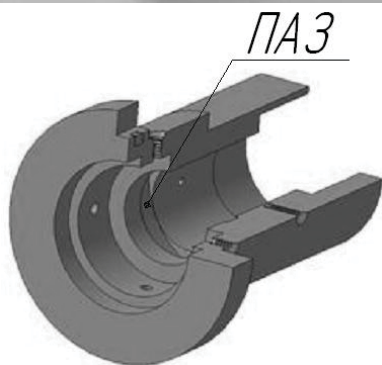


Рисунок 3 – Корпус

Модуль предварительно ориентируется шпонкой 9 и центрируется по коническому отверстию центрирующей втулки 2. Происходит смещение в осевом направлении центрирующей втулки 2. Инструментальный модуль 3 (рисунок 4) смещается до упора в торец корпуса 1.

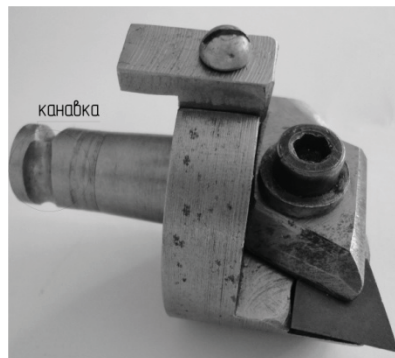


Рисунок 4 – Инструментальный модуль

При совмещении пазов в корпусе 1 и в инструментальном модуле 3, воздействие внешнего силового элемента на пакет тарельчатых пружин 5 плавно уменьшается, что приводит к смещению тяги 4 в осевом направлении. При этом шарики 6, перекатываясь по прорезам в тяге 4, из впадин паза в корпусе 1 попадают во впадины паза в инструментальном модуле 3. Это обеспечивает силовое замыкание при закреплении инструментального модуля 3 через шарики 6. После чего сменный инструментальный модуль надежно закреплен.

Базирование сменных модулей осуществляется по конической поверхности и торцу при этом обеспечивается достаточная жесткость и точность позиционирования, как в радиальном направлении, так и в направлении вылета инструмента, что особенно необходимо при использовании расточного инструмента. Так же при такой схеме базирования обеспечиваются наилучшие условия для автоматической смены инструмента.

Материалом для базовых деталей оснастки была выбрана сталь 45, для тяги – 40ХС, шарики изготовлены из ШХ15. Сила закрепления сменного модуля, которая равна силе, создаваемой пакетом тарельчатых пружин $F_{\text{общ}} = 22050 \text{ (Н)}$.

Применение данной оснастки не требует переналадки станка. МИО устанавливается в револьверной головке станка с ЧПУ без каких-либо дополнительных её доработок. Корпус для закрепления режущих модулей устанавливается (центрируется) в револьверной головке (рисунок 5) по цилиндрическому хвостовику диаметром $50_{-0,016}^0 \text{ мм}$ и зажимается рифлёным клином за рифления по лыске цилиндрического хвостовика.

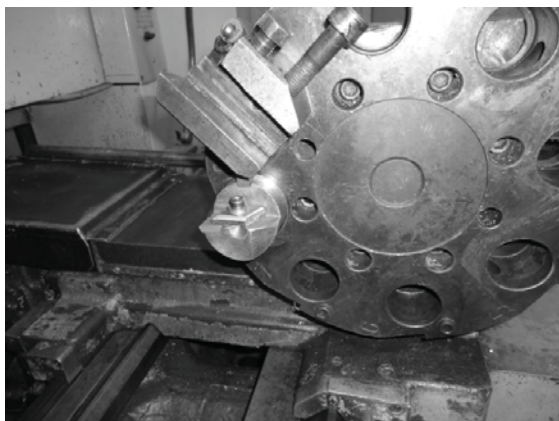


Рисунок 5 – МИО в револьверной головке станка 16K20Ф3

Для изготовления деталей, входящих в состав опытного образца МИО не требуется специального оборудования и инструмента, что значительно снижает себестоимость оснастки. Все детали этого образца изготовлены на базе оборудования, имеющегося в

Бийском технологическом институте.

Данная оснастка позволяет: повысить эффективность работы оборудования, повысить производительность труда на 25%, сократить сроки подготовки производства на 20-60% [3], снизить себестоимость механической обработки. Использование МИО эффективно даже при работе на одном станке, причем с ростом количества и типажа применяемого оборудования экономический эффект от использования системы резко возрастает.

Список литературы:

1. Семенченко Д.И. и Ухачев В.Н. Инструмент для автоматизированного производства зарубежных фирм.- Москва, 1963.- 87с.
2. Патент RU № 97662, 2010 г.
3. Widia. Modular tooling. 2011. 184 p.

КОНСТРУКЦИЯ И НАГРУЗОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ШПИНДЕЛЬНОЙ ОПОРЫ С УПРУГО ПОДВИЖНОЙ ОПОРНОЙ ВТУЛКОЙ И АКТИВНЫМ НАГНЕТЕНИЕМ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

С. Н. Шатохин, М. В. Брунгардт, Я. Ю. Пикалов

Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия

С ростом требований к производительности, точности и виброустойчивости прецизионных, высокоскоростных, а также тяжелых металлорежущих станков снижается возможность эффективного использования в шпиндельных узлах подшипников качения, и их место занимают гидростатические опоры, в том числе адаптивные, которые могут иметь нагрузочную характеристику с большим диапазоном отрицательной податливости.

Известны технические решения для радиальных и радиально-осевых гидростатических шпиндельных опор с упруго подвижной опорной втулкой, установленной на эластомерной оболочке [1–7]. Однако, опубликованы только результаты исследования статических нагрузочных характеристик радиальной опоры с упруго-подвижной опорной втулкой и пассивным нагнетанием рабочей жидкости [8]. В СФУ теоретически исследованы статические нагрузочные характеристики радиальной гидростатической шпиндельной опоры с упруго подвижной опорной втулкой и активным нагнетанием рабочей жидкости. Трех-

мерная модель такой опоры показана на рисунке 1, а ее расчетная схема на рисунке 2.

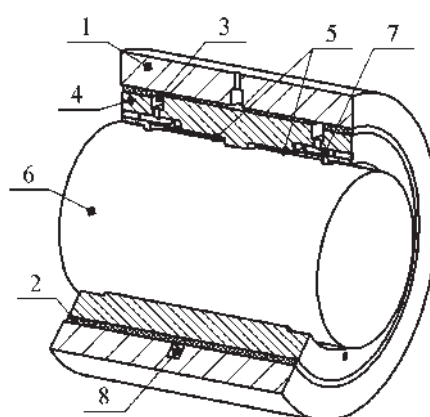


Рисунок 1 – Трехмерная модель опоры: 1 – корпус; 2 – эластомерная оболочка; 3 – управляющие камеры; 4 – упруго подвижная втулка; 5 – несущие карманы; 6 – шпиндель; 7, 8 – каналы для нагнетания рабочей жидкости.

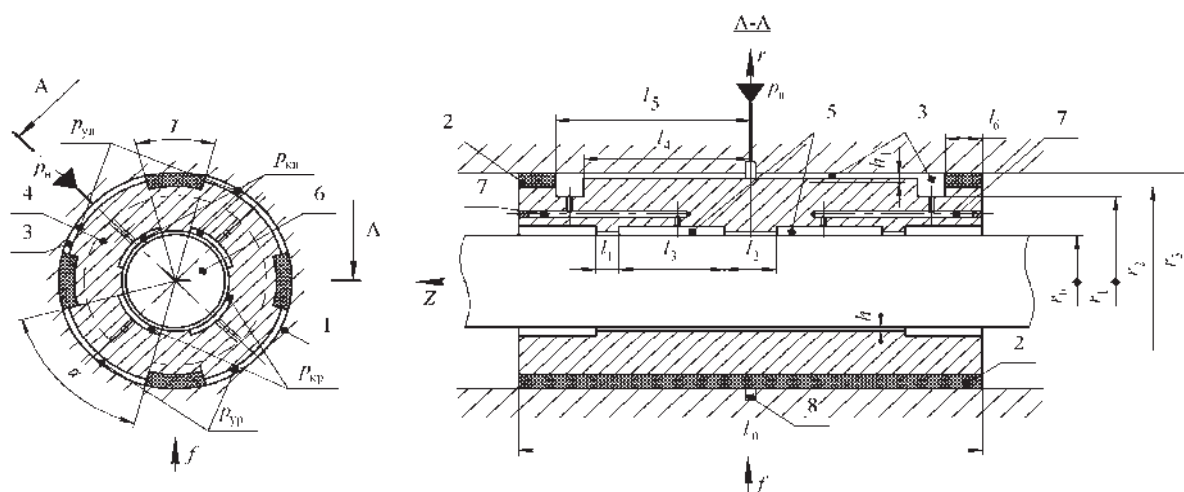


Рисунок 2 – Расчетная схема опоры

В корпусе 1 на эластомерной оболочке 2, которая имеет четыре прямоугольных выреза, образующих управляющие камеры 3, установлена упруго подвижная втулка 4. В отличие от опоры, исследованной в [8], управляющие камеры имеют дросселирующие щелевые зазоры $h_1 = h_{10} - e_b \cdot \cos \varphi$ между внутренней поверхностью корпуса и наружной поверхностью подвижной втулки, где e_b – радиальный эксцентриситет втулки относительно корпуса, φ – окружная координата, h_{10} – значение h_1 при $e_b = 0$. Втулка 4 имеет на внутренней цилиндрической поверхности два ряда несущих карманов 5, разделенных кольцевым пояском шириной l_2 , по краям каждого ряда несущих карманов выполнены дросселирующие пояски шириной l_1 . По окружности карманы разделяются осевыми поясками шириной $r_2 \gamma$. Рабочие поверхности поясков образуют со шпинделем 6 дросселирующий щелевой зазор $h = h_0 - e \cdot \cos \varphi$, где e – радиальный эксцентриситет шпинделя относительно втулки. Управляющие камеры через каналы 7 соединены с несущими карманами, а через каналы 8 – с гидростанцией, нагнетающей в опору рабочую жидкость под постоянным давлением $p_n = \text{const}$ (на рисунке не показана).

Действующая на шпиндель радиальная нагрузка f вызывает его первичное смещение в зазоре h по направлению нагрузки ($e' > 0$) и давление $p_{\text{кн}}$ в нагружаемых несущих карманах увеличивается, а давление $p_{\text{кр}}$ в разгружаемых несущих карманах – уменьшается. Разность давлений вызывает смещение втулки в зазоре h_1 противоположно направлению нагрузки ($e_b < 0$), если действующая на наружную поверхность гидродинамическая сила больше силы, действующей на внутреннюю поверхность. При этом, в нагружаемой (разгружаемой) управляющей камере опоры зазор h_1 увеличивается (уменьшается) и происходит дополнительное увеличение (уменьшение) давления рабочей жидкости в нагружаемых (разгружаемых) несущих карманах.

Восстанавливая силовое равновесие,

шпиндель вторично смещается в зазоре h , но уже противоположно направлению нагрузки ($e'' < 0$). При оптимальном выборе параметров опоры вторичное смещение шпинделя e'' будет по модулю больше первичного ($e = e' + e'' < 0$), то есть опора будет иметь отрицательную податливость. Кроме того, при перекосе консольно нагруженного шпинделя, разность давлений в левом и правом ряду несущих карманов обеспечивает угловую самостановку упруго подвижной втулки относительно оси шпинделя в пределах зазора h_1 , которая в передней опоре шпинделя, может быть усилена осевым смещением управляющих камер в сторону его заднего конца. Это увеличивает предельную нагрузочную способность шпиндельного узла, которую ограничивает возможность кромочного контакта шпинделя в передней опоре.

Ниже изложены методика и результаты теоретического исследования нагрузочной характеристики рассматриваемой опоры при следующих допущениях:

- оси упруго подвижной втулки и шпинделя при нагружении опоры параллельны;
- течение рабочей жидкости в дросселирующем щелевом зазоре h_1 , а также на кольцевых поясках l_1 в дросселирующем щелевом зазоре h происходит только в осевом, а на осевых поясках, разделяющих несущие карманы, – только в окружном направлении;
- влияние вращения шпинделя на нагрузочную характеристику не учитывается.

Математическую модель опоры образует система уравнений, выражающих:

- условия силового равновесия шпинделя (1) и упруго подвижной втулки (2)

$$f = 2 \cdot r_0 \cdot (l_1 + l_2 + 2 \cdot l_3) \cdot (p_{\text{кв}} - p_{\text{кн}}) \quad (1)$$

$$e_b / k = 2 \cdot (p_{\text{кв}} + p_{\text{кн}}) \cdot [r_3 \cdot l_5 - r_0 \cdot (l_1 + l_2 + 2 \cdot l_3)] \quad (2)$$

- условия неразрывности течения рабочей жидкости (3) в верхних нагружаемых и в нижних разгружаемых несущих карманах

$$q_{\text{ун}} = q_{\text{кн}} + q_{\text{окр}} \quad (3)$$

$$q_{\text{ур}} + q_{\text{окр}} = q_{\text{кр}} \quad (4)$$

В (1) – (4) использованы следующие обозначения:

$$k = \frac{e_b}{f} = \frac{2 \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - \nu) \cdot (r_3 - r_2)}{(3 - 4 \cdot \nu) \cdot [\pi \cdot l_6 - 2 \cdot \gamma \cdot l_5] \cdot E \cdot r_2}$$

– радиальная податливость эластомерной

КОНСТРУКЦИЯ И НАГРУЗОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ШПИНДЕЛЬНОЙ ОПОРЫ С УПРУГО ПОДВИЖНОЙ ОПОРНОЙ ВТУЛКОЙ И АКТИВНЫМ НАГНЕТАНИЕМ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

оболочки с четырьмя вырезами [9], где E , ν – модуль упругости и коэффициент Пуассона;

$$q_{\text{ун}} = \frac{(p_{\text{н}} - p_{\text{кн}}) \cdot r_1}{6 \cdot \mu \cdot l_4} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} h_1^3 \cdot d\varphi$$

– осевой поток рабочей жидкости, поступающий в нагружаемые (верхние) несущие карманы из нагружаемых (верхних) управляющих камер через дросселирующий зазор h_1 , где μ – динамическая вязкость рабочей жидкости;

$$q_{\text{ур}} = \frac{(p_{\text{н}} - p_{\text{кн}}) \cdot r_1}{6 \cdot \mu \cdot l_4} \cdot \int_{\frac{3\pi}{4}}^{\pi} h_1^3 \cdot d\varphi$$

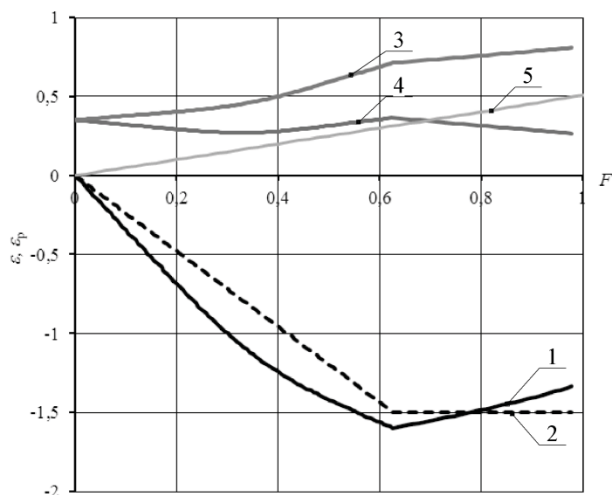
– осевой поток рабочей жидкости, поступающий в разгружаемые (нижние) несущие карманы из разгружаемых (нижних) управляющих камер через дросселирующий зазор h_1 ;

$$q_{\text{кн}} = \frac{p_{\text{кв}} \cdot r_0}{6 \cdot \mu \cdot l_1} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{4}} h^3 \cdot d\varphi$$

– осевой поток рабочей жидкости, вытекающей из нагружаемых несущих карманов через дросселирующий зазор h на торцевых поясах;

$$q_{\text{кр}} = \frac{p_{\text{кв}} \cdot r_0}{6 \cdot \mu \cdot l_1} \cdot \int_{\frac{3\pi}{4}}^{\pi} h^3 \cdot d\varphi$$

– осевой поток рабочей жидкости, вытекающей из разгружаемых несущих карманов через дросселирующий зазор h на торцевых поясах;



Графики показывают, что при $F = 0,65$ нагрузочные характеристики имеют бифуркационную границу, которая соответствует значению

$$q_{\text{окр}} = \frac{(p_{\text{кв}} - p_{\text{кн}}) \cdot h_0^3 \cdot l_3}{12 \cdot \mu \cdot r_0}$$

– окружной поток рабочей жидкости из нагружаемых в разгружаемые несущие карманы через разделяющие их осевые пояски.

Алгоритм расчета нагрузочных характеристик опоры по данной математической модели состоял из двух этапов. На первом (активном) этапе работы опоры диапазон значений безразмерного эксцентриситета упруго подвижной втулки $\varepsilon_{\text{в}} = e_{\text{в}} / h_0 \in [0; H_{10}]$, где $H_{10} = h_{10} / h_0$, разбивали с равным шагом на определенное количество точек и для каждой точки по уравнению (2) методом бисекции определяли соответствующее ей значение безразмерного эксцентриситета шпинделя $\varepsilon = e / h_0 \in [0; \varepsilon_{\text{кр}}]$, где $\varepsilon_{\text{кр}}$ (что это такое?)

соответствует значению $\varepsilon_{\text{в}} = H_{10}$. Затем из уравнения (1) для каждой пары значений ε и $\varepsilon_{\text{в}}$ находили соответствующее значение безразмерной нагрузки $F = f / (r_0^2 \cdot \pi \cdot p_{\text{н}})$;

На втором (пассивном) этапе работы опоры уравнение (2) исключали и из уравнения (1) при $\varepsilon_{\text{в}} = H_{10}$ находили значения F диапазоне $\varepsilon = [\varepsilon_{\text{кр}}; H_0]$

Рисунок 3 – Нагрузочные характеристики исследованной опоры:

- 1 – перемещение шпинделя $\varepsilon(F)$;
- 2 – перемещение упруго подвижной втулки $\varepsilon_{\text{в}}(F)$;
- 3, 4 – изменение давления $p_{\text{кн}}$ в нагружаемых и $p_{\text{кр}}$ в разгружаемых несущих карманах;
- 5 – перемещений шпинделя $\varepsilon(F)$ в обычной гидростатической опоре пассивного типа.

$\varepsilon_{\text{кр}} = -\varepsilon_{\text{в}} - H_0 = -1,6$ $\varepsilon_{\text{кр}} = 1 - H_{10} = -1,5$. В активном нагрузочном диапазоне $F \in [0; 0,65]$ опора имеет отрицательную податливость и шпиндель смещается в об-

ласть отрицательных эксцентриситетов, то есть противоположно действию нагрузки до значений $\varepsilon_b = -1,5$. При дальнейшем увеличении нагрузки F происходит касание упруго подвижной втулки с корпусом, опора переходит в пассивный режим работы и её податливость становится положительной. Анализ полученных результатов показывает, что для получения нагрузочной характеристики с отрицательной податливостью необходимо чтобы: площадь управляющих камер была не менее чем в 1,5 раза больше площади несущих карманов; $H_{10} < 2$; $E = 0.34 \div 0.5$ МПа.

Список литературы:

1. Siebers, G. Hydrostatic plain bearing. Pat. US № 3407012. НКИ 308–122, –1968.
2. Brezeski, L. Pat. 1467911 GB, Int.Оl. F 16C32/06. Fluid-lubricated bearing / L. Brezeski, Z. Kazimierski, A. Siwek. – 1977.
3. Шатохин, С.Н. Газостатический подшипник / С.Н. Шатохин, В.И. Шахворостов, Ю.А. Пикалов // А.с. №1590727 СССР, МКИ, F 16 C 32/06. Оpubл. 07.09.1990. Бюл. № 33.
4. Шатохин, С.Н. Опора скольжения / С.Н. Шатохин, С.А. Ярошенко, В.И. Шахворостов и С.С. Шатохин // А.с. №1599596 СССР, МКИ, F 16 C 32/06. Оpubл. 15.10.1990. Бюл. № 38.
5. Шатохин, С.С. Гидростатическая опора / С.С. Шатохин, В.П. Зайцев, С.А. Ярошенко // А.с. №1691609 СССР, МКИ, F 16 C 32/06. Оpubл. 15.11.1991. Бюл. № 42.
6. Шатохин, С.Н. Опора скольжения / С.Н. Шатохин, С.С. Шатохин // А.с. №1705628 СССР, МКИ, F 16 C 32/06. Оpubл. 15.01.1992. Бюл. № 2.
7. Шатохин, С.С. Гидростатическая опора / С.С. Шатохин // А.с. №1784772 СССР, МКИ, F 16 C 32/06. Оpubл. 30.12.1992. Бюл. № 48.
8. Коднянко, В.А. Радиальный гидростатический подшипник с эластомерным компенсатором перемещения / В.А. Коднянко // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1993, №1. – С. 19-27.
9. Шатохина, Л. П. Расчёт эластичных компенсаторов шпиндельных подшипников скольжения активного типа / В кн. «Опоры скольжения с внешним источником давления смазки» под. ред. С.Н. Шатохина // Красноярск: КрПИ, 1989. – С. 78-89.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СПОСОБОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Е. А. Сафронова, В. А. Федоров, Е. О. Одинаев

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Развитие современной техники характеризуется ужесточением условий эксплуатации узлов и деталей машин, что обуславливает необходимость повышения физико-механических и эксплуатационных свойств конструкционных материалов. Ввиду высокой стоимости легирующих элементов, использование объемно-легированных материалов становится всё более нерациональным. К тому же, с увеличением содержания легирующих элементов прочность, твердость и износостойкость металла возрастают, при этом вероятность хрупкого разрушения повышается. Во избежание этого, необходимо создание материала, сочетающего прочную, износостойкую и твердую поверхность нанесенного покрытия с пластичной, вязкой и трещиностойкой основой. Это объясняет все возрастающий в последнее время интерес к покрытиям.

В настоящее время к числу активно развиваемых и промышленно освоенных методов нанесения защитных покрытий относятся методы газотермического напыления, среди которых плазменное напыление можно считать наиболее универсальным и легко управляемым.

Технологическими преимуществами плазменного напыления являются: эффективное управление энергетическими характеристиками напыляемых частиц и условиями формирования покрытия за счёт гибкости регулирования параметров и режимов работы плазмотрона; высокие коэффициент использования порошка (до 85%) и прочность сцепления покрытия с основой (до 80 МПа), низкая пористость; высокая производительность процесса; универсальность за счет получения покрытий из большинства материалов; нанесение покрытия на изделия, изготовленные практически из любого материала; отсутствие

ограничений по размерам напыляемых изделий; маневренность и возможность автоматизации процесса.

Коллективом авторов разработан плазмотрон с подвижной зоной плазмообразования, которая позволяет подавать напыляемый порошок в необходимую область плазмы, выходящей из сопла плазмотрона, что позволяет регулировать пористость покрытия и прочность сцепления напыляемых частиц с основой.

На рисунке 1 представлена схема установки для плазменного напыления покрытий. В электрическую дугу между охлаждаемыми катодом и анодом в виде сопла подается газ, образуя высокотемпературную плазменную струю. В эту струю подается наплавочный порошок, который, нагреваясь и образуя на срезе сопла двухфазный поток, ударяется о напыляемую поверхность. При ударе частицы порошка пластически деформируются и кристаллизуются на изделии, образуя защитное покрытие.

Технология плазменного напыления и установка могут использоваться для нанесения широкого спектра порошков с целью получения напыленных поверхностей с необходимой структурой и свойствами.

Продукт для потребителя уникален тем, что подвижная насадка-питатель плазмотрона позволяет регулировать плотность, пористость покрытия и прочность сцепления напыляемых частиц с основой, тем самым появляется возможность получения необходимого покрытия с требуемыми свойствами. Инновационный продукт в виде малогабаритного плазмотрона может быть интересен среднему и малому бизнесу, применяться в машиностроении, приборостроении и строительстве.

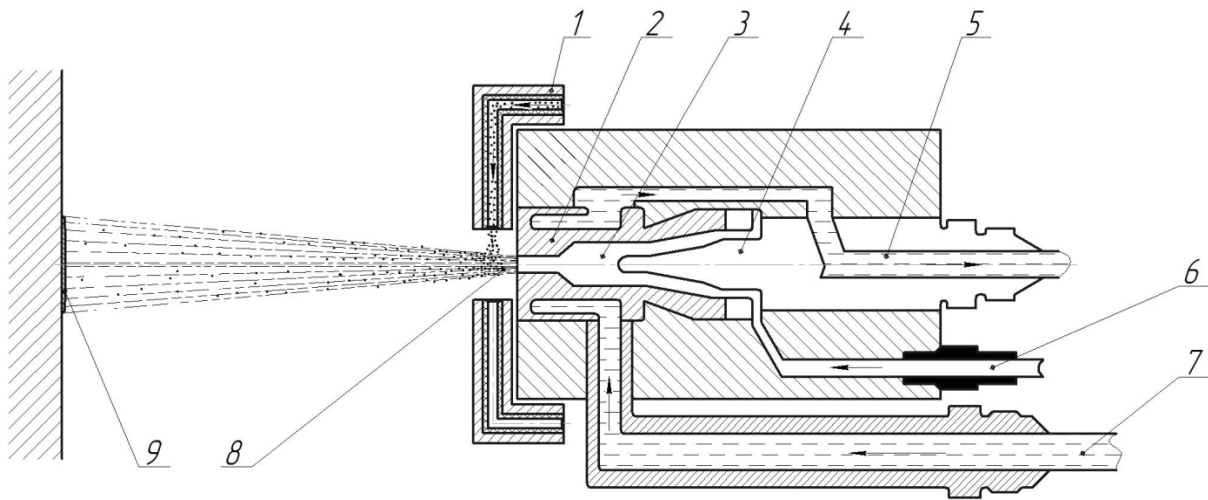


Рисунок 1 – Схема установки для плазменного напыления покрытий:

1 – подвижная насадка-питатель с напыляемым порошком; 2 – анод плазмотрона; 3 – плазменная струя; 4 – катод плазмотрона; 5 – охлаждающая жидкость «-» питания; 6 – инертный газ; 7 – охлаждающая жидкость «+» питания; 8 – высокотемпературная струя; 9 – напыляемое покрытие.

Список литературы:

1. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления / А.Ф. Пузряков // Учебное пособие по курсу «Технология конструкций из металлокомпози- тов». – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – С. 10–11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ СТАЛИ Ст3 МЕТОДОМ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ¹

К. Х. Рахимянов, А. Х. Рахимянов, С. В. Шопф
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия

Развитие современной техники неразрывно связано с увеличивающимся объёмом использования металлических материалов, требования к которым, с точки зрения обеспечения надёжности, долговечности, экономичности и технологичности, неуклонно возрастают, вследствие интенсификации при эксплуатации тепловых воздействий, повышения механических нагрузок, роста агрессивности рабочих сред и т.д.

Ведущую роль в выполнении указанных требований играет совершенствование структуры выпускаемой металлопродукции путем расширения производства наиболее экономичных ее видов и материалов нового поколения. К последним относятся и сложные металлические композиции — биметаллы — материалы, состоящие из двух или более разнородных металлов, объединяющие в себе свойства составляющих их металлов, и получившие новые качества, отличные от качеств исходных металлов.

Но при обработке большинства деталей и заготовок из данного класса материалов возникает ряд проблем, связанных с труднообрабатываемостью резанием различных композитов. Труднообрабатываемость материалов данного класса связана с тем, что составляющие биметаллического соединения — это, чаще всего, разнородные материалы со своими специфическими свойствами: твёрдостью, прочностью, ударной вязкостью, теплопроводностью, электропроводностью, образованием оксидных плёнок и т.д.

В последнее время широкое применение находят электрофизические технологии обработки материалов, позволяющие проводить эффективную обработку независимо от

механических свойств и состава обрабатываемого материала. Одной из таких технологий является тонкоструйная плазменная резка. Она позволяет не только существенно увеличить производительность обработки, но также и уменьшить долю материала, идущего в отход.

Так или иначе, любой метод обработки вносит определенные изменения в свойства и структуру материала у поверхности. Эти изменения могут оказать большое влияние на дальнейшие эксплуатационные свойства получающихся деталей. Исследования того, как технологические параметры электрофизических процессов влияют на свойства поверхности и микроструктурные изменения, позволят лучше понять процессы, происходящие во время обработки этими методами, и, в конечном итоге, повысить качество получаемых деталей за счет оптимизации режимов обработки.

Для разработки технологии тонкоструйной плазменной резки биметаллических композиций необходимо проведение экспериментальных исследований по обработке отдельных ее составляющих. Значительная часть композиций представляет собой сочетание обычных конструкционных сталей и высоколегированных сплавов. Данные исследования посвящены изучению поведения одной из составляющих биметаллических композиций — стали Ст3.

В качестве исследуемого материала был взят лист конструкционной углеродистой стали обыкновенного качества Ст3 толщиной 3 мм. Физические свойства стали Ст3 приведены в таблице 1, химический состав — в таблице 2.

¹Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2012 г. и в плановом периоде в 2013-2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 "Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высокочастотном воздействии")

Таблица 1 – Физические свойства стали Ст3.

Температура	Модуль упр. перв. рода	Коэф. линейн. расшир.	Коэфф. тепло провод.	Плотность материала	Удельн. теп- лоемк. ма- териала	Удельное электросо- противление
Т, Град.	Е, 10^{-5} МПа	α , 10^6 1/Град	λ , Вт/(м·град)	ρ , кг/м ³	С, Дж/(кг·град)	R, 10^9 Ом·м
20	2.06	11.6	49	7826	452	199
100	1.97	12	49	7804	469	251
200	1.87	12.9	49	7771	490	321
300	1.76	13.6	47	7737	511	408
400	1.68	14.2	44	7700	532	511
500	1.54	14.6	41	7662	553	629
600	1.47	15	38	7623	578	759
700	1.36	15.2	35	7583	611	922
800	1.24	12.7	29	7600	708	1112
900	1.12	13.9	28	7549	699	1156
Сред. знач. в ин- терв. тем- пер.	1,6	13,57	40,9	7685.5	528,6	862,75

Таблица 2 – Химический состав стали Ст3, в %.

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.14 – 0.22	0.05 – 0.17	0.4 – 0.65	≤ 0.3	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.08

В таблице 3 приведены настроечные режимы установки тонкоструйной плазменной

резки HiFocus130 производства компании Kjellberg (Германия).

Таблица 3 – Режимы обработки.

Режимный параметр	Значение
Плазмообразующий (режущий) газ	H ₂
Давление	0,7 МПа
Расход	400 л/мин
Завихряющий газ №1	N ₂
Давление	0,6 МПа
Расход	900 л/мин
Завихряющий газ №2	N ₂ H ₂ (95/5)*
Давление	0,6 МПа
Расход	800 л/мин
Ток дуги	130 А
Напряжение дуги	116 В
Факельный зазор	2,5 мм
Высота зажигания (высота пробивки)	4 мм

*формирующий газ (смесь газов, содержащая 95% N₂ и 5% H₂)

Величина вырезаемых образцов (пластин) выбиралась таким образом, чтобы образцы были компактны и удобные для изучения, но при этом их размер был бы достаточ-

но большим для того, чтобы можно было считать режим резания хотя бы одной стороны стационарным.

На рисунке 1 показан путь, который про-

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ СТАЛИ СТ3 МЕТОДОМ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

ходила плазменная дуга при вырезании пластины (размер 100x100 мм), а также внешний вид образца (размер 15x25 мм) для металло-

графических исследований, который был получен электроэрозионным вырезанием из полученных пластин (рисунок 1).

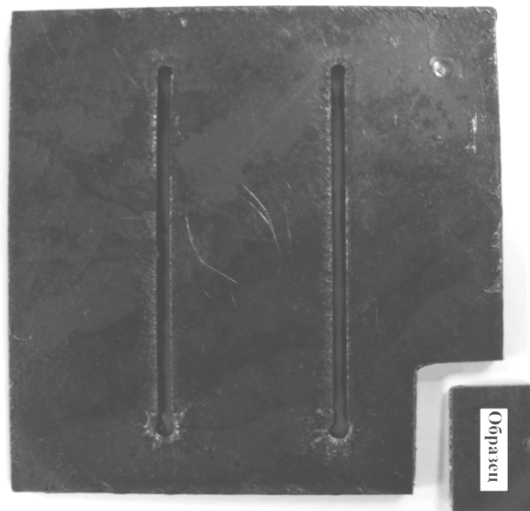
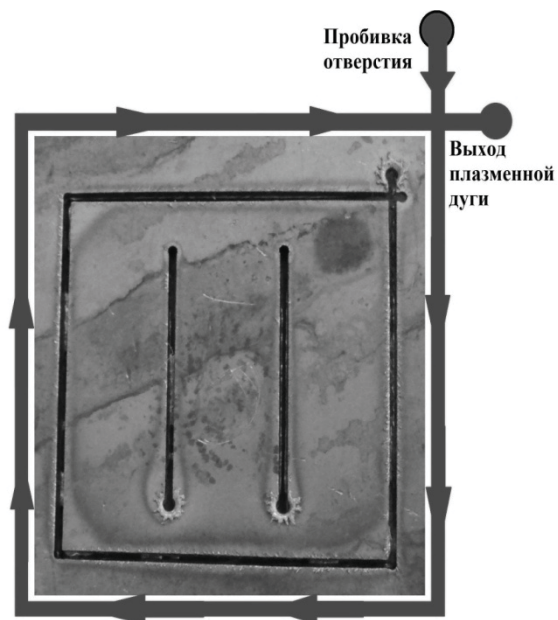


Рисунок 1 – Траектория движения плазменной дуги при вырезании пластин (слева) и внешний вид образца (справа).

Режимы обработки, приведенные в таблице 3, в основном влияют на физические процессы при тонкоструйной плазменной резке, в то время как на качество обработки значительно влияет скорость перемещения плазматрона.

Для определения влияния скорости резания на такие параметры как шероховатость, отклонение от перпендикулярности поверхности реза и величина участка с измененной структурой вырезали три различных пластины. Первая пластина была вырезана со скоростью 2,2 м/мин, вторая пластина – со скоростью 2,6 м/мин, третья – 2,8 м/мин.

Во всех случаях поверхность реза получилась достаточно гладкой и блестящей. На нижних гранях пластин образовалось небольшое количество грата (рисунок 2), который легко отделялся от основного материала.

Из рисунка 2 видно, что увеличение скорости резания приводит к незначительному снижению количества грата на нижней поверхности данных образцов.

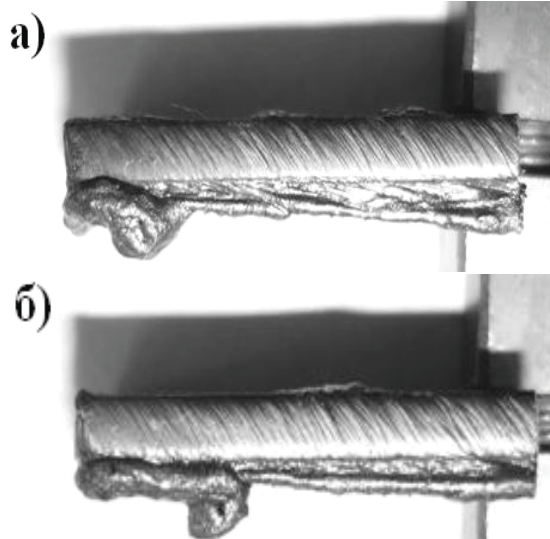


Рисунок 2 – Грат на нижней поверхности образцов из стали Ст3

а) $V = 2,6$ м/мин; б) $V = 2,8$ м/мин.

Исключение составляет лишь первая пластина (скорость $V = 2,2$ м/мин), которая даже не отделилась при её вырезании из листа (рисунок 3).

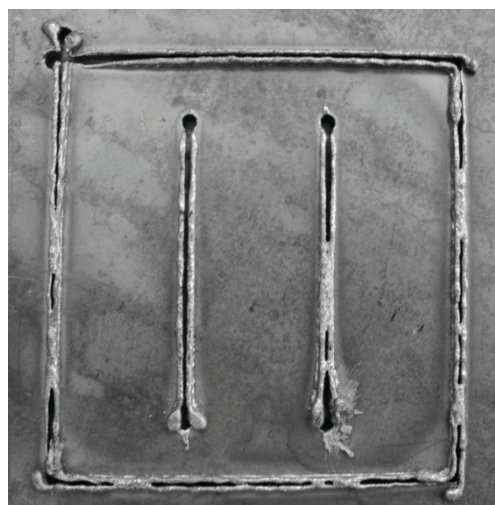
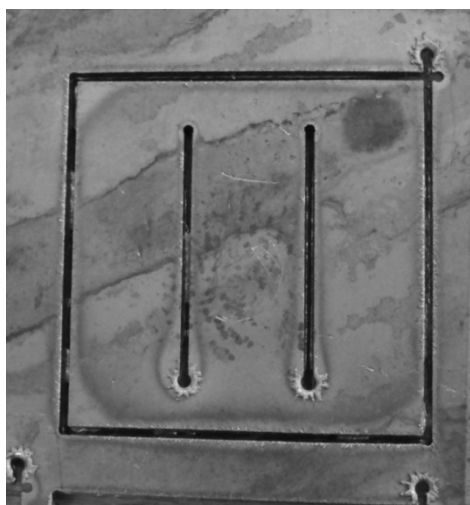


Рисунок 3 – Не отделившаяся от листа пластина (сталь Ст3)
(слева – верхняя поверхность, справа – нижняя поверхность).

Это можно объяснить тем, что из-за низкой скорости резания увеличиваются объём жидкой фазы и ширина реза, и поток газов уже не так интенсивно выдувает расплавленный металл из зоны резания. Вследствие этого пластина по нижней кромке сваривается с листом посредством этого не удалённого расплавленного металла.

Проведенные исследования позволили

определить оптимальную скорость обработки стали Ст3 толщиной 3 мм – 2,8 м/мин. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление оптимальной скорости обработки другой составляющей биметаллической композиции - стали 12Х18Н10Т и последующую оптимизацию режимов обработки непосредственно биметаллической композиции Ст3 - 12Х18Н10Т..

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «ОТКАЗОВ» ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

¹Е. Ю. Татаркин, ²А. М. Фирсов

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

²Бийский технологический институт, г. Бийск, Россия

Качество выпускаемой продукции, производительность технологического процесса (ТП) и приведенные затраты на изготовление продукции во многом зависят от надежности технологической системы (ТС), где реализуется ТП.

Под надежностью понимается - свойства объекта (ТС) способного сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [1]. С позиции надежности различается следующее состояние ТС: работоспособное, неработоспособное.

Работоспособное состояние ТС это такое состояние, при котором значение параметров и (или) показателей качества изготавливаемой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации. Если ТС принимает такое состояние, что значение хотя бы одного параметра и (или) показателя качества изготавливаемой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции не соответствует требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации, то такое состояние ТС называется неработоспособным [2].

Технологическая система приходит в неработоспособное состояние по причине отказов. В зависимости от того, к чему приведет отказ ТС, к изменению параметров продукции, к изменению производительности или затратам различают отказы ТС по: параметрам продукции, производительности, затратам. Технологическая система может быть

работоспособна по параметрам качества и неработоспособной по параметрам производительности или по параметрам затрачиваемых ресурсов.

Также для оценки качества продукции используется термин «дефект» - каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Если продукция имеет дефект, то это означает, что, по меньшей мере, один из показателей ее качества или параметров вышел за предельное значение или не выполняется одно из требований нормативной документации к признакам продукции. К дефектам, например, относятся: выход размера детали за пределы допуска, неправильная сборка или регулировка, царапина на защитном покрытии изделия и т.д. В отличие от отказа, когда нарушается работоспособность изделия, наличие дефекта не всегда означает, что возник отказ, т.е. изделие стало неработоспособным. Отказ может возникнуть в результате наличия в изделии одного или нескольких дефектов [3].

Для оценки надежности ТП изготовления цилиндра двухтактного двигателей, который относится к группе малогабаритных корпусов (Рисунок 1), был применен метод «отказов» или метод «FMEA»(Анализ видов и последствий потенциальных дефектов - Failure Mode and Effects Analysis).

Этот метод позволяет:

- выявить потенциальные дефекты и варианты отказов, которые могут возникнуть при применении продукции или функционировании процесса;

- определить основные причины их появления и возможные последствия;

- выработать действия по устранению этих причин или предотвращению возможных последствий.

Технология проведения FMEA-анализа включает два основных этапа: 1. Этап

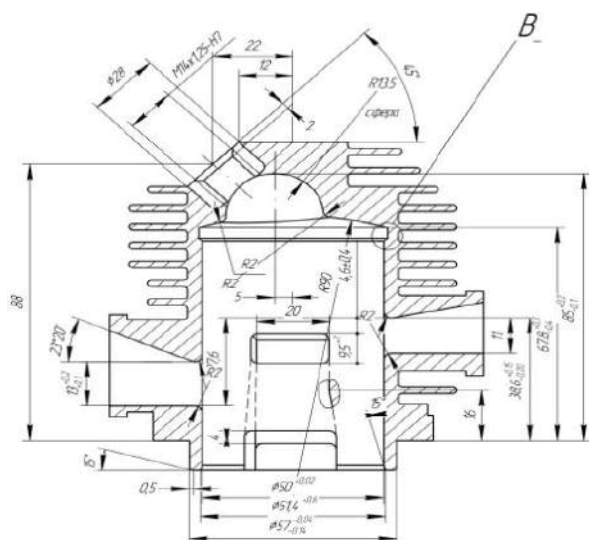


Рисунок 1 – Корпусная деталь – цилиндр двухтактного двигателя

построения компонентной, структурной, функциональной, потоковой моделей объекта анализа и диаграммы Исикавы; 2. Этап исследования моделей.

На этапе исследования моделей:

1. Анализируется процесс;
2. Проводится обратная мозговая атака;
3. Составляется список возможных последствий (S) каждого отказа;
4. Каждое последствие, в соответствии с его серьезностью, оценивается экспертами обычно по 10-балльной шкале (при этом 10 соответствует самым тяжким последствиям);
5. Вероятность возникновения последствия (O) оценивается по 10-балльной шкале;
6. Вероятность обнаружения отказа и его последствий (D) также оценивается по 10-балльной шкале;
7. Для каждого последствия вычисляется коэффициент приоритетности риска ПЧР (Risk Priority Number - RPN);
8. Выбираются отказы, над которыми предстоит работать;
9. Принимаются меры для устранения или сокращения отказов с высоким

показателем риска;

10. Рассчитывается новый показатель риска с учетом разработанных мероприятий.

Результаты анализа заносятся в специальную таблицу [4].

В результате анализа ТП изготовления корпусных деталей были выявлены дефекты (отказы), которые проявлялись при обработке отверстий:

1. Дефекты при обработке отверстия под нанесения гальванического покрытия (требования, предъявляемые к отверстиям: точность размеров 6-7 квалитеты, точность формы 4-5 степень, шероховатость R_a 0.63-1.25 мкм):

- Предельные (мах) отклонения формы и размеров;

- Неравномерная шероховатость поверхности отверстий как у одной заготовки, так и в партии (R_a от 0,63 до 2,5 мкм и на некоторых участках до 3,2 мкм);

- Неравномерная твердость поверхности отверстий после обработки (колебание твердости поверхности до 30%);

- Низкая производительность (из-за неудовлетворительного удаления стружки из отверстия, происходит скол режущей части инструмента, что увеличивает трудоемкость).

2. Дефекты при обработке отверстия с гальваническим покрытием:

- Скол износостойкого покрытия при обработке хонингованием;

- Низкая производительность при обработке глухих и ступенчатых отверстий хонингованием (увеличение двойных ходов в нижней части отверстия, снижение режимов при обработке ступенчатых отверстий).

Результаты исследований технологов-экспертов предприятий, производящих такие изделия, занесены в таблицу 1, фрагмент которой представлен. Баллы значимости дефектов S, возникновения O и обнаружения D выбирались по рекомендуемым шкалам для этих баллов [4].

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «ОТКАЗОВ» ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Таблица 1 – Анализ видов, причин и последствий потенциальных дефектов при обработке отверстий малогабаритных корпусов с гальванопокрытием (фрагмент)

Вид потенциального дефекта	Последствия потенциально-го дефекта	Балл, S	Потенциальная причина дефекта	Балл, O	Меры по обнаружению дефекта	Балл, D	Приоритетное число риска, ПЧР
1	2	3	4	5	6	7	8
1.1 Предельные (max) отклонения формы и размеров	1.Неравномерная толщина износостойкого покрытия 2. Увеличение числа проходов	4	1.Неоднородные механические свойства заготовки	4	1.Измерение твердости поверхности	5	80
		3	2.Погрешность при установке	3	2.Измерение размеров и отклонения формы нутромером	3	27
			3. Упругие деформации инструмента и заготовки	4		4	48
			4. Вибрации	3		3	27
1.2 Неравномерная шероховатость поверхности отверстий после тонкого растачивания	1.Введение отделочной операции (при-тирка) 1. Скол гальванического покрытия при его обработке и эксплуатации	4	1.Неоднородные механические свойства заготовки	7	1.Измерение шероховатости профилометром 2.Визуально	4	112
		6					168

В результате было установлено, что приоритетное число риска (ПЧР) для первого дефекта, представленного в фрагменте таблицы 1, со-ставило 80 баллов, а для второго дефекта 168 баллов. Из чего можно сделать вывод, что при изготовлении малогабаритного корпуса двухтактного двигателя возможно возникновения дефектов, одна из причин которых неоднородные механические свойства заготовки. Для устранения этого дефекта необходимо повысить качество отливок или повысить механические свойства поверхности отверстия, например упрочнением, или ввести в конструкцию дополнительный элемент, например чугунную гильзу, что стабилизирует и повысит механические свойства поверхности. Подобные мероприятия используются на ряде предприятий. Таким образом, метод FMEA-анализа процесса может быть использован для оценки надежности ТП механической обработки.

Список литературы:

- 1.ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, Термины и определения.
- 2.ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения.
- 3.ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
4. ГОСТ Р 51814.2-2001 Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОГРАННЫХ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ПЛАСТИНЫ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА

А. Г. Овчаренко, А. Ю. Козлюк, М. О. Курепин

Бийский технологический институт,
г. Бийск, Россия

Комбинированная магнитно-импульсная обработка (КМИО) является одним из способов повышения эксплуатационных характеристик инструмента из твердых сплавов путем предварительного нагрева образца токами высокой частоты и последующем воздействии на него импульсного магнитного поля высокой напряженности [1,2]. Данный метод обработки твердых сплавов опасный и трудоемкий процесс, так как в процессе обработки токоведущие части оборудования находятся под высоким напряжением (5-10 кВ), что может привести к опасности поражения электрическим током и требует применения дополнительных средств защиты и автоматизации процесса КМИО. Автоматизация процессов производства является одним из важнейших факторов повышения производительности, снижения себестоимости выпускаемой продукции и обеспечения безопасности персонала предприятия.

При лабораторных исследованиях КМИО инструмента из твердого сплава были получены положительные результаты по износостойкости. При оптимальных режимах обработки износ инструмента уменьшался в 1,5 раза. На конечные свойства инструмента значительно влияют температура предварительного нагрева и количество импульсов. Исследование микроструктуры показало увеличение микротвердости поверхностного слоя и кубической структуры кобальтовой фазы с увеличением температуры обработки [3,4].

Для реализации процесса КМИО в лабораторных условиях использовалось следующее устройство (рисунок 1), объединяющие в себе импульсный и высокочастотный индукторы, и механизм подачи обрабатываемых изделий. В процессе эксплуатации устройства были выявлены следующие недостатки:

- длительное время подготовительных работ;
- обрабатывается только одно изделие;
- опасность поражения электрическим током;
- недостаточная жесткость механизма подачи образца и др.

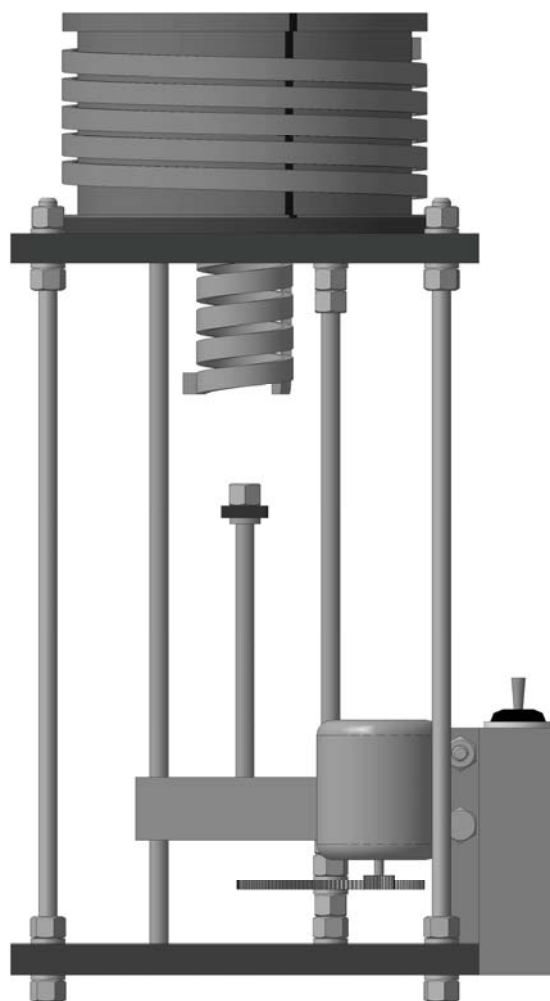


Рисунок 1 – Лабораторное устройство для КМИО

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОГРАННЫХ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ПЛАСТИНЫ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА

Для применения КМИО в производственных условиях и устранения выявленных недостатков разработана конструкция автоматизированного устройства для КМИО (рисунок 2). Такая конструкция позволяет значительно повысить производительность КМИО, так как за один полный цикл обрабатывается до 34 пластин из твердого сплава размером

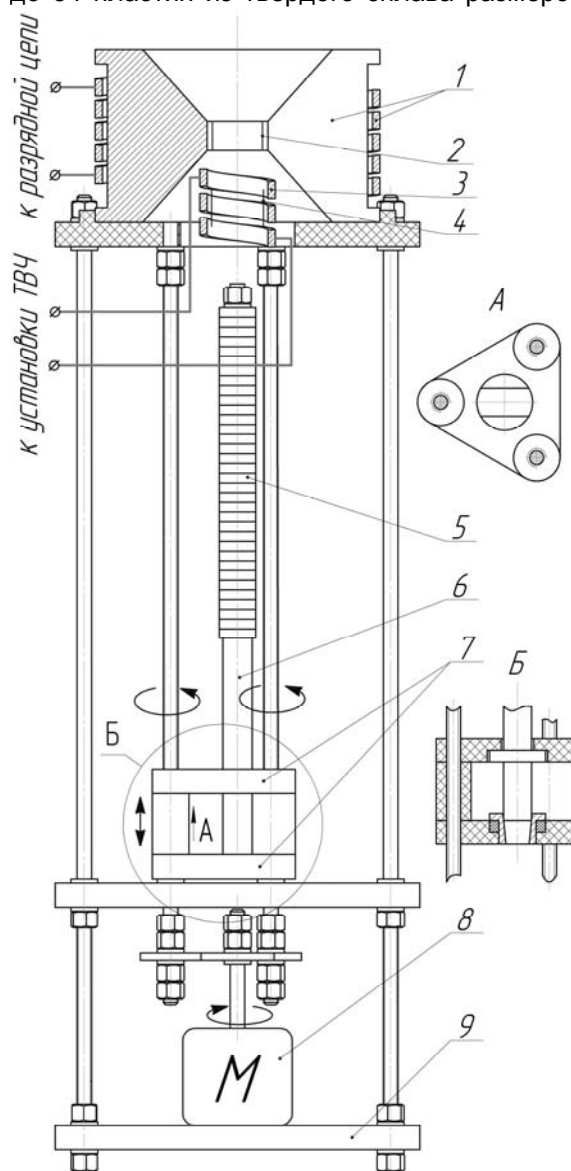


Рисунок 2 – Схема модернизированного устройства для КМИО: 1– индуктор импульсного магнитного поля; 2 – зона обработки импульсным магнитным полем; 3– индуктор установки ТВЧ; 4– зона предварительного нагрева изделия ТВЧ; 5– обрабатываемые изделия; 6– шпилька; 7– механизм подачи ; 8– шаговый двигатель; 9– рама.

15×15 мм, при этом значительно снижается вероятность поражения электрическим током путем исключения возможности контакта с токоведущими частями установки. Для исключения пробоя электрического тока некоторые детали установки изготовлены из материала обладающего диэлектрическими свойствами, что обеспечивает безопасность оператора при работе с напряжением более 5 кВ.

Процесс обработки заготовки происходит следующим образом:

- 1) образцы закрепляется на шпильке 6;
- 2) шпилька фиксируется в устройстве подачи, при этом механизм подачи 7 находится в крайнем нижнем положении;
- 3) запускается программа управления устройством подачи (происходит автоматическое перемещения образцов в зону нагрева 4 и зону обработки импульсным магнитным полем 2 при помощи шагового двигателя 8). Нагрев образцов и их обработка импульсным магнитным полем происходит параллельно;
- 4) по завершению цикла обработки всех изделий механизм подачи перемещается в крайнее нижнее положение, образцы на шпильки извлекаются, устройство готово к следующей обработке.

На рисунке 3 приведен график выполнения работ из которого видно, что обработка одного изделия при помощи модернизированного устройства подачи значительно меньше (более чем в 20 раз) за счет загрузки одновременно 34 изделий и объединения нескольких этапов КМИО в один.

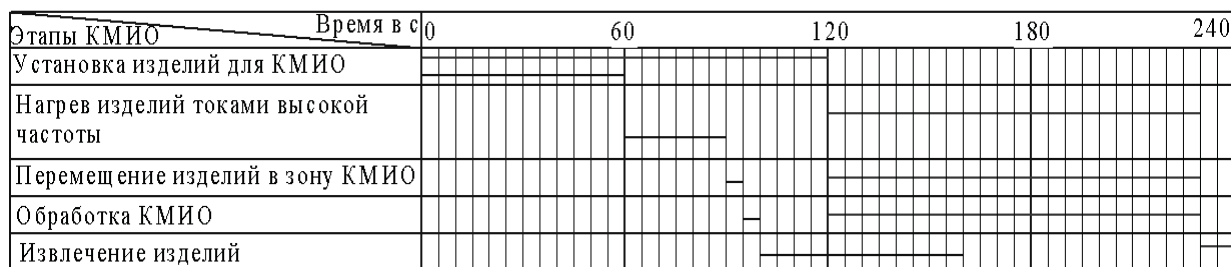


Рисунок 3 – План-график выполнения работ:

++++ - график КМИО с использованием лабораторного устройства подачи
 +++ - график КМИО с использованием модернизированного устройства подачи

Список литературы:

1. Патент РФ №2339704. Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю. Способ комбинированной магнитно-импульсной обработки поверхностей инструментов и деталей машин / Бюл. № 33, 2008. – 6 с.
2. Малыгин, Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. – М.: Машиностроение – 1989. – 112 с., ил.
3. Овчаренко, А.Г. Повышение износо-

стойкости пластин из твердого сплава/А.Г.Овчаренко, А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин //Обработка металлов. – 2010. - №2. – С.13-15.

4. Овчаренко, А.Г. Исследование влияния комбинированной магнитно-импульсной обработки на качество твердосплавного инструмента./ А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин //Обработка металлов. – 2011. - №2. – С.95-99.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПРИ ТОЧЕНИИ МЕТАЛЛОВ

С. Л. Леонов, Е. Б. Белов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Установлено, что при резании металлов наблюдаются два вида колебаний: вынужденные колебания, вызываемые периодически действующими внешними силами, и автоколебания, которые не зависят от действия внешних сил [1]. Причины появления вынужденных колебаний наиболее ясны и потому сравнительно легко устранимы. Появление автоколебаний не связано с какой-либо внешней периодической силой, они являются самовозбуждающимися колебаниями. В связи с этим необходимо уделить большое внимание изучению и умению управлять автоколебаниями, умению прогнозировать их появление еще на этапе проектирования технологических процессов механической обработки деталей. Умение управлять автоколебаниями в процессе обработки резанием является актуальной задачей при обеспечении заданной точности и производительности, а также при создании экономически оправданных технологических процессов обработки деталей.

Повышение требований к геометрическим параметрам качества обработанных поверхностей приводит к необходимости прогнозировать наличие и величину колебательных явлений при механической обработке. В качестве примера рассмотрим операцию черновой токарной обработки вала на станке с ЧПУ японской фирмы MAZAK модели Integrex-e500 (заводе «Механических пресов» города Барнаула). На рисунке 1 приведена фотография технологической наладки на данную операцию.

В процессе обработки вала возникают автоколебания, вследствие чего, увеличивается износ режущего инструмента (уменьшается стойкость пластин), образуется волнистость обрабатываемой поверхности. Шейки вала, на которых образуется волнистость, используются для зажима люнета, с целью обработки торца, проточки центрального отверстия и нарезания в нем резьбы. Поэтому к

ним даже на черновой обработке предъявляются высокие требования по геометрическим параметрам точности поверхности.

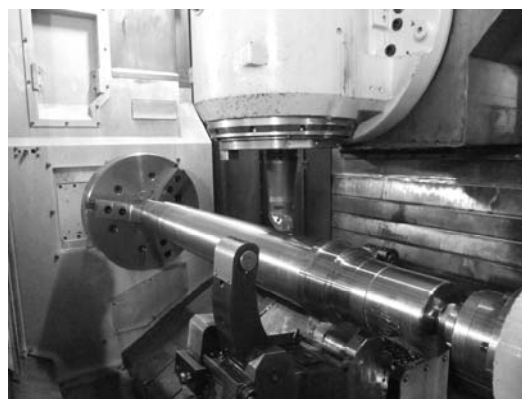


Рисунок 1 – Операция обработки наружной поверхности вала

Материал детали – сталь 40Х твердость - HB240.

Параметры и обозначение инструмента:

- пластина CNMX 160712-HTW IC8250 израильской фирмы ISCAR, радиус при вершине $r=1,2\text{мм}$;

- главный угол в плане $\phi=95^\circ$;

- передний угол $\gamma=6^\circ$;

- сечение державки 60х60мм;

- вылет резца 185мм.

Режимы резания:

- скорость резания $V=200\text{м/мин}$;

- подача $f=0,4\text{мм/об}$;

- глубина резания $t=4\text{мм}$.

На рисунке 2 приведена фотография поверхности детали, на которой явно видны следы вибраций.

Нами разработаны математические модели и программное обеспечение для прогнозирования автоколебаний при токарной обработке [2]. В моделях учитываются параметры инструмента, приспособления, режим резания, геометрические размеры заготовки.



Рисунок 2 – Поверхность вала со следами волнистости

Свойства обрабатываемого материала учитываются математической моделью силы резания. Разработаны варианты расчета автоколебаний для одно- и двухмассовой системы. Причиной, вызывающей автоколебания,

является координатная связь и нелинейная зависимость силы резания от скорости обработки. Программное обеспечение позволяет рассчитывать амплитуды вибраций, которые и приводит к появлению волнистости обработанной поверхности.

На рисунке 3 приведена экранная форма программы, предназначенная для задания исходных данных. Исходные данные разделены на блоки в соответствии с составом технологической системы:

- геометрические параметры инструмента;
- режим резания;
- параметры технологической системы.

Коэффициенты для расчета силы резания зависят от обрабатываемого материала и "защиты" в саму программу.

Исходные данные					
Геометрические параметры инструмента	Передний угол	γ	6	град.	Pz коэффициенты:
	Главный угол в плане	φ	95	град.	
	Подача	S	0,4	мм/об	
	Начальная скорость резания	V0	200	м/мин	
Режим резания	Частота	n	425	об/мин	k1= 1,029567329 k2= 0,974206489 k3= 0,780588377 k4= 0,726521884 k5= 0,80608338 k6= 0,680217731
	Начальная глубина резания	t	4	мм	
	Масса по оси Z	mz	0,001489	т	
	Масса по оси Y	my	0,014317	т	
Параметры технологической системы	Радиус	r	75	мм	Ru коэффициенты: a= 679,352983 k1= 0,695040466 b= -21350,773 k2= 0,617606969 c= 316,392136 k3= -3,69806E-06 d= 65,0908445 k4= 1,47928696 f= -88,812281 k5= 0,812146032 g= 2376,8363 k6= 0,621539907
	Эксцентриситет	e	0	мм	
	Жесткость	Cz	148012	Н/мм	
	Демпфирование	Gz	0,05	Н с/мм	
	Модуль упругости материала	Gy	0,0778	Н с/мм	
	Момент инерции	E	210000	Н/мм2	
	Сечение державки a	J	1487552	мм4	
	Сечение державки b	a	65	мм	
	Вылет инструмента	b	65	мм	
	Плотность материала	l	185	мм	
	Время	po	7,85E-09	т/мм3	
	Перемещение	t0	0	с	
	Скорость	y0	0	мм	
	Шаг	z0	0	мм/с	
Интервал расчетов	Шаг на выходе	ht	1E-07	с	
	Конечное время	Hviv	0,0000315	с	
		t kon	0,6	с	

Рисунок 3 – Экранная форма программы

Программное обеспечение разработанное в табличном процессоре Excel с использованием языка программирования VBA, позволяет рассчитать автоколебания сразу по двум координатам (z и y), определить их амплитуду и частоту, а на этой основе – прогнозировать волнистость обработанной поверхности.

Расчеты по разработанным моделям показали, что для устранения автоколебаний или уменьшения их амплитуды необходимо:

- А) уменьшить подачу;
- Б) уменьшить глубину резания;
- В) увеличить передний угол;

- Г) увеличить главный угол в плане;
- Д) уменьшить вылет инструмента.

Список литературы:

1. Леонов С.Л. Основы создания имитационных технологий прецизионного формообразования/ Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006.- 198 с.
2. Леонов С.Л., Гончаров В.Д., Белов Е.Б, Белов А.Б. Прогнозирование автоколебаний при точении. // Сучасни технологии в машинобудуванні. Збірник наукових праць. Випуск 6. - Харків:, НТУ, 2011. с. 67-71.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

В. Н. Некрасов, Н. Ю. Попова, А. О. Черданцев

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул, Россия

В условиях постоянно расширяющегося ассортимента выпускаемой продукции основным фактором, определяющим целесообразность приобретения изделий потребителем, является качество.

Для обеспечения высокого качества, производительности и низкой себестоимости металлообработки при фрезеровании торцевыми фрезами, необходимо обратить внимание на выбор инструмента и режимов резания.

Отличительной особенностью технологической системы при обработке является тесная взаимосвязь процесса резания с динамикой системы, качеством и производительностью обработки. Для практической реализации обработки необходимо выбрать допустимые режимы резания, установить значения вибродиагностических параметров технологической системы для управления качеством обрабатываемой детали и техническим состоянием самой системы.

При определенных условиях процесс фрезерования теряет устойчивость, и возникают вибрации технологической системы. Колебания инструмента относительно заготовки вызывают периодические изменения толщины срезаемого слоя и сил резания, величину и характер нагрузок, возрастающих в несколько раз по сравнению с устойчивым процессом резания. На появление вибраций в процессе обработки оказывает влияние большое число факторов, среди которых инструмент, система закрепления, станок, заготовка и приспособление. При фрезеровании в некотором диапазоне скоростей резания возникают вибрации, в результате которых снижается качество обработанной поверхности, которое проявляется в виде волнистости. Вибрации вызывают шум, снижают стойкость режущего инструмента, срок службы станка и производительность обработки. Исходя из отрицательных воздействий вибрации инструмента на механообработку, вытекает необходимость прогнозирования параметров

процесса обработки для непосредственного управления качеством деталей.

В задаче управления качеством поверхностного слоя деталей машин при обработке резанием актуальным направлением является разработка моделей, адекватно отражающих процесс достижения необходимого уровня шероховатости и позволяющих управлять им.

На основе разработанной имитационной модели процесса торцевого фрезерования, реализующей взаимодействие модели инструмента и модели обрабатываемой поверхности [2], предложен блок учета осевой силы при фрезеровании. Данный блок позволяет выявить закон изменения скорости и величины перемещения инструмента в осевом направлении и таким образом реализовать в модели процесс вибрации.

Используя методы математического моделирования (разложения в ряды Фурье, построения АЧХ), разработана математическая модель колебательных процессов при торцевом фрезеровании. Модель позволит выбирать режимы резания, не допускающие появления резонансных частот в технологической системе. С помощью АЧХ и АФЧХ определены такие показатели как амплитуда колебания (рис.1) и частота колебания (рис. 2). На основе этих данных можно определить закон перемещения инструмента:

$$y = a_0 + \sum (a_i \cdot \sin \omega t + b_i \cdot \cos \omega t)$$
$$a_i = a'_i \cdot A(\omega)$$

В рассматриваемой модели учитываются только вибрации инструмента, поскольку другие элементы технологической системы имеют более жесткие связи и менее склонны к колебаниям[1].

Таким образом, для ликвидации вибраций в процессе обработки путем моделирования можно подобрать такие режимы резания, при которых амплитуда колебаний будет минимальной.

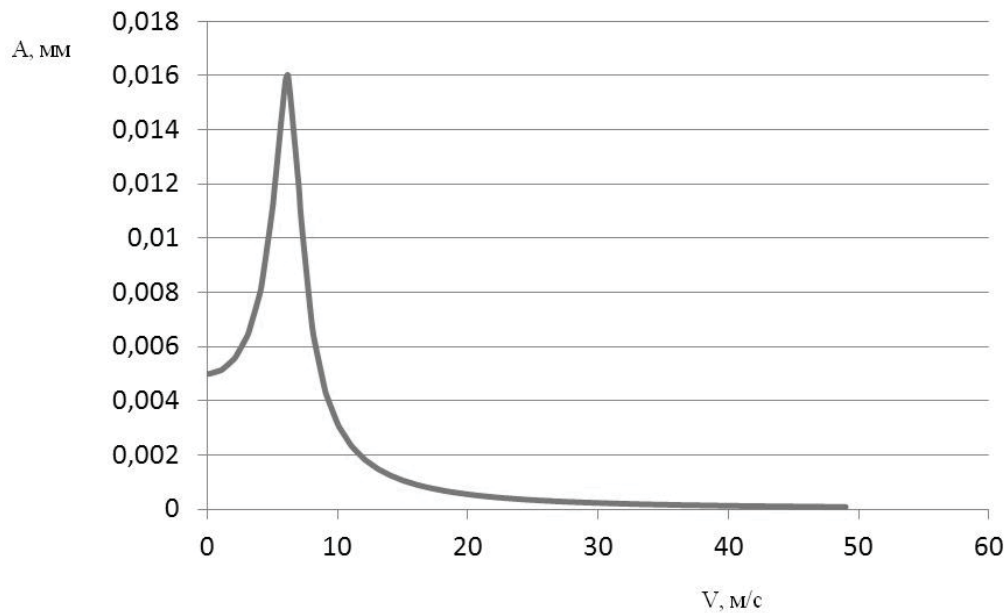


Рисунок 1 – Изменение амплитуды колебаний

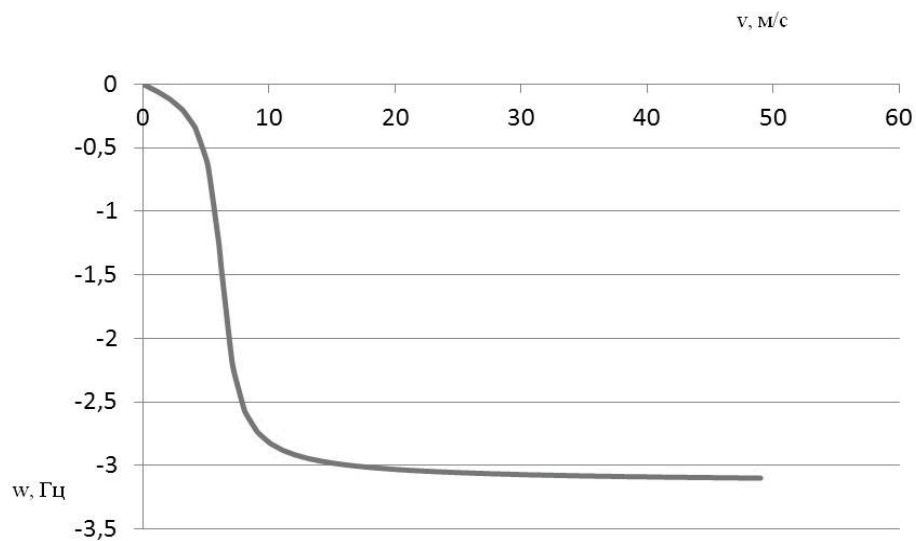


Рисунок 2 – Изменение частоты колебаний

Список литературы:

1. Васин С. А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании / С.А. Васин; М.: Машиностроение, 2006 – 384 с
2. Математическое моделирование формирования микронеровностей при то-

вом фрезеровании. Леонов С.Л, Некрасов В.Н., Черданцев А.О. Материалы 3-ей Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь»/ Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАЦИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

С. Л. Леонов, М. К. Витвинов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

В соответствии с принципом технологического наследования рассмотрим операцию фрезерования, как технологическую систему

преобразующую волнистость заготовки ($A_{i \text{ заг}}$) в волнистость детали ($A_{i \text{ дет}}$) (рисунок 1).

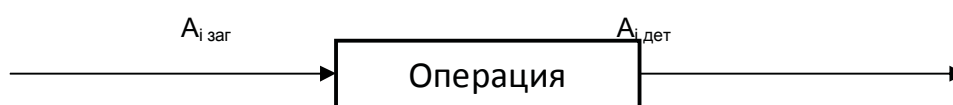


Рисунок 1 – Система для преобразования волнистости заготовки в волнистость детали

При рассмотрении такой системы, необходимо учитывать и тот факт, что сам процесс фрезерования также влияет на волнистость детали, независимо от исходной волнистости заготовки (рисунок 2), это подтверждается и тем, что даже при отсутствии неровностей поверхности заготовки, на детали присутствует волнистый профиль (рисунок 3)

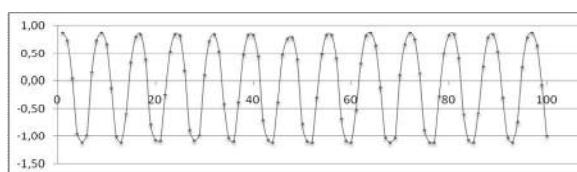


Рисунок 2 – Профиль поверхности заготовки

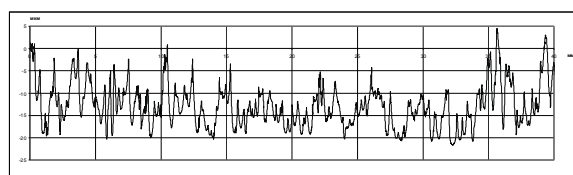


Рисунок 3 – Профиль поверхности детали

Обычно считается, что данная составляющая имеет аддитивный характер, то есть

$$A_{i \text{ дет}} = W(s) \cdot A_{i \text{ заг}} + A_{i \text{ соб}}, \quad (1)$$

где $W(s)$ – передаточная функция операции;

$A_{i \text{ соб}}$ – составляющая волнистости, вносимая самим процессом фрезерования.

$A_{i \text{ соб}}$ определяется совокупным влиянием нескольких факторов, таких как геометрические погрешности инструмента, погрешностями его базирования на станке, вибрация-

ми от приводов и т.д.

Гипотеза об аддитивном влиянии собственной составляющей волнистости (1) не всегда подтверждается на практике. Ряд проведенных экспериментов показали, что колебания на этих частотах могут не только усиливать, но и ослаблять амплитуду волнистости, то есть искажать вид передаточной функции $W(s)$ технологической операции. Поэтому при построении действительной передаточной функции технологической системы, предлагается исключать составляющую волнистости, вносимую самим процессом фрезерования, применяя следующую методику:

1. Производится обработка заготовки с гладкой поверхностью;
2. Выполняются измерения параметров профиля поверхности обработанной заготовки;
3. Осуществляется разложение полученного профиля в ряд Фурье;
4. Выявляются гармоники с наибольшими амплитудами;
5. При построении передаточной функции $W(s)$ технологической операции, частотные гармоники, вносимые самим процессом фрезерования, исключаются из рассмотрения.

Рассмотрим операцию фрезерования наружной поверхности заготовки, выполненной в виде бруска 120 x 20 x 20 мм из материала сталь 40 в состоянии поставки. Обработка производится на горизонтально-фрезерном станке модели 6М83, при кон-

сольном закреплении режущего инструмента, в качестве которого используется фреза дисковая 100х10 Н9 Р6М5. Режимы резания $s = 25$ мм/мин; $n = 80$ об/мин; $t = 1,01$ мм.

Для получения передаточной функции $W(s)$ рассматриваемого примера необходимо

произвести обработку заготовки с пазами, вызывающими возникновение собственных колебаний в технологической системе. Внешний вид заготовки, профиль поверхности и его геометрические параметры представлены на рисунке 4.

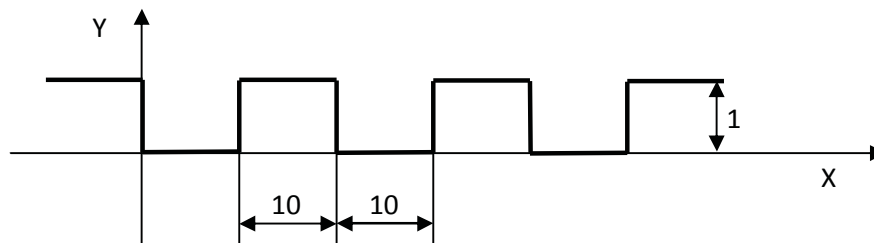


Рисунок 4 – Профиль заготовки

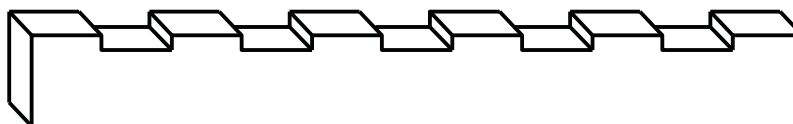


Рисунок 5 – Внешний вид заготовки

Обработка заготовки с исходным профилем производится в соответствии с заданными режимами резания на выбранном оборудовании. Профиль обработанной поверхности полученной детали фиксируется с помощью автоматизированной системы определения шероховатости и волнистости, далее производится его гармонический анализ, разложение исходного профиля в ряд Фурье.

Далее производится расчет и построе-

ние амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) операции, из которой согласно предложенной методики, частоты вносимые самим процессом фрезерования исключаются из рассмотрения (рисунок 6). Для определения вида передаточной функции операции $W(s)$, рассчитывается логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) представленная на рисунок 7.

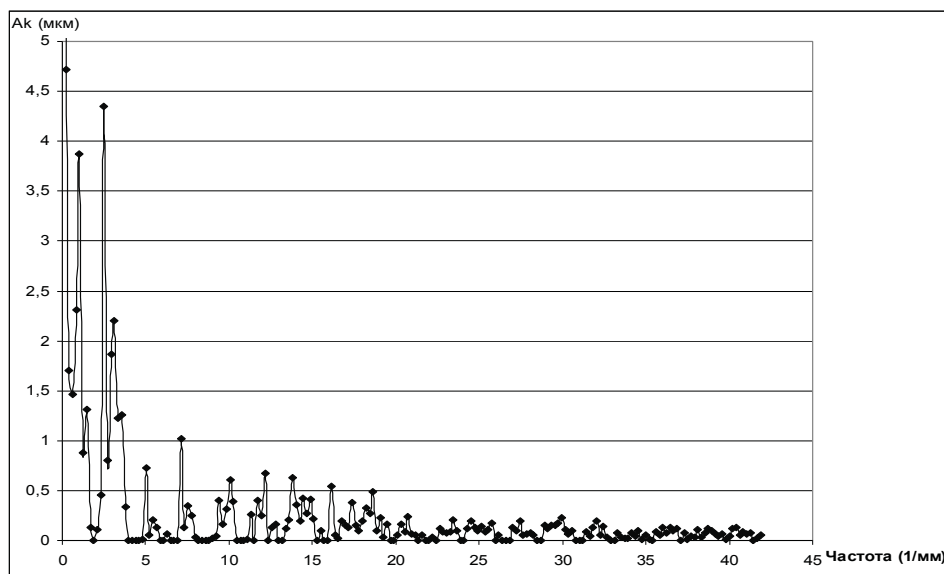


Рисунок 6 – Спектр профиля детали для заготовки с пазами

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАЦИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

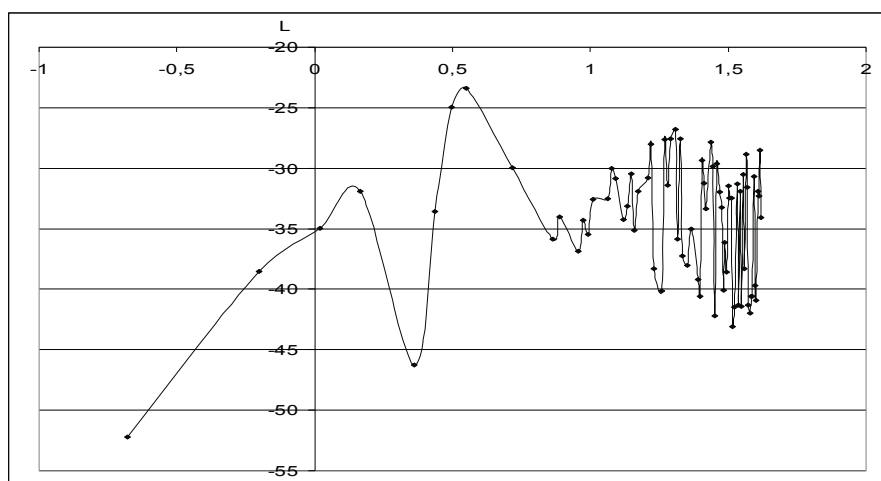


Рисунок 7 – Амплитудно-частотная характеристика операции

Вид графика на рисунок 7 позволяет предположить, что передаточная функция операции имеет вид:

$$W(s) = \frac{k(T_3^2 s^2 + 2e_3 T_3 s + 1)(T_4^2 s^2 + 2e_4 T_4 s + 1)}{(T_1^2 s^2 + 2e_1 T_1 s + 1)(T_2^2 s^2 + 2e_2 T_2 s + 1)} \quad (2)$$

Это объясняется тем, что две резонансные частоты, находящиеся в низко частотной зоне ЛАЧХ соответствуют последовательно соединенным колебательным звеньям

$$\begin{aligned} W_1(s) &= \frac{k}{T_1^2 s^2 + 2e_1 T_1 s + 1} \\ W_2(s) &= \frac{1}{T_2^2 s^2 + 2e_2 T_2 s + 1} \end{aligned} \quad (3)$$

При $\omega \rightarrow \infty$ ЛАЧХ стремиться к постоянному значению, что соответствует двум фор-

сирующим звеньям второго порядка, последовательно соединенным с колебательными:

$$\begin{aligned} W_3(s) &= T_3^2 s^2 + 2e_3 T_3 s + 1 \\ W_4(s) &= T_4^2 s^2 + 2e_4 T_4 s + 1 \end{aligned} \quad (4)$$

На рисунке 8 приведена структурная схема математической модели технологической операции.

Для колебательных звеньев АЧХ имеет вид:

$$\begin{aligned} A_1(\omega) &= \frac{k}{\sqrt{(1 - T_1^2 \omega^2)^2 + 4T_1^2 e_1^2 \omega^2}} \\ A_2(\omega) &= \frac{1}{\sqrt{(1 - T_2^2 \omega^2)^2 + 4T_2^2 e_2^2 \omega^2}} \end{aligned} \quad (5)$$

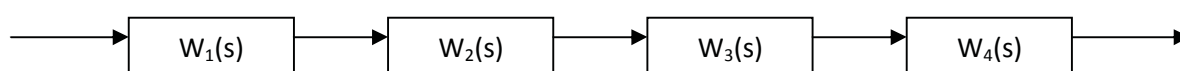


Рисунок 8 – Структура математической модели операции

Для форсирующих звеньев

$$\begin{aligned} A_3(\omega) &= \sqrt{(1 - T_3^2 \omega^2)^2 + 4T_3^2 e_3^2 \omega^2} \\ A_4(\omega) &= \sqrt{(1 - T_4^2 \omega^2)^2 + 4T_4^2 e_4^2 \omega^2} \end{aligned} \quad (6)$$

При последовательном соединении звеньев АЧХ всей системы рассчитывается как произведение АЧХ составляющих звеньев:

$$A_0 = A_1 A_2 A_3 A_4 \quad (7)$$

При этом ЛАЧХ определяется суммой

$$L_0 = \sum_{i=1}^4 L_i = \sum_{i=1}^4 20 \lg A_i \quad (8)$$

Коэффициенты передаточных функций ($k, T_1, T_2, T_3, T_4, e_1, e_2, e_3, e_4$) рассчитываются

по методу наименьших квадратов (МНК), минимизируя сумму квадратов отклонений экспериментально полученной ЛАЧХ и ЛАЧХ, рассчитанной по выражениям (5)-(8). Первоначальную оценку коэффициентов можно производить последовательно с дальнейшим уточнением их по МНК.

Предположим, что $20 \lg k = -50$, тогда $k = 10^{-2.5} = 0,003$. Первая резонансная частота в соответствии с графиком рис. 7 соответствует $\lg \omega_1 = 0,28$. Тогда $\omega_1 = 1,9$ 1/мм, $T_1 = 1/\omega_1 = 0,52$ мм. Для получения максимума на ЛАЧХ $e_1 < 1$. В дальнейшем значения k, T_1 и e_1 будет уточняться. Аналогично рассчитываем

параметры 2-го колебательного звена: $\lg \omega_2 = 0,5$, тогда $\omega_2 = 3,2$ 1/мм, $T_2 = 1/\omega_2 = 0,3$ мм, $e_2 < 1$.

Первое форсирующее звено формирует минимум на ЛАЧХ. Поэтому $\lg \omega_3 = 0,36$, $\omega_3 = 2,3$ 1/мм, $T_3 = 1/\omega_3 = 0,43$ мм, $e_3 < 1$. Второе форсирующее звено корректирует общий вид ЛАЧХ и гарантирует горизонтальный участок при $\omega \rightarrow \infty$. Его параметры определяются в соответствии с МНК. В таблице 1 приведены

начальные значения параметров звеньев и их окончательные значения после уточнения по МНК. На рис. 9 показано сравнение экспериментальной и расчетной ЛАЧХ. Кривые практически совпадают на низких частотах, соответствующих волнистости обработанной поверхности. Отклонения в высокочастотной части ($\omega > 10$ 1/мм) вызваны случайными составляющими шероховатости поверхности.

Таблица 1 – Значения коэффициентов передаточной функции

	k	T_1	e_1	T_2	e_2	T_3	e_3	T_4	e_4
Начальные	0,003	0,52	0,5	0,3	0,5	0,43	0,5	1	1
Уточненные	0,000547	0,5211	0,2404	0,3033	0,1651	0,4174	0,0093	1,9959	6,737

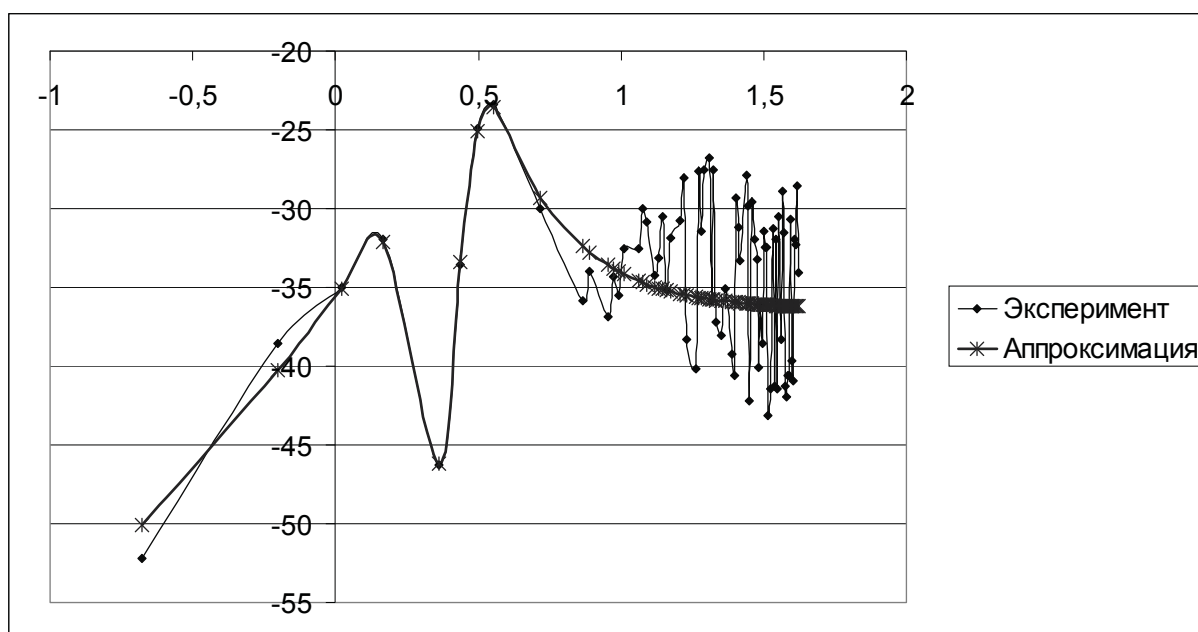


Рисунок 9 – Сравнение экспериментальной ЛАЧХ и ее аппроксимации

Предлагаемая методика позволяет получать передаточную функцию $W(s)$ достаточно точно описывающая технологическую операцию, давая при этом возможность, анализировать влияние и управлять такими параметрами, как режимы резания, с целью снижения волнистости обработанной поверхности.

Список литературы:

1. Леонов С.Л. Основа создания имитационных технологий прецизионного формообразования / С.Л. Леонов, А.Т. Зиновьев // Алт.гос.техн.ун-т им.И.И.Ползунова. – Барнаул:Изд-во АлтГТУ, 2006. -198 с.
2. Леонов С.Л. Использование принципа технологического наследования для идентификации операции механической обработки / С.Л. Леонов, М.К. Витвинов // Ползуновский вестник – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1/1-2012. – 321-323 с.

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРУЕМЫЙ ЭЛЕМЕНТ

А. А. Демин, И. А. Титов

Бийский технологический институт,
г. Барнаул, Россия

Несущую способность прессовых соединений обычно оценивают по зависимостям на основе формулы Ламе [1, 2], согласно которой давление на посадочных поверхностях зависит от натяга и толщины стенок охватывающей и охватываемой детали. При этом расчет производят по крайним границам поля допусков на изготовление соединяемых деталей и не учитывают закономерностей рассеивания размеров. Поскольку вероятность появления в производстве валов и отверстий с предельными размерами очень мала, то во многих случаях рассеивание размеров деталей можно выразить кривой нормального распределения Гаусса. Поэтому для расчета несущей способности прессовых соединений применяют также вероятностный подход.

В настоящее время применяются трехэлементные прессовые соединения [3, 4], отличительным признаком которых является наличие промежуточного пластически деформируемого элемента (рисунке 1). Деформируемый элемент обеспечивает большее усилие сцепления и позволяет снизить требования к точности изготовления и качеству поверхностей деталей соединения [5]. При

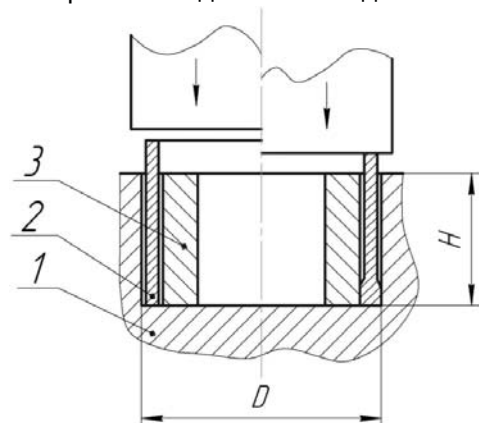


Рисунок 1 – Прессовое соединение, содержащее пластически деформируемую промежуточную втулку

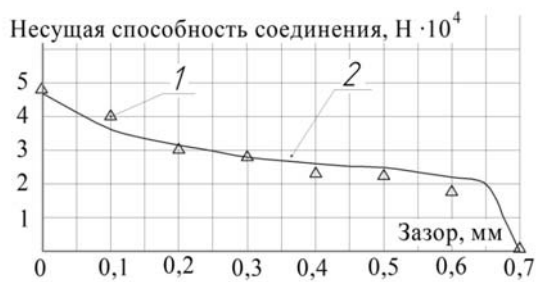
расчете несущей способности таких соединений не применимы существующие методики расчета, базирующиеся на учете только упругих деформаций соединяемых элементов. Целью проведенных исследований было установление инженерной зависимости для расчета несущей способности трехэлементных прессовых соединений на стадии проектирования.

Несущая способность такого прессового соединения, как показали проведенные численные и экспериментальные исследования, зависит от множества факторов, которые не учитывают зависимости на основе формулы Ламе. К числу таких факторов можно отнести работу материала в пластической зоне, неравномерное распределение механических свойств материала по объему пластически деформируемого элемента, относительную высоту соединения, усилие осадки втулки, изменение величины монтажного зазора, обусловленной погрешностью изготовления деталей.

Проведенная серия экспериментов позволила оценить характер влияния каждого существенного фактора и его весовой коэффициент на величину несущей способности соединения.

На рисунке 2 показано влияние монтажного зазора на несущую способность соединения, для случая, когда соединяемые детали изготовлены из стали 45, относительная высота соединения 2,8, усилие сборки (осадки) 200 кН.

При приближении к максимальной величине зазора обусловленной 14-м качеством точности изготовления деталей несущая способность соединения резко снижается. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что объем пространства между охватываемой и охватывающей деталями начинает приближаться, а затем и превосходить объем материала промежуточной втулки.



1 – экспериментальные значения
2 – аппроксимирующая зависимость
Рисунок 2 – Зависимость несущая способность соединения от зазора

На рисунке 3 представлена зависимость несущей способности от относительной высоты соединения для вышеуказанного случая при величине монтажного зазора не более 0,021 мм.



1 – экспериментальные значения
2 – аппроксимирующая зависимость
Рисунок 3 – Зависимость несущая способность соединения от относительной высоты

Здесь следует отметить, что увеличение относительной высоты соединения, а, следовательно, и площади контакта сопрягаемых поверхностей в 2 раза приводит к повышению несущей способности соединения не 2 раза, как следовало бы ожидать, а в 1,8 раз. Однако если относительная высота соединения изменяется в пределах от 0,8 до 2,8 то несущую способность соединения можно достаточно точно аппроксимировать прямой вида $y = kx$. Поэтому был введен поправочный коэффициент k , который устанавливает соответствие между относительной высотой соединения и ее несущей способностью, а также служит для установления соответствия между другими частями предлагаемой зависимости.

На рисунке 4 представлена зависимость несущей способности от усилия осадки промежуточной втулки с учетом вышеперечис-

ленных параметров. Из графика видно, что при значениях сборочного усилия не вызывающих пластических деформаций в промежуточной втулки несущая способность соединения равна нулю. С превышением этого предела до некоторого значения несущая способность резко увеличивается, затем от приложенного усилия начинает формироваться фланец и основная нагрузка перераспределяется на фланцевую часть втулки. В результате чего темп увеличения несущей способности соединения резко замедляется.



1 – экспериментальные значения
2 – аппроксимирующая зависимость
Рисунок 4 – Зависимость несущей способности соединения от усилия сборки

На основе анализа результатов экспериментальных исследований была предложена эмпирическая зависимость (1), позволяющая рассчитать несущую способность прессового соединения, содержащего пластически деформируемую втулку:

$$F = f \cdot \frac{H}{D} \cdot E \cdot (L_{IT14} \cdot \delta)^{0,112 \delta^{0,2}} \cdot \sqrt{F_{сб} - S_{пол} \cdot \sigma_{т ср}} \cdot k \quad (1)$$

где f – коэффициент трения;
 H – высота сопрягаемых поверхностей, м;
 D – внешний диаметр охватываемой детали (номинальный), м;
 $F_{сб}$ – усилие сборки, Н;
 $S_{пол}$ – площадь поперечного сечения промежуточной втулки, м²;
 $E_{мин}$ – модуль упругости наименее прочного материала, Па;
 $\sigma_{т ср}$ – предел текучести материала втулки усредненный по ее длине, Па;
 L_{IT14} – граница 14-го качества поля допуска на изготовление охватываемой и охватываемой детали, м;
 δ – монтажный зазор, м;
 $k=4300$ – эмпирический коэффициент корреляции.

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРУЕМЫЙ ЭЛЕМЕНТ

При этом конфигурация промежуточной втулки и характер распределения ее механических свойств должны соответствовать оптимальным параметрам [5, 6]. Относительная тонкостенность охватываемой и охватывающей деталей должны иметь значение менее 0,4 т.е. соответствовать случаю массивных деталей. Согласно этому условию увеличение толщины стенок соединяемых деталей не приводят к существенному изменению максимальных напряжений на сопрягаемых поверхностях [2].

Для проверки адекватности предложенной зависимости была проведена серия экспериментов, в которых несущая способность с помощью варьирования основных параметров. Полученные экспериментальные значения сопоставлены (рисунок 5) со значениями несущей способности, рассчитанными по предложенной зависимости (1). Максимальное отклонение расчетных и экспериментальных данных составило менее 15% в диапазоне оптимальных соотношений геометрических параметров промежуточной втулки.

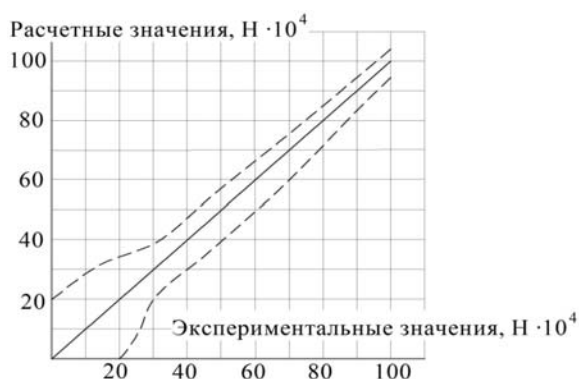


Рисунок 5 – Несущая способность соединения

Список литературы:

1. Гречищев Е.С., Ильященко А.А. Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление. – М.: машиностроение 1981. 247 с.
2. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 2.– М.: Машиностроение, 1988. – 544 с.
3. Авторское свидетельство СССР № 602337, 23.03.1987
4. Авторское свидетельство СССР № 617128, 28.02.1987
5. Демин А. А. Повышение качества соединений с гарантированным натягом с использованием промежуточной втулки // Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 6-й Всероссийской научно-практической конференции – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2012. С. 93-96
6. Демин А.А., Титов И.А., Бут Н.В. Учет анизотропии механических свойств при конечно-элементном моделировании сборки деталей с натягом // Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 6-й Всероссийской научно-практической конференции – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2012. С. 136-138.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ППД МУЛЬТИРАДИУСНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

В. Ю. Блюменштейн

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

Аппарат механики технологического наследования позволяет выполнять расчеты наследуемых свойств поверхностного слоя с единых методологических позиций. Формирование поверхностного слоя при механической обработке и последующей эксплуатации обработанной детали представляется как процесс непрерывного накопления деформаций и исчерпания запаса пластичности в условиях сложного немонотонного нагружения. Для процессов резания и поверхностного пластического деформирования (ППД) разработаны модели программ нагружения, которые описывают накопление деформации в условиях изменяющихся схем наследуемого напряженного состояния металла поверхностного слоя в очаге пластической деформации.

Известно, что в процессе механической обработки одновременно происходят два процесса: упрочнение, характеризующее накопленной деформацией в соответствии с кривой течения, и накопление дефектов, характеризующее снижение пластичности металла. Поэтому, одна из ключевых задач – выбор такой структуры технологического процесса и методов упрочнения, которые, с одной стороны, обеспечивают упрочнение поверхностного слоя, с другой, – не приводят к критическому снижению запаса пластичности металла.

В машиностроении применяются различные методы достижения указанной цели: комбинирование и совмещение методов, выбор рациональных режимов и др.

В рамках данной работы рассматривается процесс ППД, который выполняется специальным мультирадиусным инструментом.

При моделировании напряженно-деформированного состояния металла поверхностного слоя использовались 3 основных типа роликов специального профиля.

Первый тип профиля представлял собой комбинацию 4-х последовательно располо-

женных инденторов, расположенных относительно друг друга с некоторым смещением в радиальном направлении.

Второй тип профиля представлял собой комбинацию деформирующего элемента профильного радиуса $R_{np} = 3$ мм и цилиндрической части, расположенной относительно вершины деформирующего элемента с зазором 0,15 мм.

Третий тип профиля представлял собой комбинацию 2-х близкорасположенных инденторов, имеющих относительно друг друга некоторое смещение в радиальном направлении (рисунок 1).

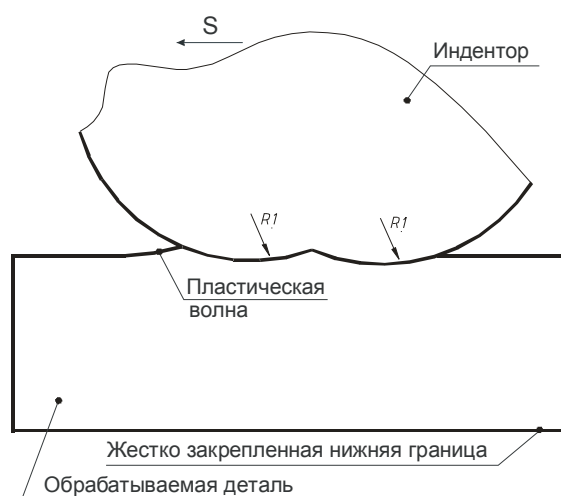


Рисунок 1 – Постановка задачи конечно-элементного моделирования обработки роликом специального профиля третьего типа

Деформирующий элемент, первым входящий в контакт с поверхностным слоем, имел профильный радиус $R_{np} = 1$ мм и двигался относительно поверхности с действительным натягом $h_o = 0,02$ мм. Второй деформирующий элемент также имел профильный радиус $R_{np} = 1$ мм и имел смещение относи-

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ППД МУЛЬТИРАДИУСНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

тельно 1-ого элемента в радиальном направлении на величину 0,03 мм. Таким образом, действительный натяг 2-го элемента относительно поверхности составил $h_0 = 0,05$ мм.

Для определения компонентов напряженно-деформированного состояния использовался метод конечных элементов (МКЭ). В соответствии с принятой постановкой моделирования создавались конечно-элементные модели, состоящие из обрабатываемой детали и внедряемого в нее ролика специальной формы. Деталь моделировалась как упругопластическое тело, а ролик – как абсолютно жесткое.

В результате конечно-элементного моделирования для роликов всех типов получены распределения компонент напряжений и деформаций, возникающих при обработке. Полученные распределения позволили сформировать представления о закономерностях процессов, протекающих в очаге деформации, оценить максимальные напряжения и деформации, выделить области их локализации.

Численные значения параметров напряженно-деформированного состояния в точках линий тока позволили рассчитать характеристики механического состояния поверхностного: показатель схемы напряженного состояния Π , степень деформации сдвига Λ , по диаграмме пластичности и найденному показателю схемы – предельную степень деформации сдвига Λ_p , а по степени деформации сдвига и Λ_p - степень истощения запаса пластичности Ψ .

Параметры напряженно-деформированного состояния в очаге деформации рассматривались вдоль линии тока, формирующей поверхность детали.

Для третьего типа роликов установлено, что наибольшие сжимающие напряжения по всем осям локализованы в зоне передних контактных поверхностей деформирующих элементов.

Анализ картины напряженного состояния показал наличие существенного взаимного влияния деформирующих элементов друг на друга: поля напряжений деформирующих элементов пересекаются, образуя объединенный очаг деформации. При этом в зоне задней контактной поверхности первого деформирующего элемента осевые и окружные

растягивающие напряжения, свойственные этой зоне, вообще не успевают возникнуть вследствие влияния второго близкорасположенного деформирующего элемента.

Наибольшие растягивающие напряжения возникают в осевом направлении в зоне задней контактной и внеконтактной поверхностей 2-го деформирующего элемента.

Картина распределения касательных напряжений по мере продвижения вдоль очага деформации представлена несколькими зонами.

Наибольший перепад всех компонент напряжений наблюдается в зонах при вершинах деформирующих элементов. Здесь высокие значения сжимающих напряжений в районе передних контактных поверхностей переходят в околонулевые или растягивающие напряжения в районе задних контактных поверхностей.

Относительная деформация в основном локализована в области передних контактных и внеконтактных поверхностей деформирующих элементов.

Анализ показал, что при обработке специальным роликом с профилем 3-ого типа имеется 5 участков квазимонотонной деформации, в то время как при обработке традиционным ППД обнаруживается лишь 3 участка.

Накопление деформации и истощение запаса пластичности носит двухступенчатый характер. При этом накапливаются значительные степени деформации сдвига $\Lambda = 3..3,2$ при докритических значениях степени истощения запаса пластичности $\Psi = 0,6..0,7$ (рисунок 2). Рост накопленных параметров практически прекращается в районе вершины второго деформирующего элемента.

Установлено, что при обработке роликом специального профиля третьего типа программа нагружения также имеет две выраженных ступени, обусловленные наличием 2-х деформирующих элементов (рисунок 3).

Накопление деформаций происходит в условиях сложного изменяющего напряженного состояния. Так, показатель схемы напряженного состояния Π изменяется от -0,577 до -2,7 и далее до -0,5 для первого профиля; далее закономерности изменения Π повторяются.

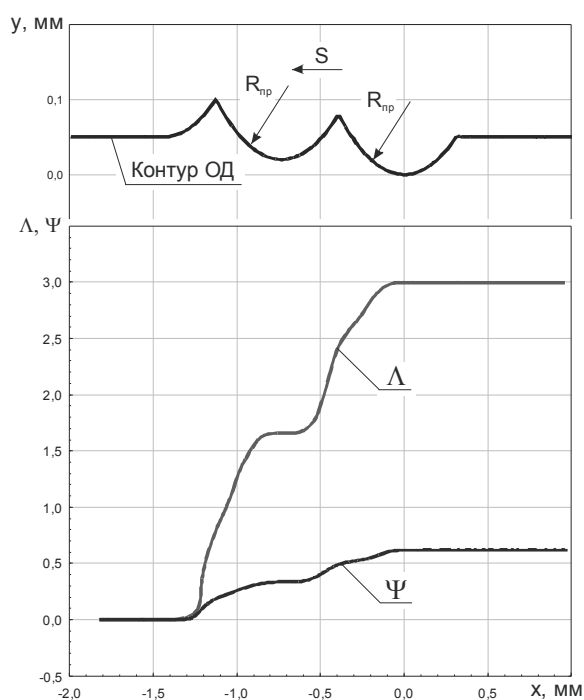


Рисунок 2 – Распределение накопленных значений степени деформации сдвига Δ и степени истощения запаса пластичности Ψ ($\Psi = 1$ - полное истощение запаса пластичности)

Видно, что применение мультирадиусного профиля позволяет создать оригинальную схему с более мощным очагом деформации.

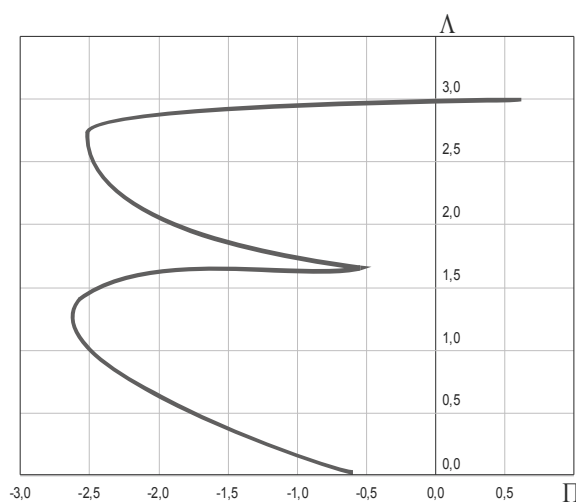


Рисунок 3 – Зависимость накопленной степени деформации Δ от показателя схемы напряженного состояния Π (программа нагружения)

Управление программами нагружения (ПН) позволяет накапливать требуемые деформации без разрушения поверхностного слоя, обеспечивая тем самым, требуемую долговечность деталей машин.

На практике моделируется программа нагружения, оценивается накопленная степень деформации сдвига, рассчитывается степень истощения запаса пластичности.

В случае удовлетворительного результата по полученным значениям деформационных параметров проектируется деформирующий инструмент.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ (НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТИНОК ИЗ СТАЛИ ШХ-15)

Д. А. Бородин

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

В настоящее время актуальной является проблема повышения надежности изделий машиностроения. Исследования в этой области проводятся во многих научных организациях. Такие изделия, как подшипники качения хорошо изучены с точки зрения технологии изготовления, влияния макросостояний на показатели качества. Исследование формирования и трансформации тонкого поверхностного слоя и последующее выявление закономерностей этих процессов является одной из приоритетных задач машиностроения на пути к новому этапу качества изделий.

В рамках данной задачи разработан план экспериментальных исследований, включающий 3 типа объектов исследования, которые стали основой для трех различных направлений исследования (рисунок 1):

1) Исследование технологического наследования свойств тонкого поверхностного слоя при изготовлении и эксплуатации подшипников №310.

2) Исследование технологического наследования свойств тонкого поверхностно-

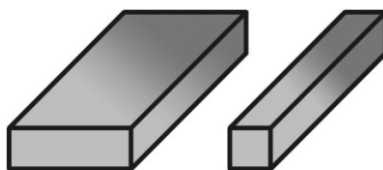
го слоя при изготовлении и эксплуатации двух типоразмеров (40x15x5 и 40x5x5 мм) пластинок из стали ШХ-15.

3) Исследование влияния технологической наследственности и модифицированных смазочных композиций на долговечность сферических подшипников ШСЛ-60.

Второе направление эксперимента было разработано для моделирования процесса изготовления и эксплуатации дорожек качения подшипников 310 на плоской поверхности. Были изготовлены пластинки из стали ШХ-15 в количестве 180 штук (по 90 штук на один типоразмер) согласно схеме (рисунок. 2), кроме этапа эксплуатации. Шлифование проводилось на 3 режимах, первый – основной режим, на котором шлифуются подшипники согласно технологическому процессу. Второй и третий – режимы с увеличенной скоростью обработки. После каждой операции изымались образцы, необходимые для исследования поверхностного слоя на стадиях производства.



Подшипник №310



Пластины из стали ШХ-15



Сферический
ШСЛ-60

подшипник

Рисунок 1 – Объекты исследования

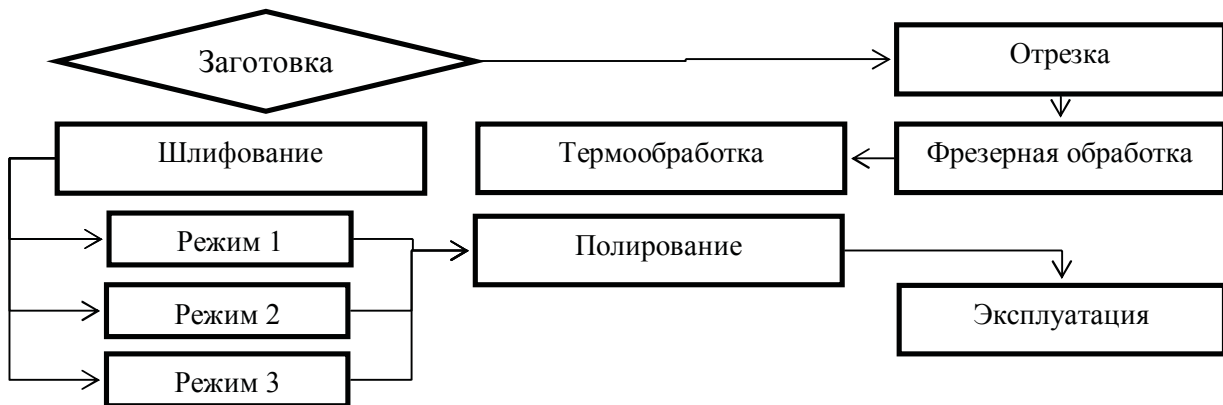


Рисунок 2 – Схема эксперимента по пластинам из стали ШХ-15

Для исследования влияния технологической наследственности на этапе шлифования желоба пластинок были поделены на 3 группы, которые шлифовались на 3 различных режимах.

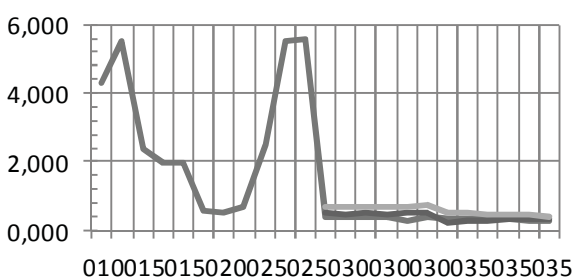
При проведении исследований применялись приборы: профилограф-профилометр «Talyserf» 5M120, магнитный структуроскоп марки КРМ-Ц-К2М, анализатор магнитошумовой «Introscan», акустический структурометр «Астрон», микротвердомер для проведения испытаний по Виккерсу Durascan 20.

Результаты исследований показаны на рисунке 3-7. На рисунках синим цветом показаны значения, соответствующие основному режиму обработки, а красным и зеленым –

второму и третьему режимам соответственно. Разграничение идет по операциям: 010 – отрезка, 015, 020 – фрезерные черновая и чистовая, 025 – термообработка, 030 – шлифование, 035 – полирование.

Значения R_a соответствуют ожидаемым и контролируемым значениям на стадиях обработки. Большие различия при разных режимах шлифования вызваны в первую очередь погрешностью оборудования и невозможности точного контроля шероховатости на предприятии. График R_{max} повторяет форму графика R_a , что соответствует закономерности изменения шероховатости на стадиях обработки (рисунок 3).

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a (мкм)



Наибольшая высота неровностей профиля R_{max} (мкм)

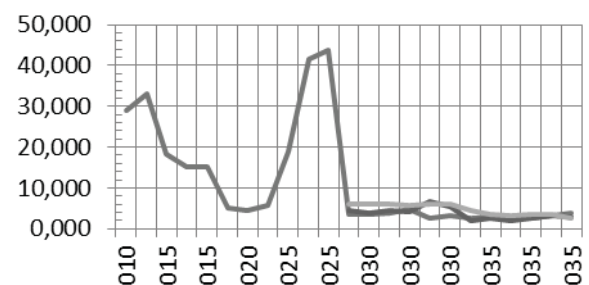


Рисунок – 3 Графики значений R_a и R_{max} на стадиях обработки

Из графика (рисунок 4) видно, что после операции отрезки поверхность имеет равное распределение впадин и выступов. При черновом фрезеровании возрастает количество «острых» выступов, но при чистовом фрезеровании картина меняется в обратную сторону. Закономерно наблюдается появление «острых выступов» при закалке и их после-

дующее уменьшение, с появлением «острых» впадин при шлифовании и полировании.

Параметр R_{sk} является одним из ключевых показателей качества поверхности, так как при одном параметре R_a или R_z R_{sk} может быть различным. Соответственно вид профиля неровностей также будет отличаться. Наличие «острых» выступов при положи-

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ (НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТИНОК ИЗ СТАЛИ ШХ-15)

тельном значении параметра приводит к более высокой общей шероховатости, к увеличению времени приработки детали. Наличие же острых впадин благоприятно сказывается на общей шероховатости поверхности и на приработке, однако в таком случае сильнее прогрессируют усталостные разрушения, ввиду наличия сильных концентраторов напряжений в виде более глубоких впадин.

Параметр шероховатости Δq характеризует «остроту» вершин и впадин профиля. Чем ниже величина показателя, тем меньше средний угол наклона неровностей относительно средней линии, соответственно менее опасны концентраторы напряжений.

Согласно рисунку 4 значение параметра Δq изменяется в широких диапазонах, но на стадии полирования до 0,01. Анализ позволил установить, что вследствие влияния технологической наследственности поверхност-

ный слой приобрел высокую усталостную прочность. Которая в свою очередь выше, чем на операциях фрезерование и закалка. Также стоит отметить, что различие режимов не сказалось кардинальным образом на конечном значении Δq .

Значения акустической эмиссии изменяются скачкообразно при переходе на операцию термообработки, что говорит о структурных изменениях в поверхностном слое. После операции шлифования режимы 2 и 3 характеризуются сильными отклонениями, что может быть вызвано структурными изменениями или погрешностями измерения. Для того, чтобы более точно ответить на этот вопрос необходимо проводить более глубокие исследования поверхностного слоя. Однако после полирования характеристики выравниваются на значениях, установившихся после термообработки (рисунок 5).

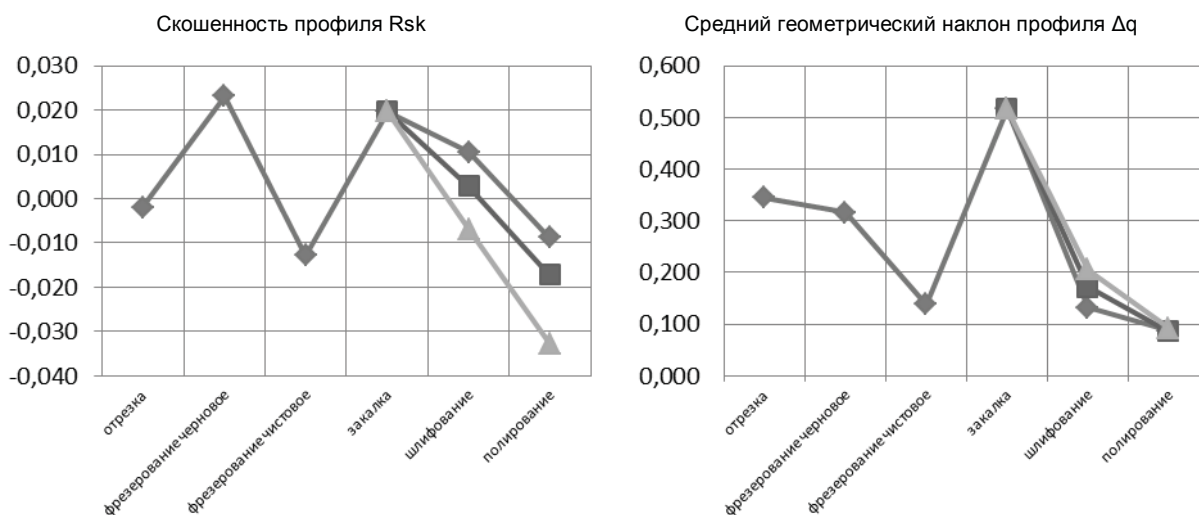


Рисунок 4 – Графики значений Rsk и Δq на стадиях обработки

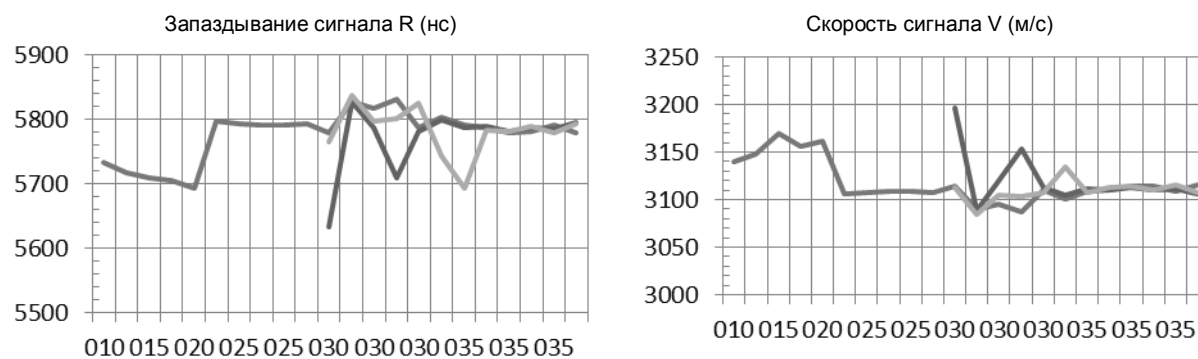


Рисунок 5 – Графики значений R и V на стадиях обработки

В виду небольшой толщины образцов и режимов закалки полученные изделия имеют как твердый поверхностный слой, так и сердцевину, о чем свидетельствуют полученные результаты. После исключения значений грубых наблюдений, являющихся погрешностями измерения, получается постоянное значение

твердости в поверхностном слое (рисунок 6).

В зависимости от режимов обработки микротвердость практически не меняется и после полирования образцы, обработанные на разных режимах, имеют схожую твердость.

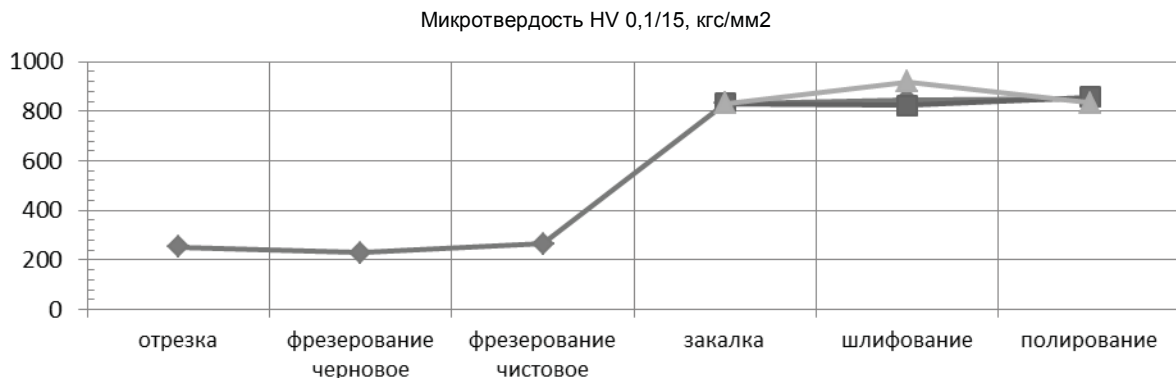


Рисунок 6 – Графики значений микротвердости на стадиях обработки

Полученные результаты подтверждают полученные говорят о том, что на шероховатость поверхности опытных образцов оказывают влияние режимы обработки. При этом режимы обработки в меньшей степени влияют на высотные характеристики, в большей степени - на форму поверхности, что, в конечном счете, увеличивает количество концентраторов напряжений и опасность возникновения микро- и макротрещин.

При механической обработке происходит упрочнение поверхности, однако при используемых размерах опытных образцов в процессе закалки происходит полное прокаливание материала. Это не позволяет говорить, что режимы шлифования влияют на последующие значения микротвердости.

При закалке происходит полная релаксация остаточных напряжений и изменение структуры материала, однако различные режимы шлифования не оказали существенного влияния на магнитные и акустические характеристики опытных образцов. Также было установлено, что в процессе шлифования происходит значительное увеличение количества дефектов поверхности.

Изменение формы поверхности, то есть увеличение количества глубоких и острых впадин приводит к лучшему заполнению их наноалмазами, что повышает КПД наномодифицированных смазочных материалов и снижает общую шероховатость поверхности.

Работа выполнена под руководством д.т.н. проф. Блюменштейна В.Ю.

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ СПОСОБАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

М. С. Махалов

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

Известно, что остаточные напряжения (ОН) являются одним из ключевых параметров качества поверхностного слоя (ПС) ответственных деталей машин при различных видах знакопеременных эксплуатационных нагрузок. При этом важную роль играет как величина, так и характер распределения сжимающих ОН по глубине ПС.

Широкими возможностями по созданию в ПС благоприятных сжимающих ОН близких по величине к пределу текучести металла обладают способы упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД). К ним относятся в частности традиционное ППД роликом и являющийся его развитием способ размерного совмещенного обкатывания (РСО) [1-3].

К настоящему времени известно и используется значительное число методик экспериментального определения остаточных напряжений, большая часть из которых основана на послойном удалении поверхностного слоя металла детали и измерении остаточных деформаций с последующим расчетом величины ОН. При этом большинство методик являются трудоемкими и не позволяют оперативно определять распределение ОН

по глубине упрочненного ПС деталей машин.

Учитывая сказанное, перспективным направлением является разработка расчетного аппарата, позволяющего прогнозировать формирование ОН после упрочняющей обработки без проведения трудоемких экспериментальных исследований. В работе представлены модели, отражающие точку зрения автора на решение этой проблемы.

Для разработки расчетного аппарата было проведено моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) очага деформации (ОД) методом конечных элементов (МКЭ) и выполнены расчеты ОН упрочненного ПС детали после обработки ППД и РСО.

Согласно теореме о разгрузке, тензор остаточных напряжений представляет собой разность напряжений, возникающих в реальном упругопластическом теле при приложе-

нии нагрузки $[T\sigma_{деф}]$, и напряжений, которые возникали бы в идеально-упругом теле при идентичном нагружении $[T\sigma_{раз}]$. Таким образом, для принятой при моделировании плоско-деформированной постановки имеем:

$$[T\sigma_{ост}] = [T\sigma_{деф}] - [T\sigma_{раз}] = \begin{pmatrix} \sigma_x^{деф} - \sigma_x^{раз} & \sigma_{xy}^{деф} - \sigma_{xy}^{раз} & 0 \\ \sigma_{xy}^{деф} - \sigma_{xy}^{раз} & \sigma_y^{деф} - \sigma_y^{раз} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(\sigma_x^{деф} + \sigma_y^{деф}) - (\sigma_x^{раз} + \sigma_y^{раз})}{2} \end{pmatrix}$$

Моделирование ОН осуществлялось поэтапно в соответствии с теоремой о разгрузке, что предполагало создание для каждой составляющей тензора геометрически идентичных конечно-элементных моделей, состоящих из обрабатываемой детали и инструментов.

Для выявления взаимосвязей полученного тензора ОН с технологическими режи-

мами каждого из рассматриваемых способов обработки было проведено описание компонент тензора в категориях координат характерных точек, абсциссы которых являлись собственно значениями соответствующих компонент, а ординаты – глубинами расположения точки от поверхности детали (рисунок 1). Использование такого описания позволяет, зная значения напряжений и соответству-

ющих им расстояний до поверхности в ключевых (характерных) точках, воспроизвести эпюры компонент ОН по глубине поверхностного слоя.

В качестве характерных точек для каждой компоненты ОН были приняты:

1. Напряжения на поверхности детали (точка A) - σ_A ;
2. Напряжения в первом экстремуме (точка B) - σ_B ;
3. Глубина расположения первого экстремума (точка B) - $h\sigma_B$;
4. Глубина распространения сжимающих напряжений (точка C) - $h\sigma_0$;

5. Напряжения во втором экстремуме (точка D) - σ_D ;

6. Глубина расположения второго экстремума (точка D) - $h\sigma_D$;

7. Глубина распространения ОН (точка E) - $h\sigma_{ост}$.

Известно, что при обработке различными способами ППД наибольшее влияние на циклическую долговечность имеет распределение напряжений в ПС толщиной 1 – 2 мм [4]. Поэтому выявление взаимосвязей значений компонент напряжений и глубин их залегания с режимами осуществлялось в характерных точках A , B и C (рисунок 1).

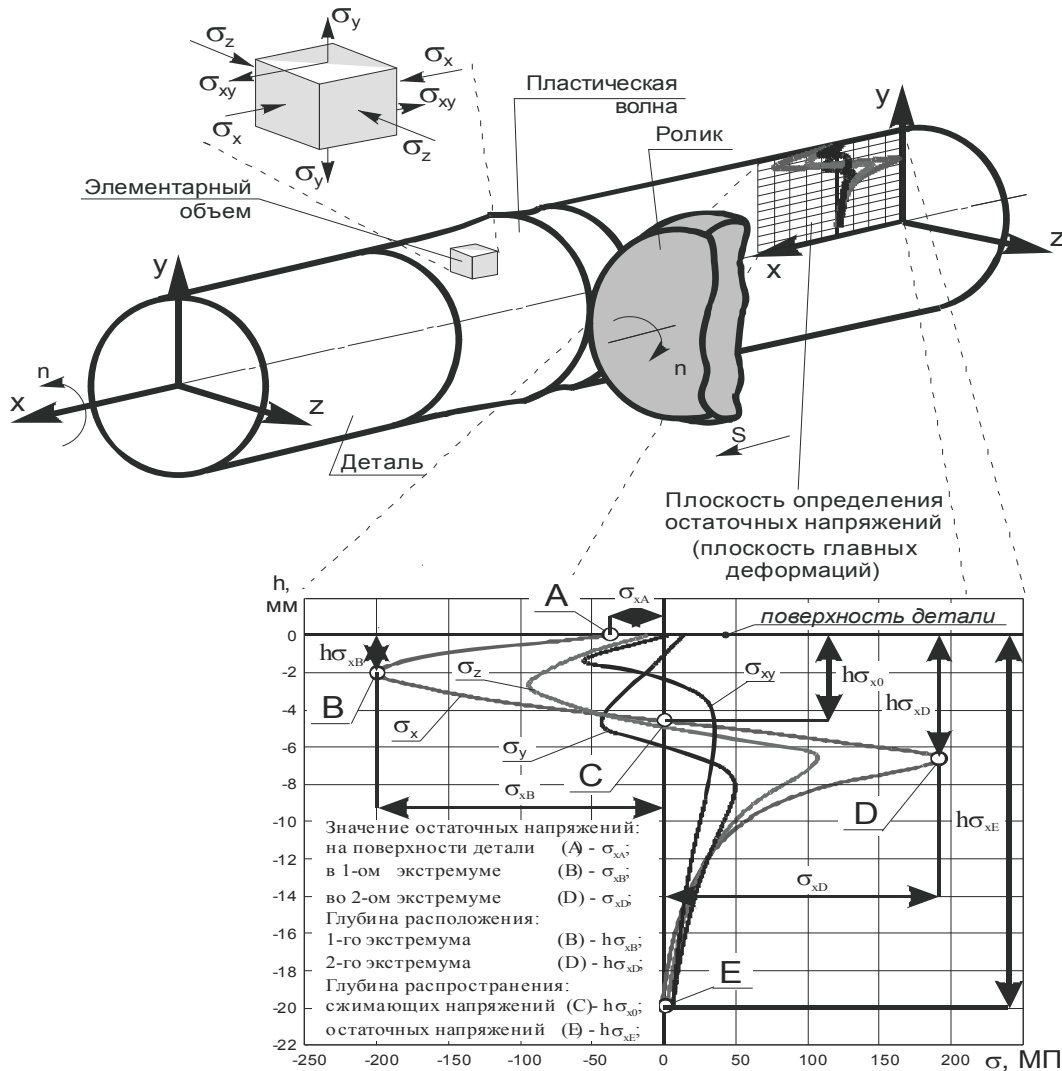


Рисунок 1 – Схема расположения характерных точек и распределения компонент тензора ОН по глубине поверхностного слоя

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ СПОСОБАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

По данным В.Ю. Блюменштейна, основное влияние на величину и глубину распространения остаточных напряжений оказывают действительный натяг h_d , профильный радиус $R_{пр}$, ролика [1]. Эти факторы и были выбраны в качестве варьируемых при определении взаимосвязей.

Выявленные взаимосвязи компонент тензора ОН в характерных точках с параметрами режима обработки для обоих способов представлены в работах [2-3].

Установлено, что после обработки обоими способами с увеличением действительного натяга роликов сжимающие осевые

остаточные напряжения на поверхности детали увеличиваются, что соответствует экспериментальным данным, которые получены для ППД другими авторами (рисунок 2-3). Однако, при обработке РСО, при дальнейшем увеличении натяга наблюдается снижение сжимающих ОН, несмотря на значительно большие величины натяга роликов, свойственные этому способу. Это вызвано значительно возрастающей тепловой разгрузкой, в то время как осевые сжимающие напряжения в первом экстремуме продолжают возрастать (рисунок 2-3).

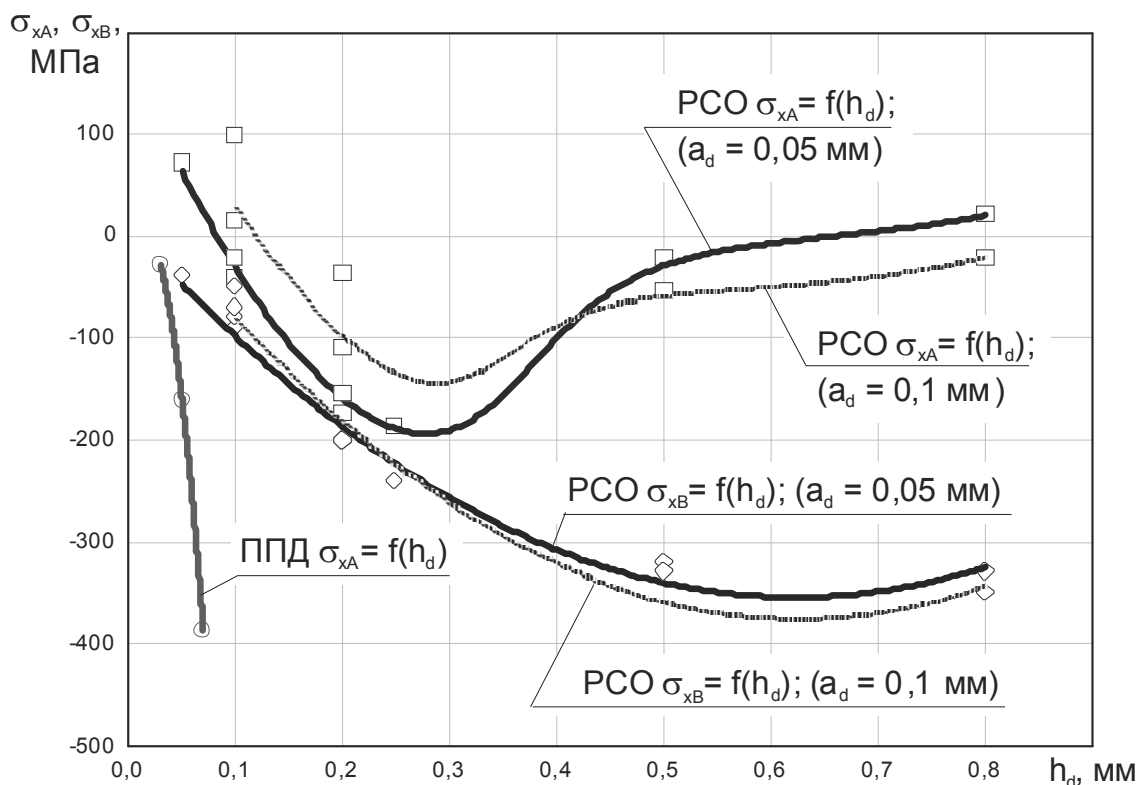


Рисунок 2 – Зависимости осевых остаточных напряжений на поверхности (σ_{xA}) и в первом экстремуме под поверхностью детали (σ_{xB}) от действительного натяга роликов h_d после обработки ППД и РСО ($R_{пр} = 3$ мм)

Максимальные сжимающие осевые остаточные напряжения на поверхности детали при обработке ППД (до -400 МПа) примерно в 2 раза превышают значения, достигаемые для РСО (до -200 МПа). Однако можно отметить, что при максимально допустимых для каждого способа значениях действительного натяга сжимающие ОН на поверхности (для ППД) и в 1-ом подповерхностном экстремуме (для РСО) имеют схожие значения,

близкие к пределу текучести упрочненного металла.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами работ В.М. Смелянского и его учеников, согласно которым, увеличение усилия обкатывания при ППД по упругой схеме, либо натяга ролика при обработке ППД по жесткой схеме или РСО приводит к росту сжимающих ОН [4].

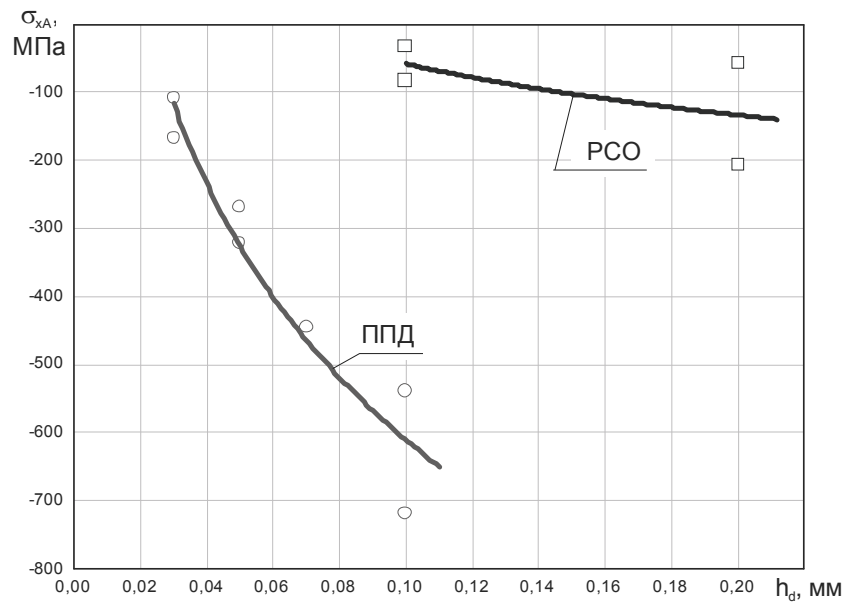


Рисунок 3 – Зависимости осевых остаточных напряжений на поверхности детали (σ_{xA}) от действительного натяга роликов h_δ после обработки ПД и PCO ($R_{пр} = 5..10$ мм)

С увеличением действительного натяга, глубина распространения осевых сжимающих ОН ($h_{ох0}$) после ПД практически не изменяется, а после PCO увеличивается, достигая значений 10 мм при $R_{пр} = 3$ мм и $h_\delta = 0,8$ мм.

При изменении профильного радиуса ролика при обработки обоими способами обнаруживается некоторый экстремум – значения, при которых сжимающие осевые ОН на поверхности имеют максимальные значения

(рисунок 4). Положение такого экстремума определяется ключевым для каждого из рассматриваемых способов параметром режима обработки – действительным натягом роликов (h_δ), а также специфическим параметром режима свойственным только PCO – действительным зазором резца (a_δ).

Качественное сравнение компонент тензоров ОН для обоих способов приведено в таблице 1.

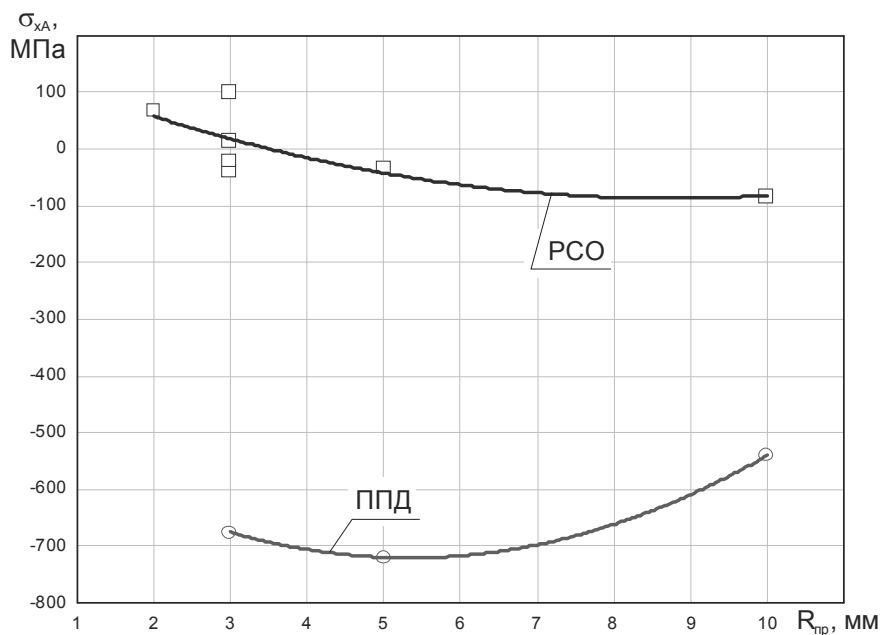


Рисунок 4 – Зависимости осевых ОН на поверхности (σ_{xA}) от профильного радиуса роликов $R_{пр}$ после обработки ПД и PCO ($h_\delta = 0,1$ мм)

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ
УПРОЧНЕНИЯ СПОСОБАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Таблица 1 – Сравнение компонент тензора ОН после обработки способами ППД и РСО в категориях координат характерных точек (см. рисунок 1)

Параметр		Диапазон изменения параметра	
Название	Обозначение	ППД	РСО
Параметры режима обработки			
Профильный радиус роликов	$R_{пр}$, мм	1,6..10	2..10
Действительный натяг роликов	h_{∂} , мм	0,03..0,1	0,1..0,8
Действительный зазор резца	a_{∂} , мм	отсутствует	0,05..0,4
Расчетный натяг роликов	h_p , мм	отсутствует	0,15..0,85
Характерные точки эпюр компонент тензора остаточных напряжений			
Осевой компонент (σ_x)			
Напряжения на поверхности детали	σ_{xA} , МПа	-700..+240	-210..+100
Напряжения в первом экстремуме	σ_{xB} , МПа	экстремум	-350..-30
Глубина расположения первого экстремума	$h\sigma_{xB}$, мм	отсутствует	0,67..3,33
Глубина распространения сжимающих ОН	$h\sigma_{x0}$, мм	0,1..1	1,5..10
Напряжения во втором экстремуме	σ_{xD} , МПа	+110..+1500	+45..+270
Глубина расположения второго экстремума	$h\sigma_{xD}$, мм	0,2..4,4	2,67..16,67
Глубина затухания	$h\sigma_{xE}$, мм	1,6..8,6	6..35
Радиальный компонент (σ_y)			
Напряжения на поверхности детали	σ_{yA} , МПа	-380..+140	0..+40
Напряжения в первом экстремуме	σ_{yB} , МПа	экстремум	-11..-90
Глубина расположения первого экстремума	$h\sigma_{yB}$, мм	отсутствует	1,33..5,33
Глубина распространения сжимающих ОН	$h\sigma_{y0}$, мм	0..0,4	1,5..11,6
Напряжения во втором экстремуме	σ_{yD} , МПа	+160..+2560	+30..+150
Глубина расположения второго экстремума	$h\sigma_{yD}$, мм	0,2..3,8	1,33..20
Глубина затухания	$h\sigma_{yE}$, мм	9..10	4,5..40
Окружной (тангенциальный) компонент (σ_z)			
Напряжения на поверхности детали	σ_{zA} , МПа	-290..+50	-100..+50
Напряжения в первом экстремуме	σ_{zB} , МПа	экстремум	-200..+70
Глубина расположения первого экстремума	$h\sigma_{zB}$, мм	отсутствует	0..4
Глубина распространения сжимающих ОН	$h\sigma_{z0}$, мм	0,15..0,8	1..10,4
Напряжения во втором экстремуме	σ_{zD} , МПа	+120..+1780	+35..+190
Глубина расположения второго экстремума	$h\sigma_{zD}$, мм	0,2..4,2	2..16,67
Глубина затухания	$h\sigma_{zE}$, мм	7..10	7..35
Касательный компонент в плоскости главных деформаций (σ_{xy})			
Напряжения на поверхности детали	σ_{xyA} , МПа	-120..+80	-20..+25
Напряжения в первом экстремуме	σ_{xyB} , МПа	экстремум	-100..-50
Глубина расположения первого экстремума	$h\sigma_{xyB}$, мм	отсутствует	0,67..1,33
Глубина распространения сжимающих ОН	$h\sigma_{xy0}$, мм	0,2..0,6	2,2..5,66
Напряжения во втором экстремуме	σ_{xyD} , МПа	-1320..-85	+30..+85
Глубина расположения второго экстремума	$h\sigma_{xyD}$, мм	0,4..2,4	1,33..20
Глубина затухания	$h\sigma_{xyE}$, мм	6,8..10	16..40

В сравнении с ОН после упрочняющей обработки ППД, тензор ОН при РСО в целом имеет похожий характер распределения, однако характеризуется:

- значительно большей глубиной распространения сжимающих напряжений, достигающей 10 мм, против 1-3 мм при традиционном ППД;

- меньшими (до -250 МПа) значениями сжимающих остаточных напряжений на поверхности (при ППД величина таких напряжений приближается к пределу текучести упрочненного металла);

- меньшими (до 270 МПа) значениями растягивающих остаточных напряжений во втором экстремуме (при ППД величина таких напряжений приближается к пределу текучести упрочненного металла);

- осевые остаточные напряжения имеют одинаковый знак с тангенциальными ;

- наличием первого подповерхностного (отрицательного) экстремума, образование которого вызвано значительно большей, чем при традиционном ППД, тепловой разгрузкой на поверхности детали, возникающей вследствие на порядок больших значений натяга роликов. Значения сжимающих ОН в 1-ом экстремуме при РСО приближаются к пределу текучести упрочненного металла. Глубина расположения такого экстремума изменяется в зависимости от режимов обработки и достигает значений 3,5 мм от поверхности.

Последнее хорошо согласуется с результатами Д.Д. Папшева, полученными для обработки ППД шариком. Автор подчеркивает возможность образования экстремума сжимающих ОН как на поверхности детали, так и на некоторой глубине в зависимости от степени воздействия тепловой разгрузки [5].

Список литературы:

1. Блюменштейн В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.: ил.

2. Махалов М. С. Моделирование остаточных напряжений поверхностного слоя после упрочняющей обработки ППД / М. С. Махалов // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации) : мат-лы докладов II Всеросс. с междунар. участием науч.-техн. конф. (Иркутск, 25-27 апреля, 2012 г.) / под. ред. С.А. Зайдеса. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 358 с. - С. 112-121.

3. Блюменштейн В. Ю. Влияние режимов размерного совмещенного обкатывания на механическое состояние поверхностного слоя / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов // Упрочняющие технологии и покрытия. - М.: Машиностроение, 2006. - № 5(17). - С. 21-29.

4. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.: ил.

5. Папшев Д. Д. Упрочнение деталей обкаткой шариками / Д. Д. Папшев. – М.: Машиностроение, 1968. – 132 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕПЕНИ ИСЧЕРПАНИЯ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ В ПРОЦЕССАХ ППД

К. П. Петренко

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

К числу наиболее эффективных методов поверхностного упрочнения деталей машин относится поверхностное пластическое деформирование (ППД), которое позволяет создавать деформационное упрочнение металла, сжимающие остаточные напряжения и благоприятный профиль шероховатости поверхностного слоя. Это, в свою очередь, приводит к повышению усталостной прочности и долговечности деталей.

В настоящее время не вызывает сомнения факт, что проектирование технологических процессов упрочняющей механической обработки должно осуществляться с позиций технологического наследования (ТН), что предполагает учет накопления свойств поверхностного слоя на всех операциях механической обработки и проявления указанных свойств при последующей эксплуатации изделия. Многочисленные исследования показали, что эффективная оценка и прогнозирование свойств поверхностного слоя возможны на основе разработанной проф. В.Ю. Блюменштейном механики технологического наследования [2].

Согласно ее основным положениям, в процессах обработки и эксплуатации деталей машин происходит непрерывное накопление деформации и истощение запаса пластичности металлом поверхностного слоя. В качестве основных параметров механического состояния используются накопленная степень деформации сдвига Δ , показатель напряженного состояния Π , степень истощения запаса пластичности Ψ .

Внедрение и перемещение режущего или деформирующего инструмента (резца, ролика) приводит к возникновению очага деформации (ОД) – локальной области пластического течения в поверхностном слое. В ОД вдоль линий тока происходит накопление деформации, истощение запаса пластичности и формирование свойств поверхностного

слоя. При последующих операциях механической обработки накопление деформации происходит с учетом свойств поверхностного слоя, накопленных на предыдущих операциях.

Ключевым элементом механики ТН является программа нагружения (ПН), которая представляет собой зависимость накопленной степени деформации сдвига Δ от показателя напряженного состояния Π . ПН полностью описывает напряженно-деформированное состояние металла, определяется режимами обработки, формирует свойства и поврежденность поверхностного слоя.

Степень истощения запаса пластичности характеризует накопленную металлом поврежденность и является важнейшей характеристикой механического состояния поверхностного слоя. До деформирования $\Psi = 0$, в момент разрушения $\Psi = 1$. В качестве критерия для аналитического расчета Ψ на основе программ нагружения использовался критерий Калпина-Филиппова в категориях степени деформации сдвига при степенной аппроксимации кривой течения [1].

С целью проверки аналитических расчетов степени истощения запаса пластичности были проведены экспериментальные исследования по многоходовому обкатыванию роликами из стали ШХ 15 гладких цилиндрических образцов из стали 45 до появления следов разрушения (таблица 1).

Обкатывание на втором и последующих рабочих ходах до полного истощения запаса пластичности осуществлялось по уже обработанной поверхности, поверхностный слой которой характеризовался определенным значением накопленной деформации и степени истощения запаса пластичности.

Таблица 1 – Условия проведения экспериментальных исследований

№ об-разца	Количество рабочих ходов до разрушения	Режимы обкатывания				
		Диаметр ролика D_p , мм	Подача S , мм/об	Частота вращения шпинделя n , об/мин	Профильный радиус ролика R_{np} , мм	Усилие обкатывания P , Н
51	3	95	0,07	630	2,5	2500
52	3				5	
54	2	64			8,5	2000
56	3				5	1500
57	2				13,5	2000

Профилографирование ОД производилось на профилографе-профилометре «Talysurf-5M» фирмы «Rank Taylor Hobson». Геометрические параметры ОД использовались в качестве граничных условий при моделировании методом конечных элементов (МКЭ). В соответствии с постановкой задачи создавались конечно-элементные модели ролика и обрабатываемой детали. Нижняя граница детали жестко закреплялась, в нее внедрялся абсолютно жесткий индентор и перемещался на величину подачи в горизонтальном направлении. При этом принималась схема плоского деформированного состояния в плоскости подачи ролика. Начальными

условиями моделирования являлись кривая течения, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность обрабатываемого материала, а также коэффициент трения на контактной поверхности ролика и заготовки.

Далее осуществлялся расчет параметров напряженно-деформированного состояния в узлах конечных элементов, с помощью специальной программной системы [3] производился их перерасчет в линии тока, определялись интегральные показатели механического состояния, программы нагружения и степень исчерпания запаса пластичности (таблица 2).

Таблица 2 – Экспериментальные (рассчитанные по результатам МКЭ) и расчетные (полученные аналитически) значения степени исчерпания запаса пластичности

№ образца и рабочего хода	Ψ_{Σ}	Ψ_P	$\Delta\Psi$, %
51.1	0,403	0,374	7,24
51.2	0,258	0,268	-3,92
51.3	0,206	0,225	-9,00
52.1	0,334	0,326	2,53
52.2	0,238	0,258	-3,01
52.3	0,209	0,224	-7,37
52.4	0,223	0,203	8,89
54.1	0,254	0,268	-5,51
54.2	0,241	0,233	3,31
54.3	0,211	0,211	-0,06
56.1	0,270	0,261	3,36
56.2	0,224	0,228	-1,94
56.3	0,209	0,205	2,00
56.4	0,176	0,190	-7,68
57.1	0,251	0,248	1,34
57.2	0,223	0,223	-0,13
57.3	0,190	0,205	-8,06
57.4	0,181	0,190	-5,04
57.5	0,172	0,180	-4,68

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕПЕНИ ИСЧЕРПАНИЯ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ В ПРОЦЕССАХ ППД

В таблице 2 $\Delta\Psi$ – погрешность оценки степени истощения запаса пластичности, которая рассчитывалась как:

$$\Delta\Psi = \frac{\Psi_{\text{Э}} - \Psi_{\text{Р}}}{\Psi_{\text{Э}}} \cdot 100\% \quad 1)$$

Анализ полученных результатов показывает высокое соответствие значений степени истощения запаса пластичности, полученных экспериментальным и расчетным путем. Погрешность при определении Ψ не превышает 9 %.

Список литературы:

1. Филиппов Ю. К. Критерий оценки качества деталей, получаемых холодной объ-

емной штамповкой [Текст] / Ю. К. Филиппов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1999. – № 2. – С. 3 – 9.

2. Блюменштейн В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

3. Блюменштейн В. Ю. Расчет параметров напряженно-деформированного состояния (RNDS_MDS): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002611073 / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Кречетов. – Заявка № 2002610824, дата поступления 13 мая 2002 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27 июня 2002 г..

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИСТОВОГО РАСКРОЯ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ¹

Х. М. Рахимьянов, А. А. Локтионов

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия

Одной из современных тенденций отрасли машиностроения является создание и совершенствование безотходных технологий в металлообрабатывающей промышленности, что в свою очередь повышает требования к качеству заготовок. По этой причине в заготовительном производстве встает необходимость максимального приближения геометрических форм и размеров заготовки к размерам и форме готового изделия. Правильный выбор заготовительной операции оказывает существенное влияние на количество операций в технологическом процессе, а следовательно, определяет трудоемкость и экономичность изготовления детали.

В современном машиностроении для изготовления заготовок из листового материала в мелкосерийном и среднесерийном производстве применяются следующие методы: рубка на гильотинных ножницах, резка ленточными пилами, фрезерная обработка, гидроабразивная, газопламенная, лазерная и тонкоструйная плазменная резка. Рубка на гильотинных ножницах, резка ленточными пилами и фрезерная обработка относятся к традиционным механическим способам резки листового материала. Первые два способа используются только для получения простых заготовок типа ромб, квадрат, прямоугольник и т.д. Однако, современное развитие области машиностроения основывается на повышении доли сложнопрофильных изделий в номенклатуре выпускаемой продукции. Сравнительный анализ технологий резки приведен для конструкционной стали толщиной 20 мм.

Фрезерная обработка на станках с ЧПУ позволяет получать как заготовки простой формы, так и криволинейные контура. Однако, ввиду низкой производительности процесса (скорость резания 0,21 м/мин [1]) и боль-

шой ширине реза, соответствующей диаметру используемой фрезы (минимальный диаметр – 8 мм, применение фрез меньшего диаметра нецелесообразно ввиду низкой стойкости инструмента), данный способ не нашел широкого применения в качестве заготовительной операции для изделий из листовых материалов. Также к механическому способу резки относится и гидроабразивная резка, основанная на разделении материала посредством скалывания обрабатываемого материала абразивными частицами, находящимися в водяной струе под высоким давлением (до 400 МПа). Это позволяет производить обработку сложнопрофильных контуров с толщиной материала до 300 мм. Однако, как и в случае с фрезерной обработкой данный метод является низкопроизводительным (0,08 м/мин).

В отличие от гидроабразивной газопламенной резки обладает более высокой производительностью обработки сложнопрофильных контуров (0,4 м/мин) при такой же толщине материала. Данный способ обработки относится к методам термической резки, заключающийся в нагреве материала в зоне обработки смесью горючих газов до температуры горения металла, а затем, при подачи кислорода в зону реза, происходит его интенсивное окисление со значительным выделением дополнительного тепла, что приводит к его разделению. Наличие высоких температур, окислительных процессов приводит к значительным величинам дефектного слоя при газопламенной резке. Это приводит к необходимости увеличения назначаемых припусков под последующую обработку изделий и повышает количество операций в технологическом процессе, а следовательно, приводит к удорожанию стоимости изделия.

¹Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2012 г. и в плановом периоде в 2013-2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 "Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высокэнергетическом воздействии").

Существенно меньше величина дефектного слоя у лазерной резки листовых материалов, при этом достигаемые скорости резки составляют 0,7 м/мин. Однако максимальная толщина разрезаемого материала ограничивается 35 мм, а также невозможна обработка материалов с высоким коэффициентом отражения, что сужает область применения лазерной резки.

В отличие от вышеописанных методов обработки тонкоструйная плазменная резка является высокопроизводительным способом резки листовых материалов (скорость резки составляет 3,6 м/мин) со сложным профилем с толщинами до 120 мм, что иллюстрирует диаграмма, приведенная на рисунке 1. Кроме

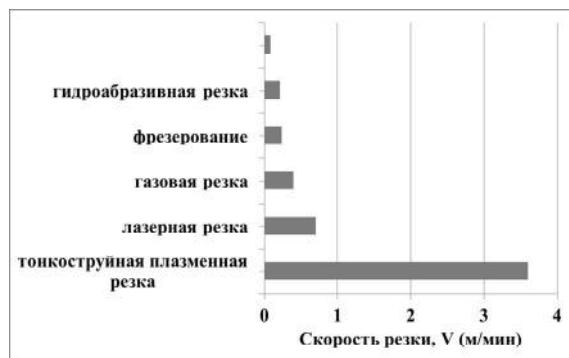


Рисунок 1

Необходимость наличия места захода плазменной дуги на разрезаемый контур обусловлено тем фактом, что в первоначальный момент осуществляется пробивка материала при неподвижном тепловом источнике для формирования канала с целью удаления жидкой фазы в процессе обработки. При этом диаметр канала в месте пробивки несколько больше, чем ширина реза. В случае осуществления пробивки на контуре детали образуется зарез, что снижает точность изготовления изделия. Выбор места выхода с обрабатываемого контура в случае обработки сложного профиля также представляет затруднение. При неправильном его местоположении возможно образование зарезов при

этого, данный способ характеризуется достаточно высокой точностью обработки, сопоставимой с лазерной резкой. Таким образом, раскрой деталей из листового материала с точностью изготовления по 12-14 качеству зачастую исключает необходимость проведения последующей механической обработки. Это подтверждает перспективность рассматриваемого метода раскроя листовых материалов в заготовительном производстве.

Для эффективности использования тонкоструйной плазменной резки необходимо решение ряда технологических задач. В первую очередь это относится к правильности выбора места захода-выхода плазменного резака на обрабатываемый контур детали. выходе с обрабатываемого контура, что снижает точность получаемого изделия.

Кроме того, на точность обработки тонкоструйной плазменной резки в значительной степени влияет износ расходных элементов плазматрона, таких как колпачок завихряющего газа, катод и сопло. Однако, в настоящее время в литературных источниках отсутствует информация о влиянии износа отмеченных расходных элементов на точность получаемого контура, а также о возможности продления их ресурса, что привело бы к снижению себестоимости реза.

Таким образом, решение отмеченных вопросов позволит облегчить принятие решений при обработке тонкоструйной плазменной резке, а следовательно, повысить долю использования данного метода раскроя материала в заготовительном производстве.

Список литературы:

1. В.Л. Косовский. Справочник молодого фрезеровщика. М.: Высшая школа, 1992, 400 с.
2. Серикова Е.В., Гидроабразивный метод резки материалов / СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ. М.: ООО "СДМ-Пресс", №2, 2006. С. 1-3..

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ, ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА

Е. Ю. Татаркин, Р. А. Анзыряев

Алтайский государственный технический университет им И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

При пластическом сверлении пуансон-сверлом с конической формой рабочей части преобладающим видом брака является формирование разрывов в зоне выхода инструмента (рисунок 1).



Рисунок 1 – Разрывы в теле узла крепления.

Разрывы приводят к разрушению деталей машин в процессе их эксплуатации. Выявление причин формирования разрывов в узлах крепления в процессе пластического сверления и поиск методов решения этой проблемы, являются актуальной задачей.

Для объяснения возникновения разрывов выдвинута гипотеза: разрывы возникают тогда, когда коническая часть инструмента выходит из зоны обработки. В этот момент на стенку втулки действует резко увеличивающаяся радиально направленная сила. Кроме того, разрывы могут формироваться и при снижении пластичности обрабатываемого металла на этапе формообразования крепежного элемента. Для максимального повышения пластичности обрабатываемого металла температура на поверхности трения должна быть выше температуры рекристаллизации, но ниже температуры перегрева и пережога. Решением данной проблемы является применение в процессе пластического сверления пуансон-сверла с криволинейной формой рабочей части, позволяющей избе-

жать резкого увеличения радиальной силы в зоне выхода рабочей части инструмента, а также поддерживать оптимальную температуру и пластичность обрабатываемого материала. С целью экспериментальной проверки гипотезы, которая объясняет формирование разрывов металла в теле узла крепления, были проведены эксперименты.

Для проведения экспериментов, был изготовлен инструмент с криволинейной формой рабочей части (диаметр инструмента $d_1 = 9,2$ мм; материал пуансон-сверла – твердый сплав ВК8). Пуансон-сверло изготавливалось из цилиндрической заготовки диаметром 9,2 мм, с последующим шлифованием рабочей части чашечным кругом на шлифовально-заточном станке с ЧПУ ANCA RX7.

Обработки проводили на вертикально-фрезерном станке модели 6М12П. Заготовка устанавливалась на опору и закреплялась в тисках. Пуансон-сверло устанавливалось в цанговый патрон.

Исходные данные для всех экспериментов:

- Диаметр инструмента $d_1 = 9,2$ мм;
- Частота вращения инструмента $\omega = 1600$ об/мин;
- Подача $s=160$ мм/мин;
- Материал заготовок – конструкционная сталь Ст3;
- Габаритные размеры заготовок, мм: $3 \times 65 \times 110$.

Толщина заготовки выбиралась в соответствии с рекомендациями о соотношении между диаметром отверстий и толщиной металла. Диаметр отверстия должен не более, чем в 2-3 раза превышать толщину материала.

Длина разрывов составила 0,5 мм - 1,0 мм (рисунок 2). На кромке нижней части крепежного элемента сформирован «отросток», образованный в момент, когда вершина формируемого узла крепления оторвалась, а пу-

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ, ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА

ансон-сверло начало выходить из зоны обработки. Диаметр отростка составил около 5,5 мм, высота - 2,5 мм.

Высота нижней части узла крепления $H_n = 7,2$ мм;

Наружный диаметр основания нижней части узла крепления $D_B = 11,3$ мм.



Рисунок 2 – Нижняя часть узла крепления. Подача 160 мм/мин.

Фотографии образцов после при сверления пуансон-сверлом с конической формой рабочей части и углом при вершине 60° приведены на рисунке 3.

Высота нижней части узла крепления $H_n = 5,7$ мм;

Наружный диаметр основания нижней части узла крепления $D_B = 11,2$ мм. На нижней части узла крепления наблюдается множество разрывов длиной около 1,5-2 мм.

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что применение пуансон-сверла с криволинейной формой рабочей части уменьшает длину, и количество разрывов

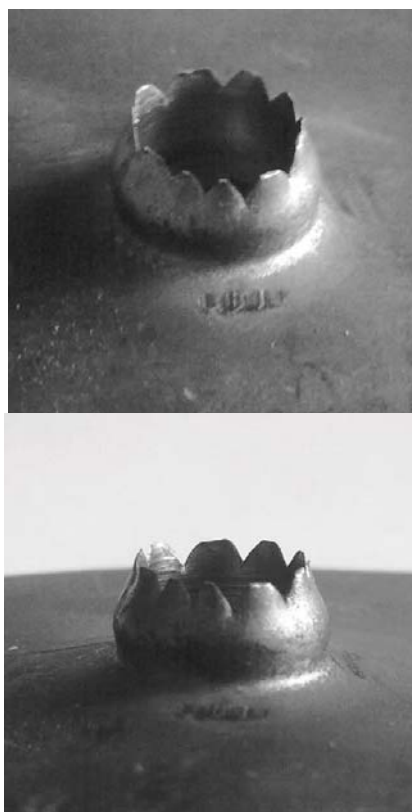


Рисунок 3 – Нижняя часть узла крепления. Подача 160 мм/мин. Инструмент с конической формой рабочей части.

вов на кромке нижней части узла крепления. Это подтверждает гипотезу о целесообразности применения в процессе пластического сверления пуансон-сверла с криволинейной формой рабочей части, позволяющем избежать резкого увеличения радиальной силы в зоне выхода рабочей части инструмента, что снижает влияние формирования разрывов на кромке нижней части узла крепления.

В процессе проведения экспериментов с применением данного инструмента установлено формирование на кромке втулки «отростка». Анализ полученных данных позволяет описать механизм образования отростка. Данный элемент формируется в момент отрыва вершины формируемого узла крепления и начала выхода пуансон-сверла из зоны обработки. Отрыв вершины формируемого узла крепления объясняется возникновением критически высокой осевой силы при вершине инструмента для постоянно уменьшающейся толщины стенок, и слишком малой радиально направленной силы, которая вытесняет металл в радиальном направлении, образуя отверстие.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ НА ПРЕДПРИЯТИИ ОАО «МАШЗАВОД ТРУД»

Ю. С. Семенова, А. М. Мартыненко

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия

Литейное производство является основной заготовительной базой машиностроения, на долю литых деталей в среднем приходится 50-70 % массы машин и механизмов. Основная доля трудоемкости изготовления отливок (50-70%) мощности литейного цеха приходится на формовку [1]. Наиболее точные отливки получают по моделям разового применения. Если при литье в песчаные формы принято применять одноразовые формы, то усовершенствование технологии литья привело к использованию одноразовых моделей из пенополистирола [2]. Новый метод получения отливок имеет название литье по газифицированным моделям (ЛГМ).

В настоящее время технология литья по газифицируемым моделям активно внедряется на ОАО «Машзавод Труд». Проведены эксперименты по получению отливок с помощью различных типов полистирола (строительный, экструдированный, специальный литейный) и изготовлению пенополистирольных моделей двумя способами.

На данный момент у завода уже имеется оборудование, необходимое для выполнения технологии ЛГМ, такое как вибростол, станок для резки пенополистирола, вакуумная установка, специальные опоки. Также планируется приобретение автоклавов для запекания полистирольных моделей.

Технология литья по газифицируемым моделям состоит из следующих этапов:

- изготовление модели из полистирола (путем задувания в пресс-форму или на модельном станке)
- окраска модели противопожарным покрытием (возможна предварительная сборка моделей в блоки путем склеивания или припаивания)
- формовка модели в опоку на вибростоле (в данном методе литья в качестве формовочной смеси применяется песок)

- вакуумирование формы (поверх формы накладывается полиэтиленовая пленка, с помощью вакуумного насоса и системы очистки газов формовочный песок спрессовывается)
- заливка металла в форму (стояки также выполняются из полистирола, расплавленный металл газифицирует полистирольную модель (или блок) и занимает ее место)
- охлаждение отливки,
- чистка полученной отливки.

ЛГМ имеет ряд неоспоримых преимуществ, среди которых:

- снижение затрат на последующую механическую обработку (повышенная точность размеров получаемых отливок)
- сокращение трудозатрат в несколько раз
- снижение потребления электроэнергии в несколько раз
- возможность использования любого вида металла
- снижение капиталовложений на оборудование (вибростол заменяет все остальное формовочное оборудование)

Кроме того, данный промышленный метод отличается компактностью производства и является более экологичным по сравнению с традиционными методами литья.

Однако существует немало проблем, связанных с внедрением новой технологии литья на завод. Одна из них связана с выбором полистирола. Как известно [3], для изготовления моделей используется полистирол мелких фракций 0,3 мм — 0,9 мм, в то время как размер фракций строительного пенополистирола, используемого на ОАО «Машзавод Труд», достигает 5 миллиметров. Себестоимость такого строительного полистирола гораздо ниже специального литейного.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ НА ПРЕДПРИЯТИИ ОАО «МАШЗАВОД ТРУД»

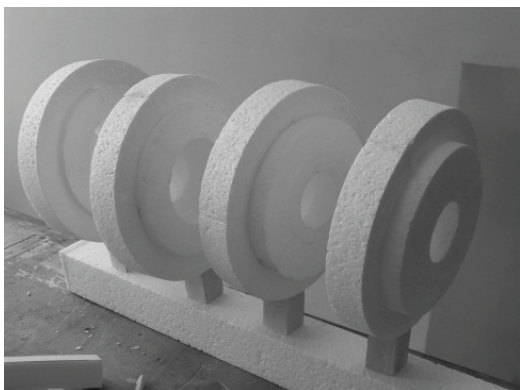


Рисунок 1 – Блок моделей из строительного пенополистирола

Однако его использование приводит к следующим дефектам: полученная модель имеет высокую шероховатость, локальные углубления, что приводит к низкому качеству поверхности отливки. Для снижения брака при получении отливок необходимо использовать специальный литейный пенополистирол, размер фракций которого специально подобран для изготовления литейных моделей, стоимость которого в 50 раз выше. Вопрос о целесообразности покупки данной марки полистирола обсуждается.

В целях экономии средств для изготовления модели была попытка использовать экструдированный полистирол. Однако плотность этого материала в 1,5 раза выше, чем у обычного (30 кг/м^3 и 20 кг/м^3 , соответственно), что приводит к более интенсивному выделению газов, и следовательно, снижению экологичности данного процесса, что послужило причиной отказа от его использования.

Другой не менее важной проблемой является погрешность станка модели СПР для резки пенополистирола. Вырезание моделей из плит пенопласта происходит нагретой нихромовой проволокой, перемещение которой задается трехкоординатной системой ЧПУ. Однако данный станок имеет большую погрешность, в отдельных случаях достигающую до 3 мм, что не позволяет изготавливать отливки достаточной точности. На данный момент рассматривается вариант изготовления особо точных полистирольных моделей с помощью алюминиевых пресс-форм. Модели отливок производят задуванием гранул пенополистирола в пресс-формы с последующим вспениванием и склеиванием гранул при нагреве пресс-форм до 120°C в автоклавах.

Такой метод создания точных моделей целесообразен при серийном производстве, т.к. требует изготовления алюминиевой пресс-формы для каждой изготавливаемой отливки.

На этапе подготовки опок также существуют проблемы. Вибростол, используемый для вакуумирования и спрессовывания песка при формовке опок, производит виброуплотнение песка лишь в одном направлении. Этого недостаточно для того, чтобы обеспечить необходимый уровень уплотнения песка. Для этого необходимо использовать вибростол с двумя направлениями виброуплотнения – горизонтальным и вертикальным.

Сами опоки, первоначально созданные на заводе специально для литья по газифицируемым моделям, также имели свои недостатки. Наличие двух отверстий ограниченного размера не позволяло с необходимой скоростью удалять газы из опоки в процессе литья. В результате отливки не полностью проливались, оставляя часть пенополистирольной формы неудаленной. Кроме того сетка, используемая для удерживания песка в местах отверстий для удаления воздуха, часто разрушалась. Увеличение в опоке количества отверстий для отсасывания позволило решить возникшую проблему (Рисунок 2).

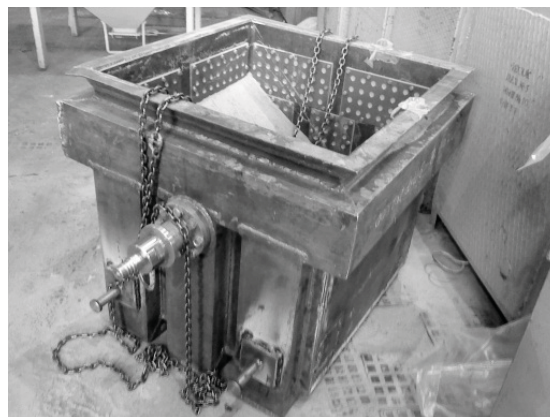


Рисунок 2 – Усовершенствованная специальная опока для ЛГМ

При производстве отливок по данному методу обнаружился еще один недостаток. На окончательном этапе изготовления пенополистирольной модели (или блока) необходимо нанести покрытие огнеупорным материалом (краска Pv-CoatingW 200), после чего требуется время для полного высыхания покрытия. Несоблюдение технологии сушки

привело к снижению адгезии к поверхности полистирольных моделей, в результате чего повысился процент брака. Для решения данной проблемы был установлен контроль полного высыхания покрытия.

Имеют место и проблемы, вопрос о решении которых пока остается открытым. Одна из них связана с большим процентом брака в отливках из стали. Возможными источниками этой проблемы могут быть неправильно подобранное огнеупорное покрытие или тот факт, что литейные свойства стали ниже, чем у чугуна.

Другой, пока не решенной проблемой является отсутствие пескооборота. В технологии ЛГМ песок, являющийся огнеупорным наполнителем, может использоваться много-

кратно, при этом качество отливок остается стабильным. После выбивки горячий песок должен пройти несколько стадий обработки, чтобы его можно было использовать повторно: просеивание, магнитная сепарация, обеспыливание и охлаждение. Обратное замораживание песка при ЛГМ ведется в пневмопотоке или с применением конвейеров, конструкции которых для экономии площади часто монтируют с наружной стороны цеха, где собирается сухой песок в силосе. Оборудование для данной операции на заводе пока отсутствует, в связи с чем для каждой новой партии отливок используется новая порция песка.

В таблице 1 приведены рассмотренные проблемы и их пути решения.

Таблица 1

№	Проблема	Решение
1	Неудовлетворительные свойства строительного полистирола	Использование специального литейного полистирола
2	Значительные погрешности станка для резки пенополистирола	Переход на использование пресс-форм
3	Недостаточное обеспечение уплотнения вибростолом	Использование усовершенствованного вибростола с двумя направлениями движения
4	Неудовлетворительное качество полученных отливок из стали	- Правильный подбор антипригарного покрытия - Подбор полистирола
5	Разрушение сетки в опоке	Увеличение количества штуцеров
6	Несоблюдение технологии литья	Осуществление контроля полного соблюдения технологии

Преимущества технологии литья по газифицируемым моделям: сравнительно недорогое оборудование, повышенная точность полученных отливок, снижение трудозатрат – позволяют сделать вывод о целесообразности внедрения данной технологии на ОАО «Машзавод Труд». Планируется дальнейшее развитие этого метода литья: разработка системы пескооборота, усовершенствование процесса формования путем замены вибростола, освоение автоклавного способа получения полистирольных моделей.

Список литературы:

1. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов. Учебник для машиностроительных вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1977, 510 с. с ил.
2. Рыбаков С. А. Инновационные возможности литья по газифицируемым моделям, состояние и перспективы этого метода в России // Литейщик России. №4, 2009, 45 с.
3. Шуляк В. С. Литьё по газифицируемым моделям. — СПб.: НПО «Профессионал», 2007, 408 с.

ИНЖЕНЕРНЫЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС «ИНДУКЦИОННАЯ НАПЛАВКА»

С. И. Киреев, М. Н. Сейдунов, Е. А. Иванайский, А. А. Иванайский
Алтайский государственный технический университет им И. И. Ползунова,,
г. Барнаул, Россия

Использование индукционной наплавки при поверхностной обработке деталей с целью улучшения механических свойств обеспечивает изменение триботехнических характеристик при работе в узлах трения, повышение износостойкости, твердости, ударной прочности, жаропрочности или коррозионной стойкости.

Инновационный продукт – инженерный программно-аппаратный комплекс «Индукционная наплавка» предназначен для автоматизации процесса расчета режимов индукционной наплавки и осуществления оценки распределения температурных полей поверхности обрабатываемой детали. При помощи разработанного программного обеспечения [1] с использованием регулятора-измерителя «ОВЕН ТРМ 138» на компьютере оператор получает температурные графики в реальном времени посредством термопар, подсоединенных к обрабатываемой поверхности детали, максимально до 8 точек одновременно. Каждый эксперимент сохраняется в собственном формате «EXP» или в формате «CSV», пригодном для просмотра в Excel. В данные эксперимента включаются показания со всех каналов прибора, а также информация об исходной детали.

Полученные результаты преобразуются в числовые и графические данные. По каждому виду характеристик ведется база данных, накапливающая информацию о значениях, используемых в производстве. При добавлении нового режима наплавки можно использовать рассмотренные ранее значения. Для каждой детали можно сформировать собственный уникальный режим наплавки и сгенерировать отчет, содержащий полную информацию обо всех характеристиках рабочего процесса.

посредством программного комплекса и представляются оператору для моментально-

го или последующего анализа и корректировки режимов индукционной наплавки. Благодаря применению индукционной наплавки на изнашиваемые поверхности изделий совместно с разработанным программно-аппаратным комплексом предполагается экономия дорогостоящих материалов, существенное снижение себестоимости при управлении коэффициентом трения.

Анализ полученных данных производится методами интерполяции и экстраполяции. Экстраполяция применялась для прогнозирования распределения температуры после завершения эксперимента. Для максимально точного описания изменения температуры в программе используются две математические модели. Первая модель является полиномиальной и реализуется стандартными методами: выписывается система уравнений, соответствующая минимуму целевой функции и решается методом Гаусса. Вторая модель позволяет осуществлять формирование графика в виде набора кубических сплайнов. Участок между каждой парой экспериментальных точек представлен в виде кубического многочлена. Соседние многочлены подбираются таким образом, чтобы общий график обладал достаточной степенью гладкости. Модель такого рода сложнее анализировать в виду отсутствия общего вида функции, но при этом она гораздо точнее описывает реальный процесс.

В программу встроена система формирования контура детали, который задает область определения для построения аппроксимирующих функций. Имеется множество дополнительных функций (рисунок 1), помогающих получить более подробное представление о детали, таких как альтернативные контуры (в разных проекциях) или поддержка хранения нескольких фотографий детали.

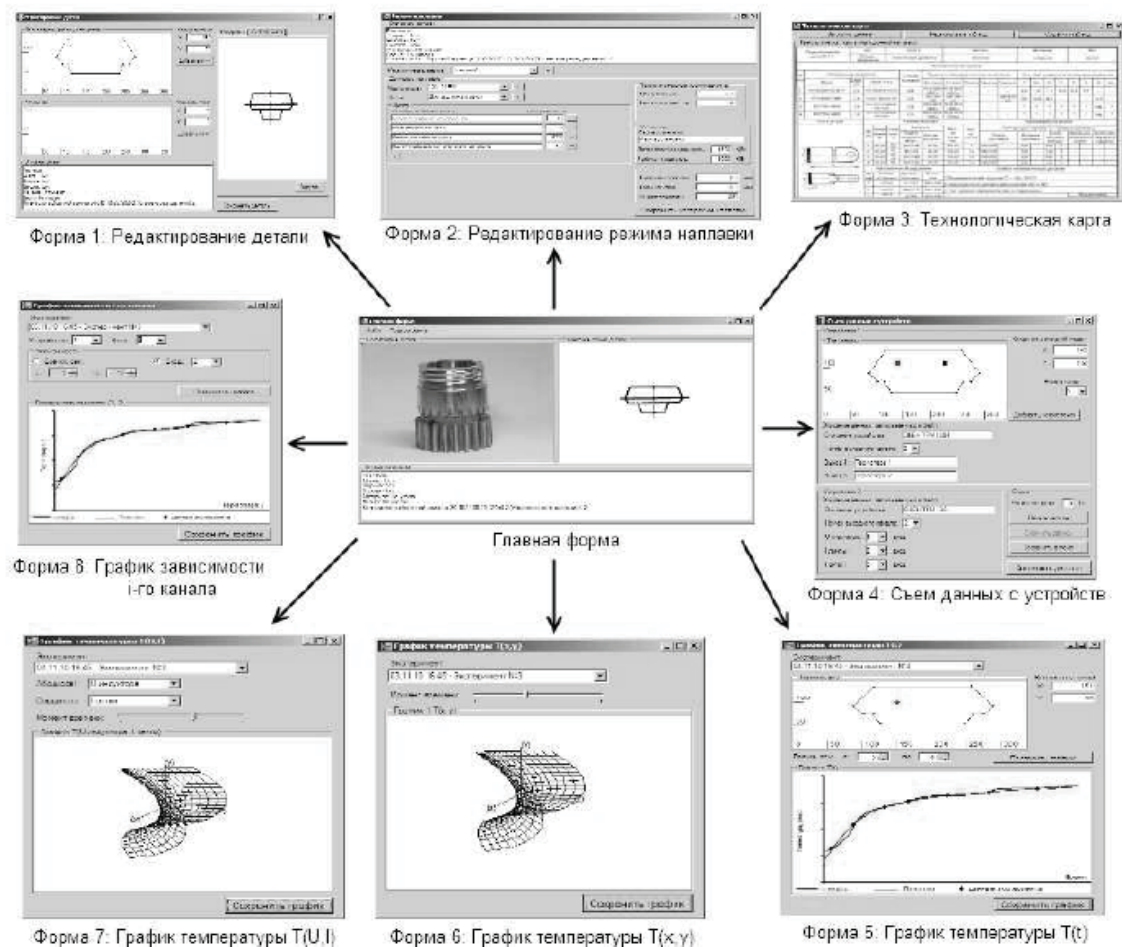


Рисунок 1 – Функциональные возможности программного обеспечения

Ближайшие аналоги инженерного программно-аппаратного комплекса «Индукционная наплавка» на порядок превосходят ее по стоимости и объему задействованной информации, так как в первую очередь разработаны для узкого круга специалистов высокого уровня подготовки. Инженерный программно-аппаратный комплекс «Индукционная наплавка» создан в помощь специалисту сварочного производства, понятен и доступен человеку со средним образованием, компактен, обладает низкими системными требованиями.

Экономическая эффективность инновационного проекта представляется высокой, так как планируемый спрос на инженерный программно-аппаратный комплекс «Индукционная наплавка» предполагается в малом и

среднем бизнесе. Система является достаточно сложной и наукоемкой, использует современные достижения в области построения и применения тепловых моделей, а также авторские идеи (сбор и обработка экспериментальных данных, автоматический расчет режимов и формирование карт технологического процесса).

Список литературы:

1. Акиншин А.А. Разработка программного комплекса по автоматизации расчета режимов индукционной наплавки на основе анализа экспериментальных данных и компьютерного моделирования / А.А. Акиншин, М.Н. Сейдуров, А.А. Иванайский // Ползуновский альманах. – 2011. – № 1. – С. 90-92.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТЕЙ ЧАСТИЦ В ИМПУЛЬСНОМ ПОТОКЕ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ НА ТИТАНОВУЮ ОСНОВУ

А. А. Попова, В. И. Яковлев, А. А. Ситников

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул, Россия

Получение наиболее качественных покрытий из всех методов газотермического напыления обеспечивают высокоскоростные потоки частиц детонационно-газового напыления (ДГН). Одной из проблем в указанной области является оптимизация режима нанесения покрытий, которая определяется набором взаимосвязанных аэродинамических, теплофизических и химических параметров, что обуславливает необходимость применения комплексного подхода к процессам контроля в импульсных высокотемпературных газодисперсных потоках частиц.

Для выхода на оптимальный режим ДГН используется метод многократных пробных напылений. Однако некоторое количество входных параметров в технологии могут быть неконтролируемыми, что приводит к неполной воспроизводимости результата напыления и отражается на качестве покрытия. Подобный метод является весьма трудоемким, продолжительным и дорогостоящим, что влечет создание экспериментально – диагностического стенда, позволяющего определять выходные скоростные параметры.

Целью данной работы является определение экспериментальных значений скорости частиц гидроксиапатита кальция в потоке детонационно-газового напыления

В качестве материала использовался порошок гидроксиапатита кальция размером 50-100 мкм. Нанесение покрытий на титановые пластины (BT-1.0) размером 20x20x3 мм произведено на детонационно-газовой установке «Катунь-М»[1].

Разработанный в Алтайском государственном техническом университете им И.И. Ползунова экспериментальный стенд визуального исследования параметров потока частиц при детонационном напылении покрытий, позволяет в масштабе реального времени контролировать скорости частиц потока. Скорости частиц в импульсном потоке дето-

национного напыления измеряются PTV методом (PTV, Particle Tracking Velocimetry – измерение скорости по трассерам частиц) [2].

Программа расчета длины трассеров написана на языке Pascal в среде Delphi 6.0. На начальном этапе оператор устанавливает начальное сечение, в котором производится анализ яркости пикселей, соответствующее положению среза ствола детонационной установки. Здесь же задается порог уровня перепада яркости, соответствующего конечному значению координаты трассера.

Погрешность определения длины трека зависит от кратности увеличения оптической системы и погрешности расчета длины по пикселям. Для используемого объектива Индустар-61Л/3-МС и расстояния до импульсного дисперсного потока 1 м, масштаб изображения составлял 69 ± 4 пикселя на 0,01 м изображения или 8 % относительной погрешности.

Зная масштаб изображения, по длине треков частиц и времени экспозиции $T_{\text{нак}}=160$ мкс определялась скорость частиц в потоке, которая составила 400 м/с для времени $T=1-5$ мс, через каждые 500 мкс. На рисунке 1 приводится пример изображения треков частиц потока с рассчитанной скоростью.

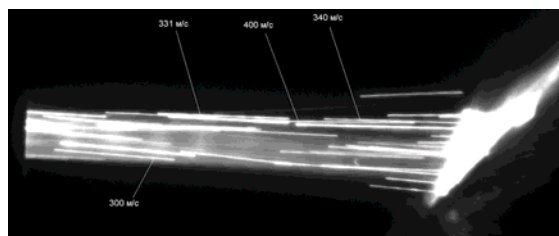


Рисунок 1 – Изображения треков частиц ($T_{\text{нак}}=160$ мкс, $T_k=4$ мс)

Рассчитывая длину трека, в данной работе предполагается, что трек остается от одной частицы. Толщина некоторых треков на изображении больше диаметра частиц ис-

пользуемого порошка, что может объясняться параллаксом оптической системы камеры. Некоторые треки имеют периодически повторяющиеся пульсации яркости, что объясняется вращением частиц вокруг своей оси, параллельной оси потока, обусловленное форм-фактором частиц. Приведенные выше утверждения носят гипотетический характер и подлежат дальнейшим исследованиям.

На рисунке 2 приведено значение средней скорости частиц в потоке ДГН по времени цикла напыления. Измерения проводились по длине треков частиц с учетом выше отмеченных допущений. Каждая точка рассчитывалась как среднее значение по трем – пяти трекам на изображении. Из графика видно, что в начале цикла напыления скорости возрастают до 400 м/с к $T_k=1$ мс, при T_k от 1 до 4,5 мс практически сохраняют свое значение около 400 м/с и после $T_k=4,5$ мс в конце цикла напыления – убывают.

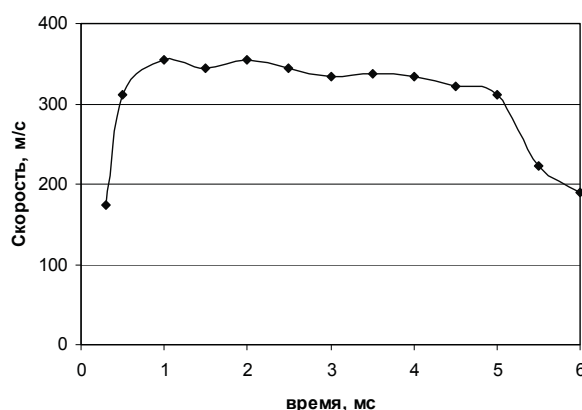


Рисунок 2 – Экспериментальные значения скорости частиц в потоке ДГН

На рисунке 3 приводится гистограмма распределения скоростей частиц на изображении импульсного детонационного потока (рис.1). На изображении удалось обнаружить 27 треков, по которым средняя скорость частиц составила 341,4 м/с.

Погрешность определения длины трека зависит от кратности увеличения оптической системы и погрешности расчета длины по пикселям. Для используемого объектива Индустар-61Л/3-МС и расстояния до импульсного дисперсного потока 1 м, масштаб изображения составлял 69 ± 4 пикселя на 0,01 м изображения с 8 % относительной погрешностью.

В тоже время разработка оптимальных технологических процессов напыления должна выполняться с учетом рационального со-

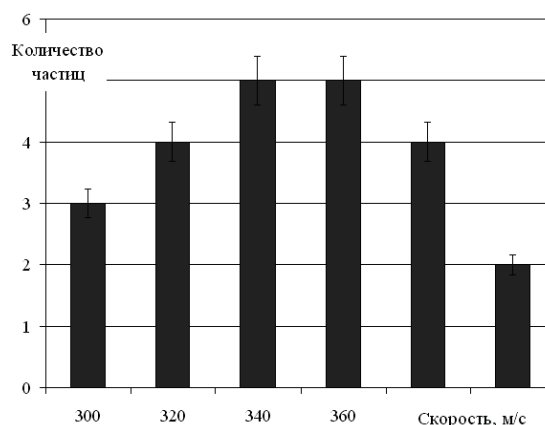


Рисунок 3 – Гистограмма скоростей частиц импульсного дисперсного потока напыления частиц установкой «Катунь М»

отношения между скоростью и температурой напыляемых частиц.[3] Известно, что свойства покрытий в ряде случаев улучшаются при разбавлении детонирующей смеси азотом и при увеличении дистанции напыления, хотя и то, и другое приводит к уменьшению скорости частиц. Таким образом, обычно нельзя оптимизировать процесс напыления по величине скорости частиц. Необходимо использовать комплексный критерий, учитывающий агрегатное состояние частиц, скоростные, тепловые и концентрационные характеристики процесса.

Выводы

1. Определены экспериментальные значения скорости частиц в потоке ДГН. В начале цикла напыления скорости возрастают до 400 м/с к $T_k=1$ мс, при T_k от 1 до 4,5 мс практически сохраняют свое значение около 400 м/с и после $T_k=4,5$ мс в конце цикла напыления – убывают.
2. Выявлена средняя скорость частиц гидроксиапатита кальция 341,4 м/с.

Список литературы:

1. Яковлев В. И. Экспериментально-диагностический комплекс для физических исследований порошковых СВС-материалов при детонационном напылении : Автореф. дис. канд. техн. наук. – Барнаул, АлтГТУ, 2003. – 19 с.
2. Способ определения скоростей частиц в продуктах детонации и взрыва / Гуляев П. Ю., Евстигнеев В. В., Яковлев В. И., Полторыхин М. В., Шарлаев Е. В // Патент РФ № 2193781, на изобретение по заявке № 2000125631/28, приоритет от 11.10.00.
3. Скорость порошка при детонационном напылении покрытий / А.Л. Борисова, В. С. Клименко, В. Г. Скадин, С. Ю. Шаривкер. // Порошковая металлургия. – 1979. – № 1. – С. 29–31.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ NI-CR-B-FE/WC МОДИФИЦИРОВАННЫХ Al_2O_3

¹К. В. Князьков, ¹М. В. Радченко, ²А. Н. Смирнов,
²В. Л., Князько, ³Э. В. Козлов

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

²Кузбасский государственный технический университет,
г. Кемерово, Россия

³Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия

В результате проведенных ранее исследований влияния модифицирования в процессе наплавки упрочняющих покрытий материалом ПС-12НВК-01 было установлено, что модифицирование существенно влияет на структуру и свойства наплавленного металла [1, 2, 3].

В настоящей работе представлены результаты исследований влияния модифици-

рования наноразмерными частицами Al_2O_3 материала системы Ni-Cr-B-Fe/WC на износостойкость покрытий. Результаты исследований изменения механических свойств сталей и сплавов при их модифицировании представлены в известных работах [4, 5, 6].

Для проведения испытаний были выполнены работы по изготовлению образцов приведенные ниже в таблице 1

Таблица 1 – Образцы для испытаний наплавки модифицированного материала

№ п/п	ПС-12НВК-01, %	Al_2O_3 , %	Основной металл	Размеры образцов, мм			Кол-во измерений
				д	ш	в	
1	99,5	0,5	СтЗсп	8	7	15	10
2	99,0	1,0		8	7	15	
3	98,5	1,5		8	7	15	
4	98,0	2,0		8	7	15	
5	97,5	2,5		8	7	15	

Наплавка образцов выполнялась на установке для плазменно-порошковой наплавки УПН-303. Испытания проводились на машине для испытания материалов на трение 2168 УМТ с использованием лабораторных весов ВЛР-200 в соответствии с ГОСТ 17367-71 «Металлы. Метод испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы». Результаты обрабатывались при помощи программного продукта Statistica 10.0.

По результатам выполненных испытаний были получены графики относительной износостойкости представленные ниже (рисунок 1).

На рисунке 1 изображены графики относительной износостойкости образцов моди-

фицированных наноразмерным Al_2O_3 в процентном содержании 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% соответственно. Данные графики построены относительно эталонных образцов материала ПС-12НВК-01 без содержания наноразмерного Al_2O_3 .

На первом графике (рисунке 1, а) показано, что при модифицировании основного металла 0,5% наноразмерного Al_2O_3 в испытуемом образце износостойкость повысилась в 1,32 раза относительно эталона.

На первом графике (рисунке 1, а) показано, что при модифицировании основного металла 0,5% наноразмерного Al_2O_3 в испытуемом образце износостойкость повысилась в 1,32 раза относительно эталона.

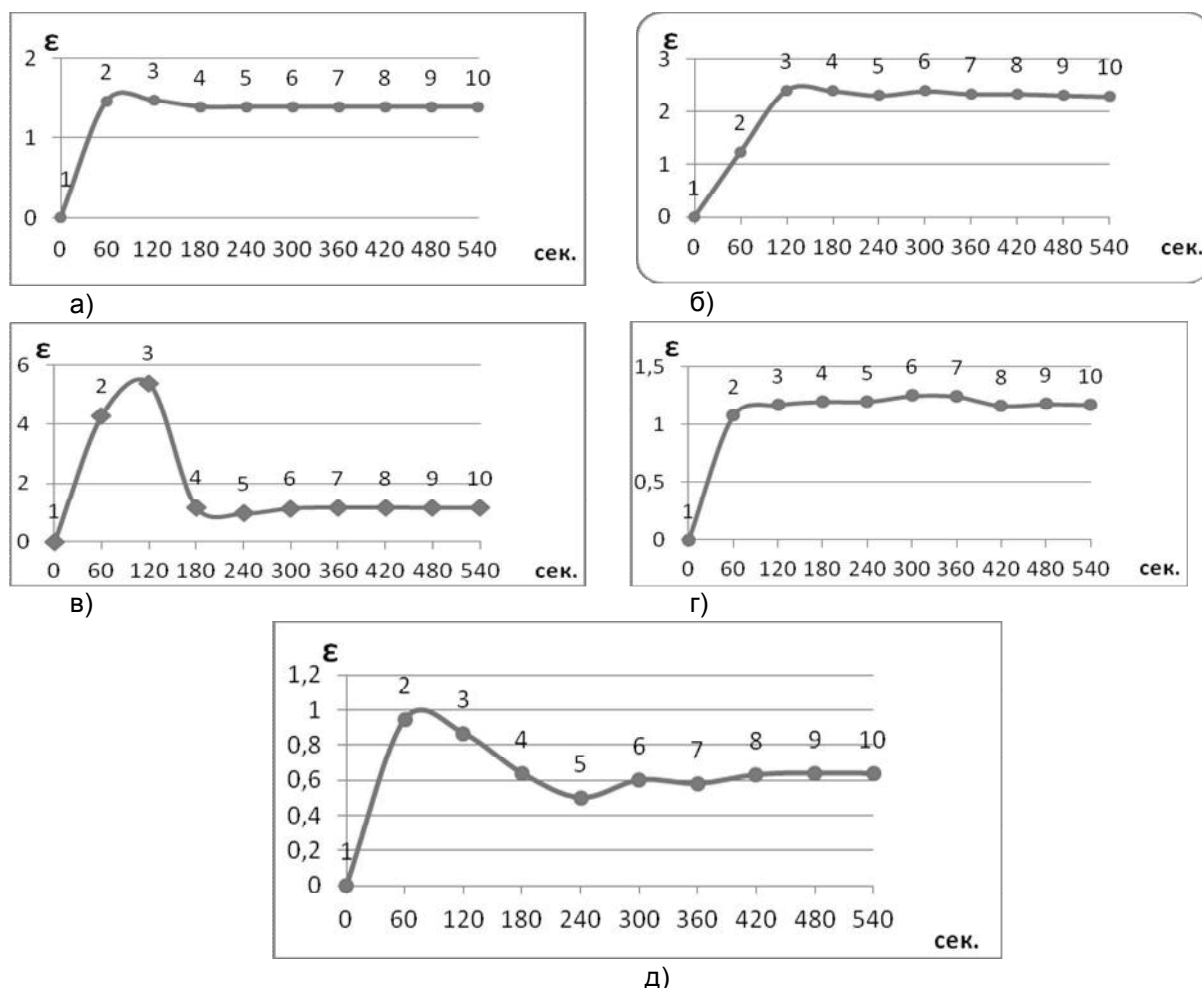


Рисунок 1 – Зависимости относительной износостойкости от количества, введенного в состав наплавочной смеси модификатора в виде Al_2O_3 ,

На первом графике (рисунок 1, а) показано, что при модифицировании основного металла 0,5% наноразмерного Al_2O_3 в испытуемом образце износостойкость повысилась в 1,32 раза относительно эталона.

На втором графике (рисунок 1б) показано, что износостойкость повысилась в 2,22 раза относительно эталона и имеет максимальный показатель износостойкости.

На графиках (рисунок 1 в, г, д) износостойкость равна 1,64, 1,16, 0,67 соответственно, что говорит о падении износостойкости материала при повышении количества модификатора выше 1,0%. При этом как видно из графика на рисунке 2 при содержании модификатора свыше 2,15% значение относительной износостойкости ниже единицы, что говорит о падении износостойкости ниже предела износостойкости эталона.

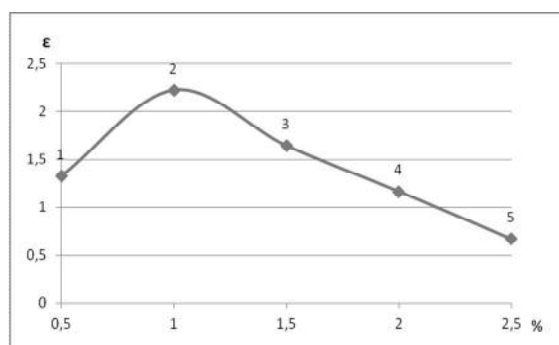


Рисунок 2 – Общий график относительной износостойкости ПС-12НВК-01+ Al_2O_3

На основании данных графика (рисунок 2) можно говорить о том, что в пределах содержания модификатора в порошковой смеси от 0,5% до 2,15% износостойкость имеет положительный характер. Содержании

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ NI-CR-B-FE/WC МОДИФИЦИРОВАННЫХ Al_2O_3

модификатора в количестве 1,0% является наилучшим количественным показателем. При увеличении содержания модификатора свыше 1,0% в порошковой смеси, приводит к снижению износостойкости.

Выводы:

1. Модифицирование упрочняющего покрытия системы Ni-Cr-B-Fe/WC наноразмерными частицами в процентном содержании 1,0% Al_2O_3 приводит к повышению его износостойкости до максимальных значений. Но при количестве наноразмерного Al_2O_3 2,15% износостойкость испытуемого металла падает ниже эталона.

2. Таким образом определен оптимальный состав порошковой смеси Ni-Cr-B-Fe/WC и наноразмерных частицами Al_2O_3 для наплавки износостойкого покрытия системы.

Список литературы:

1. Анализ способов ремонта и восстановления деталей машин горнообогатительных комплексов Горизонты образования (электронный журнал). - 2011. - вып. 13 (Труды 8-й Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Наука и молодежь - 2011")

2. Радченко М.В., Смирнов А.Н., Козлов Э.В., Мазалов Ю.А., Князьков К.В. Сборник

материалов 13-й международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург 12-15 апреля 2011 г.) Плазменно-порошковая наплавка слоя бронзы, модифицированного наноразмерными частицами Al_2O_3 с. 157-163.

3. Князьков К.В., Князьков В. Л., Смирнов А. Н; Модификация и упрочнение антифрикционного сплава бронзы наноразмерными частицами корунда Жизненный цикл конструкционных: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием.-Иркутск: издательство НИ ИрГТУ, 2011.- С.71-73

4. Соколов Г. Н., Лысак В. И., Трошков А. С., Зорин И. В., Горемыкина С.С., Самохин А. В., Алексеев Н. В., Цветков Ю. В. Модифицирование наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама. Физика и химия обработки материалов, 2009, № 6, с. 41.

5. Гуцин Д.А. и др. Анализ и поиск перспективных направлений комплексного модифицирования металла сварных швов при автоматической сварке под флюсом мостовых металлоконструкций. – Современные решения обеспечения безопасности мостов. – Научные труды ОАО ЦНИИС. Вып. №261. – М. 2011, с. 19-23.

6. Трошков А.С. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама. // Ползуновский альманах// Вып. №2.- 2009, стр. 72-75.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ ГЕОМЕМБРАНЫ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ (ПЭНД), ВЫПОЛНЕННЫХ ЭКСТРУЗИОННОЙ СВАРКОЙ

¹Б. И. Мандров, ¹С. Н. Бакланов, ¹Д. Н. Бакланов,
²А. С. Влеско, ²С. А. Путивский, ³С. Д. Сухинина

¹Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

²ЗАО «ТЕХПОЛИМЕР», г. Красноярск, Россия

³ОАО ПСМК, г. Барнаул, Россия

Как было показано в работе [1] применение геомембран из полиэтилена высокой плотности (ПЭНД) при строительстве сооружений гидротехнического характера (рисунок 1), дорог, полигонов твердых бытовых отходов и т.п. постоянно расширяется. Выпускаемые полимерные листы и пленки из-за ограниченной ширины, во многих случаях, необходимо соединять между собой в сплошную мембрану с помощью сварки.



Рисунок 1 – Геомембрана гидротехнического сооружения

Основным типом сварного соединения, используемым в геомембране, является нахлесточное соединение. Выбор такого типа соединения обусловлен малой толщиной применяемых полимерных листов и трудностями, связанными с обеспечением точности сборки листов встык. Для получения вышеуказанного типа соединения листов применяется сварка нагретым или комбинированным клином (далее по тексту клином) и экструзионная сварка.

Сварка нагретым клином имеет высокую производительность, поэтому используется для соединения листов в продольном направлении, что обусловлено большой дли-

ной листов (70 метров и более). Способ сварки выполняется в механизированном режиме, что уменьшает влияние оператора на качество сварных соединений.

Поперечные швы сваривают либо нагретым клином, либо экструзионной сваркой, которая также используется в местах труднодоступных для сварки. При сварке поперечных швов нагретым клином на зону сопряжения устанавливается накладка, обвариваемая по периметру экструзионной сваркой (рисунок 2). Сварные соединения, согласно требованиям пояснительной записки проекта, строящегося объекта, полученные обоими способами сварки должны проверяться на прочность и плотность.

При использовании сварки нагретым клином на отработанных режимах и отсутствии повреждений поверхности листов, при сборке и сварке, на глубину более 10% толщины оба показателя качества обеспечиваются на уровне требований проектов. При экструзионной сварке, выполняемой в ручном режиме, могут возникать некоторые технологические проблемы, снижающие прочность сварных соединений. По нашему мнению эти проблемы заслуживают рассмотрения.

Как было показано выше, качество сварных соединений геомембраны определяется требованиями пояснительной записки проекта, что обусловлено отсутствием нормативной документа для подобного рода объектов. Формируется же качество сварного соединения геомембраны как во время сборки и подготовки поверхностей листов, так и во время процесса экструзионной сварки.



Рисунок 2 – Усиление стыка геомембраны накладкой, приваренной экструзионной сваркой

Процесс сборки нахлесточного соединения начинается с разметки ширины нахлестки и укладки верхнего листа по меткам с последующей выверкой размера по всей длине размотанного рулона. После укладки листов внахлестку производится их взаимная фиксация. Завершающим переходом сборки является очистка зафиксированных листов от поверхностных загрязнений. На стадии сборки факторы, снижающие качество сварных соединений возникают во время фиксации и очистки листов.

Необходимость надежной взаимной фиксации листов связана со значительным изменением линейных размеров полиэтилена при нагревании и с малой устойчивостью тонких листов (толщина от 0,6 до 1,5 мм). Это приводит к потере устойчивости верхнего листа и образованию волны впереди насадки экструдера, создающей помехи в перемещении экструдера, течении расплава полимера и формировании сварного шва.

Очистка листов в лабораторных условиях может производиться с помощью растворителя в зоне шириной не менее 50 мм с каждой стороны от края нахлестки непосредственно перед сваркой. В условиях строительной площадки использовать такой метод очистки не представляется возможным из-за высокой температуры поверхности листов в летний период (до 60 °С) и сильного испарения растворителя в зону дыхания сварщика, что может привести к его отравлению. На практике сварщик производит очистку листов ручной универсальной щеткой, например

фирмы Lessman, но чаще всего щетки из стальной латунированной проволоки, закрепленной в дрель или другой вращатель. Зачистка щеткой малопроизводительна, а применение щетки из стальной латунированной проволоки приводит к повреждению листов больших, чем допускается по ТУ на материал (не более 10 % от толщины листа) и сосредоточению деформации в зоне повреждения.

При этом материал листа разрушается преимущественно по зоне зачистки рисунок 3.



Рисунок 3 – Разрушение соединения по зоне очистки при экструзионной сварке

По нашему мнению избежать повреждений листов при механической очистке возможно, если вместо металлического инструмента использовать гибкий шлифовальный инструмент, например круги шлифовальные лепестковые исполнения КЛ или КЛО с зернистостью Р100 - Р160. Для этих целей могут быть также использованы щетки нейлоновые или полиамидные Kreeb с зернистостью Р120. Такая замена делает очистку более стабильной, гарантирует отсутствие повреждений, больших, чем указано в ТУ на полиэтиленовый лист и тем самым исключает подготовку поверхности листов, как причину снижения качества сварных соединений.

Взаимная фиксация листов при сборке в полевых условиях производится с помощью сварки нагретым воздухом щелевой насадкой с прикаткой листов силиконовым роликом. При этом прикатка должна производиться по всей длине стыка, поскольку прихватка на отдельных участках стыка не позволяет предотвратить образование волны перед экструдером и снижает как товарный вид сварного шва, так и его прочность из-за уменьшения расчетной толщины шва вследствие искажения формы стыка. Процесс фиксации листов по своей трудоемкости сопоставим с трудоемкостью сварки, поэтому необходимо повысить его эффективность.

Нами предлагается осуществлять взаимную фиксацию листов на ширине равной

ширине сварного шва с помощью двухрядного латунного ролика, прокатываемого на расстоянии от 5 до 10 мм от края нахлестки. Проведенные эксперименты показали высокую эффективность предлагаемого способа фиксации листов. Для коротких сварных швов, например при постановке накладок можно рекомендовать фиксацию двухсторонним скотчем, который также показал высокую эффективность при условии отсутствия перегрева листов при последующей сварке.

При сварке основной проблемой при правильно подобранных параметрах режима, влияющей на качество сварного шва, является форма насадки экструдера. В комплект поставки экструдера входят универсальные насадки для сварки стыковых, прямолинейных угловых швов и угловых поворотов (внутренних и наружных).

Опыт применения насадок для стыковых швов при сварке нахлесточных соединений показывает, что из-за ступеньки, образуемой толщиной верхнего листа, насадка становится под углом, способствующим вытеканию расплавленного экструдированного материала за пределы шва. Это обуславливает избыточный расход присадочного прутка и уменьшению расчетного сечения сварного шва.

Для решения вышеуказанной проблемы нами была спроектирована и экспериментально проверена насадка для сварки нахлесточных соединений геомембран (рисунок 4). При проектировании ступенька на насадке увеличивалась на (0,2 – 0,3) мм по сравнению с толщиной верхнего листа, что позволяет компенсировать неточности, возникающие при сборке листов. В носовой части насадки выполнялось скругление передней кромки и продольные пазы для снижения трения насадки о листы. Боковой уступ в передней части насадки позволяет ее ориентировать по кромке нахлестки и облегчает контроль положения сварного шва.

Наши эксперименты показали, что применение специализированной насадки увеличивает расчетное сечение сварного шва по толщине и поднимает предел текучести

сварного соединения на (2-3) МПа по сравнению со швами, выполненными насадкой, входящей в комплект экструдера.

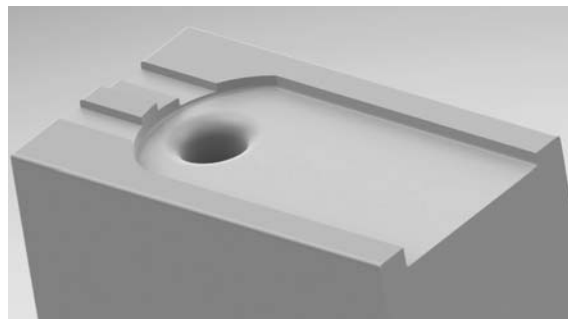


Рисунок 4 – Насадка для сварки нахлесточного соединения

Выводы:

1. На качество соединений, выполненных экструзионной сваркой, большое влияние оказывают стадия подготовки листов к сварке и конструкция насадки используемой для формирования шва;
2. Для снижения повреждения листов при зачистке зоны сварного шва вместо металлических щеток целесообразно использовать гибкий абразивный инструмент;
3. Замена силиконового ролика при взаимной фиксации листов на двухрядный латунный ролик позволяет повысить производительность процесса сборки при обеспечении надежной фиксации;
4. Применение специализированной насадки позволяет повысить стабильность процесса сварки, уменьшить вытекание расплава и повысить прочность сварного шва.

Список литературы:

1. Мандров Б.И., Демин Е.А., Сухинина С.Д., Путивский С.Д. Сварка и контроль качества соединений противофильтрационных устройств // Ползуновский альманах, 2011, №4- С. 65-67.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЧАСТКОВ СОПРЯЖЕНИЯ СТУПЕНЕЙ ПУАНСОНОВ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ НАПРЯЖЕНИЙ

И. В. Беляев, М. Ю. Якушев, П. В. Верещагин

Бийский технологический институт,
г. Бийск, Россия

Из практики производства и данных научно-технической литературы [1-3] известно, что прочность тяжело нагруженных пуансонов холодной штамповки сильно зависит от геометрии не только рабочей части, но и от формы переходных поверхностей между деформирующей частью и следующими ступенями инструмента и его крепежным участком. Расчеты на прочность пуансонов обычно включают в себя расчет на сжатие рабочего (деформирующего) участка, расчет на устойчивость, возможен расчет на совместное действие изгиба и сжатия. Ни один из приведенных методов расчета не учитывает изменение напряжений, которое обязательно происходит в области перехода между ступенями пуансона, где резко изменяется его диаметр. Влияние концентрации напряжений закладывается в коэффициенты запаса прочности и рекомендации по геометрической форме и размерам переходных участков между ступенями пуансона.

Актуальность работы определяется тем, что следует разрабатывать надежные и долговечные инструменты, с оптимальной материалоемкостью, опираясь на достоверные значения действующих в нем напряжений, а не руководствоваться только рекомендацией технической литературы по назначению формы инструментов.

Чтобы более точно учитывать вклад переходных участков на увеличение действующих в инструменте напряжений необходимо наличие расчетных зависимостей связывающих геометрические характеристики участков сопряжения с коэффициентом концентрации напряжений в зоне перехода.

Цель работы – исследование влияния геометрической формы и размеров пуансонов цилиндрической формы на концентрацию напряжений на участке сопряжения ступеней.

Задачи работы: из анализа конструкции пуансонов и данных научно-технической литературы установить конструктивные факторы, влияющие на их прочность; работать

план численного эксперимента выявляющего влияние геометрических параметров участка сопряжения на наибольшие напряжения в инструменте под нагрузкой; разработать трехмерную модель для каждой точки экспериментального исследования и произвести расчет действующих напряжений, состояние материала инструмента предполагается упругим; аппроксимировать данные расчетов и провести анализ влияния геометрических особенностей участка сопряжения на концентрацию напряжений в области перехода.

Были рассмотрены конструкции пуансонов для холодного выдавливания. Установлено, что участок сопряжения обычно выполняется с небольшим углом конусности α , меняющимся в пределах от 30° до 60° , перепад диаметров между ступенями, от d до D редко превышает 10%, а радиус сопряжения поверхностей R , меняется в пределах от 30% до 40% от диаметра рабочей части, d . Такое соотношение размеров обеспечивает относительно равномерное распределение напряжений в переходной части инструмента. Схема пуансона и обозначения приведены на рисунке 1.

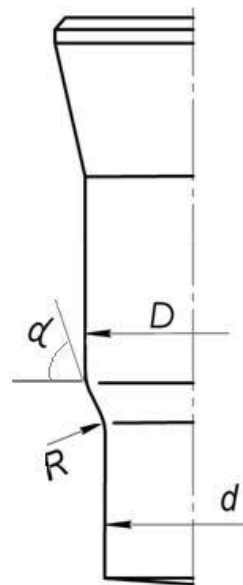


Рисунок 1 – Ступенчатый пуансон.

Для несколько расширенных диапазонов изменения геометрических параметров был составлен план численного эксперимента по типу 3^3 . В качестве функции был принят коэффициент концентрации напряжений, определяемый как отношение наибольшей интенсивности напряжений к контактному давлению, равномерно распределенному по торцевой поверхности рабочей части пуансона:

$$n = \frac{\sigma_i^{\max}}{p}$$

В качестве независимых параметров использованы: абсолютное значение угла конусности переходной части, α ; отношение радиуса сопряжения ступеней к диаметру деформирующей части, (R/r) ; отношения диаметров ступеней, (d/D) .

Диапазон изменения независимых факторов: $\alpha = 5^\circ \dots 30^\circ \dots 60^\circ$; $(R/r) = 0,1 \dots 0,6 \dots 0,9$; $(D/d) = 1,1 \dots 1,3 \dots 1,5$. Для каждого из 27 сочетаний размерных характеристик была создана трехмерная модель в системе проектирования SolidWorks, материал пуансона принимался идеально упругим, при выполнении прочностного расчета нагрузки подбирались, таким образом, чтобы они превышали предела упругого сопротивления пуансона. По результатам расчетов находилась наибольшая интенсивность напряжений, которая затем делилась на давление, приложенное к торцу пуансона – это отношение искомый коэффициент концентрации напряжений.

Результаты расчетов были аппроксимированы степенной и полиномиальной функциями, обе функции показали хорошую точность аппроксимации, максимальная погрешность не превысила 10%, средняя около 2%. Функции, аппроксимирующие характер изменения коэффициента концентрации напряжений от геометрии переходной части ступенчатого пуансона, представлены ниже:

$$n = 0,574 - 0,0042 \cdot \alpha - 0,454 \cdot \frac{R}{d} + 1,67 \cdot \frac{D}{d}$$

$$n = 1,534 \cdot \alpha^{-0,073} \cdot \left(\frac{R}{d}\right)^{-0,143} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^{0,93}$$

Приведенные расчетные зависимости могут использоваться для уточнения действующих напряжений в ступенчатых пуансонах. Действующее в пределах рабочей части напряжение следует умножить на коэффициент концентрации напряжений.

Расчетами по аппроксимирующим функ-

циям установлены графические закономерности изменения коэффициента концентрации напряжений, они показаны на рисунках 2-4.

Анализ приведенных на рисунках зависимостей показывает, что на большей части исследованного диапазона изменения независимых параметров изменение функции концентрации напряжений близко к линейной зависимости, для любого исследованного фактора.

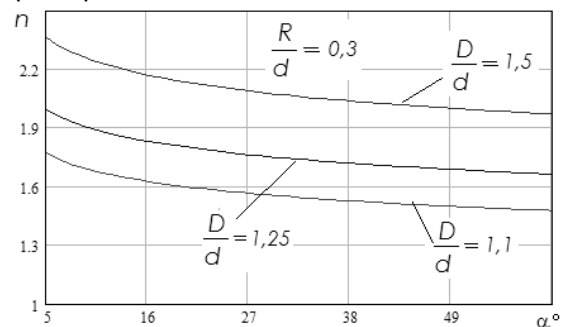


Рисунок 2 – Изменение коэффициента концентрации напряжений от угла конусности переходного участка

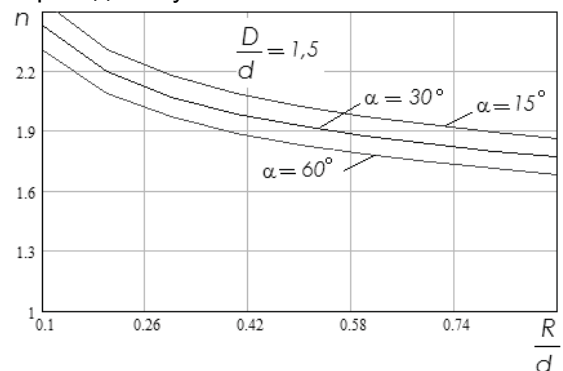


Рисунок 3 – Изменение коэффициента концентрации напряжений от радиуса сопряжения переходного участка

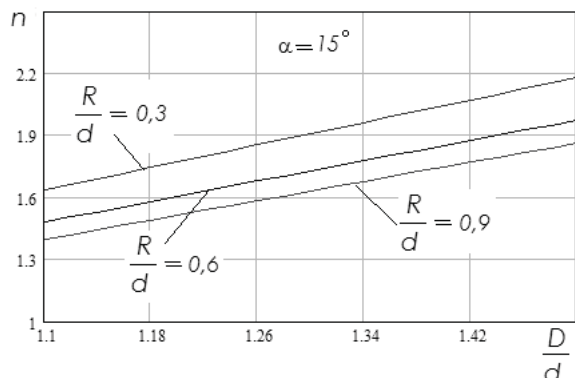


Рисунок 4 – Изменение коэффициента концентрации напряжений от отношения диаметров ступеней

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЧАСТКОВ СОПРЯЖЕНИЯ СТУПЕНЕЙ ПУАНСОНОВ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ НАПРЯЖЕНИЙ

Нелинейность проявляется при малых углах наклона образующей поверхности от горизонтали, малых радиусах сопряжения поверхностей, рисунок 2 и 3. Поэтому выявить наличие оптимальных областей изменения геометрических параметров сопряжения не удастся. При проектировании можно считать, что изменение коэффициента концентрации напряжений зависит линейно от каждого фактора, само же значение коэффициента концентрации следует рассчитывать по приведенным аппроксимирующим функциям.

Список литературы:

1. Васильев Д.И. Основы проектирования деформирующего инструмента. - М.: Высшая школа, 1984 – 223 с.
2. Ковка и штамповка.:Справочник.Т.3 Листовая штамповка /Под ред. А.Д.Матвеева - М.: Машиностроение, 1987 – 384 с.
3. Скворцов Г.Д. Основы конструирования штампов холодной штамповки. - М.: Машиностроение, 1972 – 360 с.

ОБОСНОВАНИЕ ПРАВИЛ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ МЕЖДУ ОРУДИЕМ РЫБОЛОВСТВА И ПОВЕРХНОСТЬЮ БАРАБАНА ФРИКЦИОННОГО ТИПА

А. А. Недоступ, Е. К. Орлов, А. В. Дегутис, И. А. Чибисов
Калининградский государственный технический университет,
г. Калининград, Россия

В трибологии - науке о трении, износе, смазке и взаимодействии контактирующих поверхностей при их взаимном перемещении - физическое моделирование способствует установлению связи между трением и износом и помогает установить причины и закономерности процесса [1,2]. Так в промышленном рыболовстве два сопряженных под нагрузкой тела «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа», образуют фрикционную пару. Касание сопряженных тел фрикционной пары приходится в отдельных пятнах - узлах [3,4,5,6]. Так орудия рыболовства имеют неровности, обусловленные конструкцией сетного полотна и шероховатостью канатно-веревочных изделий, и поверхность тяговых барабанов промысловых механизмов фрикционного типа имеет неровности. Есть специально созданные неровности для увеличения сцепления. Физическое моделирование трибопар или фрикционного их взаимодействия является первым необходимым шагом при исследовании процесса трения и изнашивания орудий рыболовства. Оно способствует раскрытию механизма его протекания и создает предпосылки к научно обоснованному конструированию фрикционного узла и управлению его работой. Основным признаком трибопары «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа» является то, что качество выполняемых рабочим барабаном технологических операций, их надежность определяется не столько величиной среднего значения статического коэффициента трения (сцепления) на рабочих поверхностях в паре трения, сколько устойчивостью его реализации в независимости от влияния всех воздействующих факторов. В механической системе с фрикционным барабаном исследуемая физическая модель трения должна включать как равноправные: динамические характеристики трибопары «орудие рыболовства - поверхность бараба-

на фрикционного типа» с учетом случайного характера сил сцепления в зоне контакта, а также динамически изменяющиеся параметры механической системы. Комплексное моделирование механической системы необходимо начинать с оценки условий, обеспечивающих динамическое подобие составляющих ее частей и пары трения «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа». Исследование и учет динамических свойств трибопары «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа» при физическом моделировании важны еще и тем, что целью данных исследований является не только объяснение и динамическое описание процесса трения, но и описание способов, с помощью которых можно заранее задавать динамические качества вновь проектируемых или модернизируемых компонентов фрикционной пары «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа», решать вопросы диагностики ее выходных трибохарактеристик и их прогноза.

Анализу процесса трения и износа в трибопарах при использовании методов физического моделирования трибологических воздействий уделяли внимание многие ученые из разных стран. Остановимся на некоторых из них. Так в 1968 г. Мамон Л.И. и Третьяков О.А. [7,8] на основании π -теоремы вывели следующие критерии подобия процесса трения (износа) трибопар

$$\frac{v\mu}{lp_y} = idem, \quad (1)$$

$$\frac{v\rho l}{\mu} = idem, \quad (2)$$

где v - скорость; μ - динамический коэффициент вязкости; l - характерный линейный параметр; p_y - удельное давление; ρ - плотность среды. Критерий (1) является критерием трения, а критерий (2) критерием Рейнольдса

ОБОСНОВАНИЕ ПРАВИЛ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ МЕЖДУ ОРУДИЕМ РЫБОЛОВСТВА И ПОВЕРХНОСТЬЮ БАРАБАНА ФРИКЦИОННОГО ТИПА

Re. Также авторы приводят симплексы геометрического подобия.

Щербак П.Н. [9] и Окулова Е.С. [10] из уравнений динамики колеса электропоезда получили критерии подобия. Окулова Е.С. [10] при моделировании фрикционного взаимодействия приводит следующие выводы, т.к. сила тяжести равна $F=Mg$ (M - масса, g - ускорение силы тяжести), а масштаб ускорения силы тяжести $C_g=1$, имеем масштаб сил $C_F=C_R=C_m$ (C_m - масштаб массы), а масштаб массы соответствует $C_m=C_l^2 C_\gamma$ (при использовании одинаковых материалов в модели и натуре $C_\gamma=1$, где C_l - линейный масштаб, C_γ - масштаб объемного веса) имеем $C_F=C_m=C_l^3$, при этом она указывает на противоречия, как и при моделировании гидродинамических процессов. Непременным условием реализации равных сил трения в контакте трибопар натурального образца и его модели является равенство контактных давлений, т.е. $C_p=1$. Для этого Окулова Е.С. предлагает обеспечить условие $C_F=C_A$ (C_A - масштаб площади контакта), так как из $p=F/A$ (A - площадь контакта) имеем индикатор подобия в константах подобия $C_F/C_p C_A=1$. С учетом того, что $C_A=C_l^2$ имеем $C_F=C_A=C_l^2$, что входит в противоречие с полученным ранее $C_F=C_m=C_l^3$. Для ликвидации указанного противоречия автор вводит понятие добавочной массы. Возможно, по словам автора, также изменить плотность материала модели. При этом авторы указывают, что необходимым условием моделирования фрикционного контакта являются соблюдение масштабов изгибной жесткости $C_{EI}=C_l$ и времени $C_t=1$. На основании анализа условий подобия фрикционного взаимодействия Щербак П.Н. и Окулова Е.С. приводят основные критерии подобия, а также критерии Фурье и Нуссельта.

В настоящей статье рассматриваем физическое моделирование абразивного трения (изнашивания). Выделим параметры, влияющие на процесс трения [11]. К ним отнесем: путь трения l , окружную скорость v , плотность материала поверхности барабана ρ_6 , твердость материала HB , номинальную площадь контакта A , тягу барабана P_6 , диаметр барабана D , модуль упругости материала поверхности барабана E_6 , потребляемую мощность на валу барабана N , угловую скорость барабана ω_6 , вращательный момент на валу барабана M_6 , давление на номинальную площадь контакта p , нагрузку в ветвях орудия рыболовства S_1 (S_2) (S_1 - натяжение в набегающей ветви; S_2 - натяжение в сбегающей ветви), объемный вес материала орудия рыболовства γ^* , относительное удлинение материала орудия рыболовства ε , шероховатость ξ , изгибную жесткость EI , коэффициент кинематической вязкости воды ν , амплитуду колебаний \bar{A} , частоту колебаний f , время t , статический коэффициент трения μ_d , силу трения F_d , ускорение силы тяжести g , ускорение w .

При этом будем рассматривать процесс трения с точки зрения механического процесса (Наумов, 1994), т.е. не рассматриваем такие параметры, как температуру трибопар, характеристики пленки и др. В качестве основных величин выберем путь трения (длину дуги охвата) l (также можно принять за характерную геометрическую характеристику r - радиус барабана), окружную скорость v , плотность материала поверхности барабана ρ_6 . Их размерности не зависимы. Функциональная зависимость процессов трения и изнашивания трибопары «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа» представляется в общем виде

$$I = f(l, v, \rho_6, A, S_1, F_d, P_6, D, g, w, \gamma^*, E_6, \nu, N, \omega_6, HB, M_6, \bar{A}, f, p, EI, t, \varepsilon, \xi, \mu_d) \quad (3)$$

Выделим из (3) безразмерные комплексы ε , ξ и μ_d . Запишем выражение (3) в виде безразмерного комплекса

$$\ddot{I}_i = l^{\alpha_1} v^{\alpha_2} \rho_6^{\alpha_3} A^{\alpha_4} S_1^{\alpha_5} F_d^{\alpha_6} P_6^{\alpha_7} D^{\alpha_8} g^{\alpha_9} w^{\alpha_{10}} \gamma^{*\alpha_{11}} E_6^{\alpha_{12}} \nu^{\alpha_{13}} N^{\alpha_{14}} \omega_6^{\alpha_{15}} HB^{\alpha_{16}} M_6^{\alpha_{17}} \bar{A}^{\alpha_{18}} f^{\alpha_{19}} p^{\alpha_{20}} EI^{\alpha_{21}} t^{\alpha_{22}}$$

Далее на основании π -теоремы определяем критерии подобия фрикционного взаимодействия трибопары «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа». Запишем функциональную зависимость (4) в виде:

$$I = f\left(\frac{A}{l^2}, \frac{D}{l}, \frac{\bar{A}}{l}, Ne, Fr, Re, Sh, \frac{wr}{v^2}, \frac{F_d}{E_d l^2}, \frac{N}{\rho_d l^2 v^3}, \frac{r \omega_d}{v}, \frac{F_d}{HBl^2}, \frac{M_d}{\rho_d l^3 v^2}, \frac{lf}{v}, \frac{F_d}{pA}, \frac{EI}{\rho_d l^4 v^2}, \frac{v \rho v}{lp}, \varepsilon, \xi, \mu_d\right) \quad (4)$$

где $Al^2=idem$, $Dl=idem$, $\bar{A}/l=idem$ и $\xi=idem$ - критерии геометрического подобия. Данные критерии выполнимы. Критерии силового подобия $Ne=idem$ - критерий Ньютона, $Fr=idem$ - критерий Фруда, $Re=idem$ - критерий Рейнольдса, $Sh=idem$ - критерий Струхала, $l/v=idem$, $\varepsilon=idem$, $El/\rho d^4 v^2=idem$, $\mu_d=idem$ выполнимы при физическом моделировании фрикционного взаимодействия трибопары.

На основании выводов Недоступа А.А. [12] правила физического моделирования динамических процессов необходимо соблюдать при условии выполнения критерия подобия

$$\frac{C_F C_l}{C_t^2 C_m C_\omega} = 1, \quad (5)$$

где C_ω - масштаб ускорения. При этом основные масштабы подобия [12]

$$C_t = C_l^{\frac{5}{4}}, \quad (6)$$

$$C_v = C_l^{-\frac{1}{4}}, \quad (7)$$

$$C_F = C_l^{\frac{3}{2}}, \quad (8)$$

$$C_\omega = C_l^{-\frac{3}{2}}, \quad (9)$$

$$C_m = C_l^3, \quad (10)$$

$$C_\mu = C_v = C_l^{\frac{3}{4}}, \quad (11)$$

где C_v - масштаб окружной скорости на барабане; C_μ - масштаб динамической вязкости среды между трибопарами; C_v - масштаб кинематической вязкости среды между трибопарами.

Таким образом, на основании основных масштабов (6) - (7) можно получить оставшиеся масштабы физических величин зависимости (4). Минимизация масштабного эффекта физического моделирования трибологического процесса выполняется при условии $\mu_{dm} \rightarrow \min$, причем по полученным экспериментальным данным получена формула для расчета статического коэффициента трения μ_d [11]

$$\mu_d = 0,6 \sqrt{\frac{S_1/S_2 - 1}{\alpha}}, \quad (12)$$

где α - угол дуги охвата.

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ № 11-08-00096-а.

Список литературы

1. Чичинадзе А.В. Основы трибологии: Учебник для технических вузов/ Под ред. А.В. Чичинадзе.- М: Центр «Наука и техника», 1945.-778 с.
2. Чичинадзе А.В., Матвиевский Р.М., Браун Э.Д. Материалы в триботехнике нестационарных процессов. М.:Наука.-1986.- 248 с.
3. Крагельский, Марочкин В.Н. Модели фрикционного контакта при исследовании процесса трения и изнашивания твердых тел. Доклады пятой межвузовской конференции по физическому и математическому моделированию. Секция: моделирование применительно к задачам механики, строительства и машиностроения. М. - 1968. - С. 176-180.
4. Крагельский И.В. Трение и износ. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.
5. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбаров В.С.. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение. 1977. - 526 с.
6. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. М.: Машиностроение. - 1968. - 503 с.
7. Мамон Л.И., Третьяков О.А. Анализ процесса износа контактных торцевых уплотнений с применением теории подобия. Доклады пятой межвузовской конференции по физическому и математическому моделированию. Секция: моделирование применительно к задачам механики, строительства и машиностроения. М. - 1968а. - С. 166-169.
8. Мамон Л.И., Локшин М.А., Губенков М.Г., Волкобоев Г.К. Применение теории подобия к исследованию механизма герметичности в контактах торцевых уплотнениях. Доклады пятой межвузовской конференции по физическому и математическому моделированию. Секция: моделирование применительно к задачам механики, строительства и машиностроения. М. - 1968б. - С. 170-175.
9. Щербак П.Н. Оптимизация фрикционных механических систем на базе модельного эксперимента. Дисс. на соиск. уч. степени д.т.н. - Ростов-на-Дону. - 2001. - 379 с.
10. Окулова Е.С. Модельная оптимизация и прогнозирование трибохарактеристик системы путь - подвижной состав (на примере магистрального электровоза ВЛ-80). Дисс. на соиск. уч. степени к.т.н. - Ростов-на-Дону. - 2006. - 255 с.
11. Недоступ А.А., Орлов Е.К. Исследование статического коэффициента трения рыболовных канатно-веревочных изделий на барабане механизма фрикционного типа. Трение и износ. 2010. - Том 31. - №4. - С. 403-411.
12. Недоступ А.А. Обоснование правил физического моделирования динамических процессов орудий рыболовства// Сборник тезисов докладов VII Международной научной конференции «Инновации в науке и образовании - 2009»/ КГТУ. - 2009. - С. 160-164.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩЕМ МЕТАЛЛЕ БАРАБАНОВ КОТЛОВ С ДАННЫМИ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Н. В. Абабков, А. Н. Смирнов

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

В настоящей работе сопоставлены результаты, полученные методами электронной микроскопии и спектрально-акустическим и магнитошумовым методами на образцах длительно работающего и наплавленного металла сварных барабанов котлов высокого давления, изготовленных из специальной молибденовой стали. В работах [1, 2] были исследованы и сопоставлены результаты этих методов на образцах длительно работающего основного и наплавленного металла барабанов №1, 2 Южно-Кузбасской ГРЭС.

Методом электронной микроскопии была изучена структура при перемещении по образцу от зоны разрушения к основному металлу (образец длительно работающего металла) и от центра наплавки к основному металлу (образец наплавленного металла). Полученные количественные характеристики структуры представлены и описаны в предыдущих разделах. Было установлено, что наиболее серьезные изменения происходят в зоне разрушения и в ЗТВ наплавки. Именно там появляются микротрещины и резко возрастают внутренние напряжения. Таким образом, зона вблизи трещины и ЗТВ сварки является участком концентрации напряжений и именно здесь может произойти разрушение объекта.

Исследования, выполненные спектрально-акустическим, магнитошумовым и электронно-микроскопическими методами были проведены на одних и тех же участках и на одних и тех же образцах длительно работающего и наплавленного металла сварных барабанов котлов высокого давления.

Анализ поверхностного слоя образцов длительно работающего и наплавленного металла сварных барабанов котлов показал, что здесь формируются дальнедействующие поля внутренних напряжений, источниками которых являются несовместность деформаций

по границам зерен, крупные скоагулированные карбиды Me_3C и цепочки карбидов по границам фрагментов, вследствие чего возрастает амплитуда локальных полей внутренних напряжений (рисунок 1). Последнее свидетельствует об увеличении в структуре наплавленного металла числа источников внутренних напряжений.

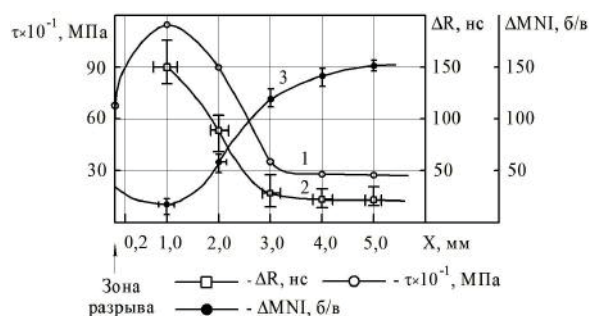
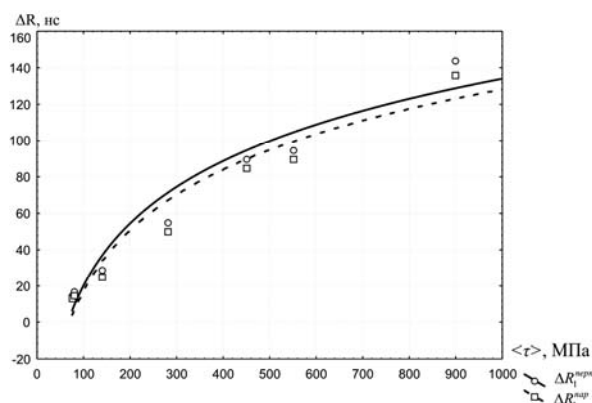


Рисунок 1 – Изменение средних значений локальных полей внутренних напряжений (τ) (кривая 1), времени задержки ПАВ (ΔR) (кривая 2) и интенсивности МШ (ΔMNI) (кривая 3) при перемещении по образцу от зоны разрушения к основному металлу (образец длительно работающего металла)

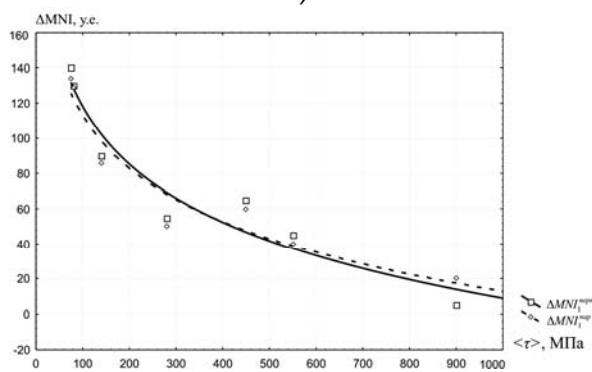
Из рисунка 1 видно, что максимальное значение времени задержки ПАВ и минимальное интенсивности МШ наблюдались на расстоянии 1 мм от зоны разрыва (трещины), здесь же зафиксирована максимальная амплитуда локальных полей внутренних напряжений (1000 МПа).

Увеличение объемной доли опасной для разрушения структуры материала (участков дефектной α -фазы) привело к росту средних локальных полей внутренних напряжений с одной стороны, а с другой стороны, рост внутренних напряжений (300–900 МПа в основном металле, 900–1100 МПа вблизи зоны разрыва) приводит к увеличению времени задержки ПАВ (30–45 нс в основном металле,

120–150 нс вблизи берегов трещины) и уменьшению интенсивности МШ (30–45 единиц в основном металле, 130–160 единиц вблизи зоны разрыва). Такие закономерности объясняются ослаблением ультразвуковых колебаний на источниках локальных полей внутренних напряжений (для ПАВ) (рисунок 2, а) и наличием неоднородностей в структуре металла, которые затрудняют движение границ магнитных доменов (для МШ) (рисунок 2, б).



$\langle r \rangle$, МПа, $\Delta R_1^{\text{перп}}$, нс: $r = 0,9952$, $p = 0,000003$;
 $\langle r \rangle$, МПа, $\Delta R_2^{\text{пар}}$, нс: $r = 0,9962$, $p = 0,000002$;
 а)



$\langle r \rangle$, МПа, $\Delta MNI_1^{\text{перп}}$, нс: $r = -0,9192$, $p = 0,0034$;
 $\langle r \rangle$, МПа, $\Delta MNI_2^{\text{пар}}$, нс: $r = -0,8771$, $p = 0,0095$;
 б)

Рисунок 2 – Связь величины локальных полей внутренних напряжений $\langle r \rangle$ со временем задержки ПАВ ΔR (а) и интенсивностью МШ (б)

Результаты, полученные спектрально-акустическим и магнитошумовым методами, подтверждаются методами растровой (РЭМ) и просвечивающей (ПЭМ) электронной микроскопии (рисунок 3).

Как показали проведенные исследования, уже при качественном наблюдении зе-

ренной структуры металла видно, что зерна в основном металле существенно крупнее, чем вблизи зоны разрыва. Количественные исследования показали (рисунок 3, а), что средний размер зерна в зоне основного металла почти в 2 раза больше среднего размера зерна в зоне разрыва.

Кроме того видно, что средний размер зерна в зоне основного металла при перемещении по образцу от основного металла практически не изменяется (рисунок 3, а). Известно, что средний размер зерна является важной характеристикой, поскольку от него сильно зависят количественные параметры на более мелкомасштабных (структурных) уровнях в условиях, как фазовых превращений, так и пластической деформации. А именно, от размера зерна зависят размеры структурных составляющих, скалярная плотность дислокаций и амплитуда кривизны-кручения кристаллической решетки.

Поэтому было предположено, что именно вблизи зоны разрыва (0,2 мм) будут происходить кардинальные изменения параметров тонкой структуры. Что и подтверждают данные замеров величины времени задержки ПАВ и интенсивности МШ в различных местах по сечению длительно работающего образца металла. Наибольшее время задержки импульсов ПАВ и наименьшее значение интенсивности МШ наблюдается на участке образца вблизи зоны разрыва (рисунок 3, б).

Таким образом, установленные зависимости показывают принципиальную возможность выявления зон с высокими значениями локальных полей внутренних напряжений в длительно работающем и наплавленном металле сварных барабанов котлов высокого давления, изготовленных из специальных молибденовых сталей спектрально-акустическим и магнитошумовым методами.

Так как структурное состояние длительно работающего и наплавленного металла сварных барабанов определяет величину локальных полей внутренних напряжений [3] и физико-механические свойства, то можно утверждать, что в исследованных образцах металла характеристики ПАВ и МШ связаны с полями внутренних напряжений, параметрами микроструктуры и механическими свойствами.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩЕМ МЕТАЛЛЕ БАРАБАНОВ КОТЛОВ С ДАННЫМИ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

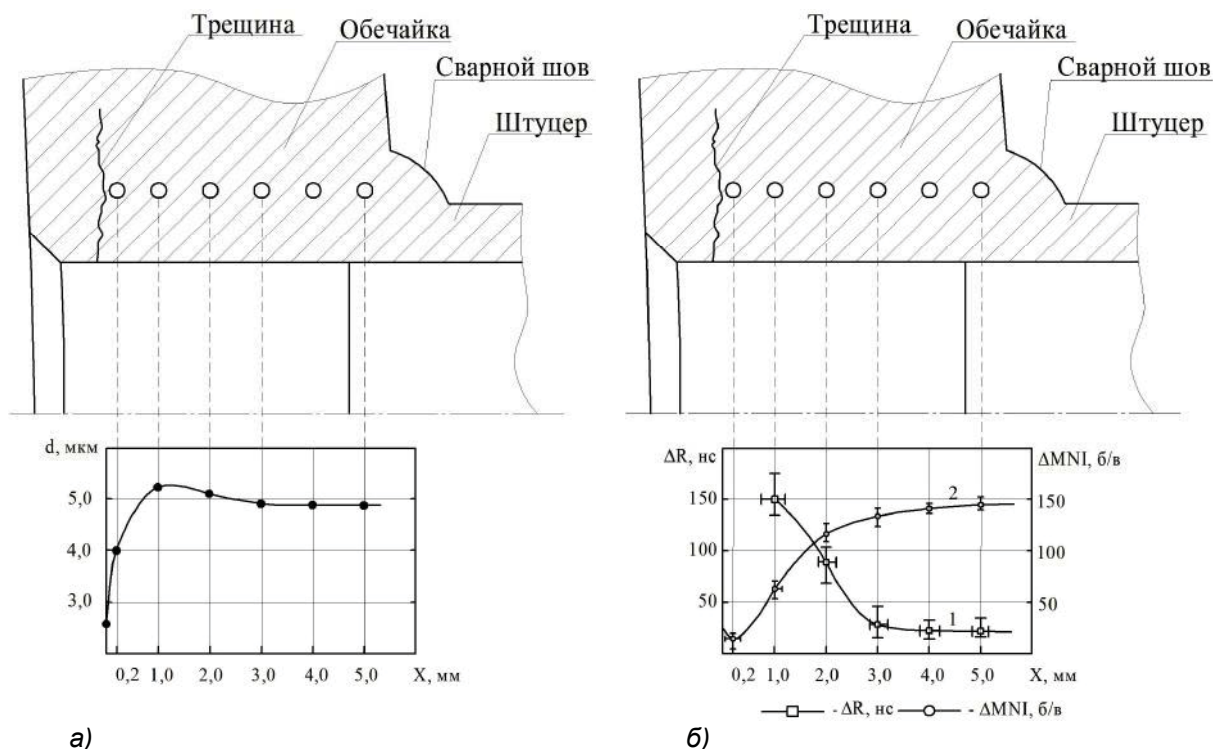


Рисунок 3 – Схема образца с повреждением и с указанием зон, где проводились измерения:
а – размера зерна (d , мкм) при перемещении по образцу в направлении от зоны трещины к основному металлу (X); б – времени задержки ПАВ (1) и интенсивности МШ (2) относительно сечения образца)

Анализ результатов исследования показывает высокую чувствительность спектрально-акустического и магнитошумового методов к определению изменений параметров микроструктуры. Однотипность кривых изменения времени задержки ПАВ, интенсивности МШ и локальных напряжений (которые непосредственно указывают на наиболее опасные места в объеме материала) свидетельствует о преобладающей роли последних в изменении акустических и магнитных характеристик.

Обобщая полученные результаты можно сказать, что практическое применение спектрально-акустического и магнитошумового метода неразрушающего контроля для выявления неоднородностей и изменений в структурно-фазовом состоянии длительно работающего и наплавленного металла сварных барабанов котлов, изготовленных из специальной молибденовой стали (типа 20М) является возможным. Вышеописанная методика может применяться для оценки структуры и физико-механических свойств длительно работающего металла сварных барабанов котлов, работающих в топливно-

энергетическом комплексе.

Список литературы:

1. Смирнов, А. Н. Комплексный подход к оценке работоспособности элементов энергетического оборудования / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков // Извест. Сам. науч. центра РАН, 2010. – Т. 12. – №1 (2). – С.520–524.
2. Смирнов, А. Н. Микроструктура, акустические характеристики и поля внутренних напряжений в поврежденном металле барабана котла ПК-10 до и после ремонта сваркой / Смирнов А. Н., Козлов Э. В., Конева Н. А. и др. // Сварка и диагностика, 2011. – №3. – С. 39–42.
3. Смирнов, А. Н. Применение магнитошумового метода контроля для оценки качества наплавленного металла / А. Н.Смирнов, Н. В. Абабков // сб. науч. тр. Всероссийской конференции с международным участием «Жизненный цикл конструкционных материалов», ИрГТУ. – Иркутск, 2011. – С. 194–198.

РЕГУЛИРУЕМОЕ УПРОЧНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПЛАЗМЕННО-ПОРШКОВОЙ НАПЛАВКИ БРОНЗЫ МОДИФИЦИРОВАННОЙ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

¹К. В. Князьков, ¹М. В. Радченко, ²А. Н.Смирнов,
²В. Л., Князьков, ³Э. В. Козлов

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

²Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово, Россия

³Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г.Томск, Россия

Антифрикционные материалы на основе бронзы по уровню механических и специальных свойств, остаются практически незаменимыми при изготовлении тяжело нагруженных деталей машин горнодобывающей, металлургической, энергетической и других отраслей промышленности, таких опорные втулки стрел экскаваторов, втулки и поршни гидроцилиндров, зубчатые передачи и др.

Наиболее рациональной, при изготовлении вышеперечисленных деталей является технология наплавки композиционными материалами на основе меди для сварки и наплавки БрКМц3-1, МНЖКТ5-1-0,2-0,2, , БрХНТ [1].

Использование этих композиционных материалов недостаточно эффективно при наплавке деталей, поверхности которых подвергаются высоким механическим нагрузкам, например втулок экскаваторов ЭКГ-125, поверхностей скольжения опорных роликов буровых коронок и других деталей горнодобывающего оборудования, так как наплавленные, с использованием вышеуказанных материалов поверхности имеют твердость, не превышающую 240НВ.

Известно введение небольшого количества (до 0,2%) наноразмерных частиц карбида вольфрама в металл, наплавленный с использованием электродугового и электрошлакового процессов [2]. Порошок монокарбида вольфрама с размером частиц менее 0,1 мкм совместно с порошком никеля (99,9%) с размером частиц 50-80 мкм обрабатывали в планетарной мельнице. Получали никелевые гранулы, в которых содержалось около 30 масс % нанокарбида. Полученный порошок вводили в порошковую проволоку и использовали для наплавки износостойких покрытий электродов, стержней и подобных изделий.

К недостаткам данного материала можно отнести то, что в результате применения для модификации тугоплавких частиц карбидов, они могут сохраняться в наплавленном металле, т.к. температура плавления карбида вольфрама 2870°C, а температура сварочной ванны при применении дуговых и плазменных источников теплоты не превышает 2300К [3], поэтому присутствие сверхтвердых частиц карбида вольфрама в наноструктурированном материале неизбежно и это, соответственно, приведет к снижению антифрикционных и изменению других свойств наплавленного металла.

Известно использование наночастиц в процессе модифицирования сварных соединений [4], где в качестве основного состава использован тугоплавкий материал на основе титанового порошка.

Например, при сварке титанового сплава ОТН-1 проводится обработка ванны порошковой смесью наночастиц циркония размером 0,1 мкм – 0,3 масс % и титанового порошка размером 0,6 мкм – остальное. Для повышения физико-механических свойств сварного соединения в порошковую смесь вводится модификатор в виде наночастиц Al_2O_3 дисперсностью 60-90 нм и углеродных трубок (таунит).

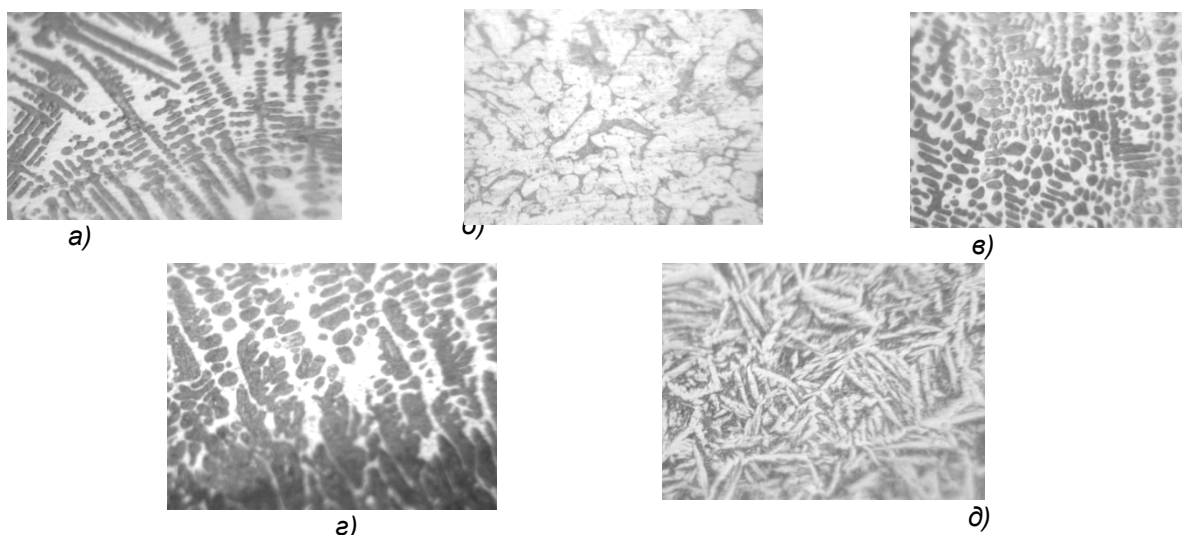
Однако обработка тугоплавких соединений требует использования повышенных температур (например, в зоне сварки температура столба дуги превышает 6000 °C), при которых возможно самовозгорание наночастиц. С целью предотвращения этого процесса наночастицы – модификаторы вводят в сварочную ванну в смеси с охлаждающим порошком (микрохолодильниками). При этом модифицирующая смесь готовится в специальных мельницах.

РЕГУЛИРУЕМОЕ УПРОЧНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ БРОНЗЫ МОДИФИЦИРОВАННОЙ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Такой процесс приготовления порошка для сварки с повышенными механическими свойствами сварного соединения технологически сложен и требует больших затрат.

В данной работе представлены исследования изменения твердости антифрикционного слоя бронзы модифицированной наноразмерными частицами Al_2O_3 в зависи-

мости от концентрации частиц в наплавочной смеси порошков. При наплавке использовались смеси порошков бронзы ПГ-19М-01 и частиц Al_2O_3 различного гранулометрического состава и чистоты, состав, свойства и технические условия на изготовление, которых также представлены ниже.



X 500

Рисунок 1 – Структура слоя плазменно-порошковой наплавки порошком ПГ-19М-01 а) без нанопорошка Al_2O_3 , твердость наплавленного слоя 69НВ, б) смесью порошков, (вес.%) Пг-19М-01 и 0,5% Al_2O_3 , твердость наплавленного слоя 132НВ, в) смесью порошков, (вес.%) Пг-19М-01 и 1,0% Al_2O_3 , твердость 229 НВ, г) смесью порошков, (вес.%) Пг-19М-01 и 2,0 % Al_2O_3 , твердость 255НВ, д) смесью порошков, (вес.%) Пг-19М-01 и 2,5% Al_2O_3 , твердость НВ 465

Таблица 1 – Свойства плазменно-порошкового покрытия бронзы, наплавленной порошком бронзы марки ПГ-19М-01* при использовании в качестве элемента-модификатора частиц Al_2O_3 , имеющих различные физико-химические характеристики (размерность, химическая чистота)

№ /п	Марка	Технические условия, ГОСТ	Размерность, фракционный состав, мкм	Химическая чистота, %	НВ, наплавленной поверхности	Качество наплавки
1.	Г-00	ГОСТ 30558-98	60-120	98-99	95- 230	Сетка пор, шлак в наплавленном слое и на поверхности
2.	14А	ОСТ 2-МТ715 дробленый	50-240	96-98	150-260	Сетка пор, шлак в наплавленном слое и на поверхности
3.	Бемит	ТУ 2133-001-7634032-2006	0,020-0,120	≥ 99,8	355-465	Единичные поры и шлаковые включения размером не более 0,05 мм ² .
4	ПГ-19М-01 (бронза)*	ТУ 48-19-383-91	40-100	Металлическая составляющая ≥ 99,8	65-72	Единичные поры и шлаковые включения размером не более 0,05 мм ² .

* Характеристика наплавленного слоя ПГ-19М-01 (бронза) без модификаторов

Структуры и твердость материалов, представленных на рисунке 1 а) - д) получены в результате использования в качестве модификатора Бемита ТУ 2133-001-7634032-2006 (табл.1, п. 3). В случае применения частиц Al_2O_3 другого вида наплавленный слой имеет значительное количество дефектов, наличие которых не позволяет их практическому использованию в качестве антифрикционного покрытия.

Результат достигается вследствие:

1 - применения частиц наноразмерного диапазона (эффект размерности);
2 - высокой чистоты и стабильности других параметров применяемого порошка Al_2O_3 , гарантированного ТУ 2133-001-7634032-2006;

3 - уникальных свойств керамического материала Al_2O_3 , таких как твердость – 9 по шкале Мооса (тверже Al_2O_3 только алмаз), низким коэффициентом трения, высокая коррозионная стойкость, высокая прочность, высокая ударная вязкость, низкая химическая активность [5].

4. Особенности применения технологии плазменно-порошковой наплавки, при которой «В головной части ванны они (частицы порошка) плавятся под действием теплоты плазменной дуги, а в хвостовой – ускоряют охлаждение, действуя как микрохолодильники. В этом случае имеет место подстуживание ванны, уменьшается средняя температура и, что весьма важно, глубина проплавления основного металла. Нерасплавившиеся частицы могут становиться дополнительными центрами кристаллизации. Образование дополнительных центров кристаллизации измельчает структуру и придает ей разориентированный характер, что может способствовать улучшению эксплуатационных свойств наплавленного металла» [6].

Покрытие может быть использовано при упрочнении тяжело нагруженных и ответственных деталей машин, таких как, втулки подшипниковых узлов буровых долот.

Использование технологии наплавки бронзы модифицированной наноразмерными частицами Al_2O_3 позволяет изменять твердость в зависимости от количества элемента-модификатора в наплавочном порошке.

Выводы:

1. Разработан способ регулируемого повышения твердости наплавочных антифрикционных материалов на основе бронзы в процессе плазменно-порошковой наплавки
2. Для уточнения других свойств наплавленного покрытия необходимо проведение дополнительных исследований.

Список литературы:

1. ГОСТ 16130-90. Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные. Технические условия. М: МПК, Изд-во стандартов, 2002 г., 17 с.
2. Соколов Г. Н., Лысак В. И., Трошков А. С., Зорин И. В., Горемыкина С.С., Самохин А. В., Алексеев Н. В., Цветков Ю. В. Модифицирование наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама. Физика и химия обработки материалов, 2009, № 6, с. 41.
3. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – С. 263-264.
4. Гушин Д.А. и др. Анализ и поиск перспективных направлений комплексного модифицирования металла сварных швов при автоматической сварке под флюсом мостовых металлоконструкций. – Современные решения обеспечения безопасности мостов. – Научные труды ОАО ЦНИИС. Вып. №261. – М. 2011, с. 19-23.
5. Метод коллекторного компактирования нано и полидисперсных порошков: Учебное пособие / О.Л. Хасанов, Э.С. Двилис, А.А. Качаев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 102 с.
6. Гладкий П.В., Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменная наплавка. – К.: «Екотехнологія», 2007. – С. 111-113.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ МОТИВАЦИИ РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ В ИННОВАЦИОННОМ И ТРАДИЦИОННОМ СЕКТОРАХ ЭКОНОМИКИ

А. П. Верещагина, Н. В. Волкова

Бийский технологический институт,
г. Бийск, Россия

В последние годы в России стал активно развиваться инновационный сектор экономики. В связи с этим возникает необходимость отбора и стимулирования работников данной сферы.

Специалисты сходятся во мнении, что работники, занимающиеся инновациями, должны обладать такими качествами как:

- способность к само- и взаиморазвитию;
- творческий потенциал;
- креативность (творческие способности индивида, характеризующиеся готовностью к созданию принципиально новых идей, отклоняющихся от традиционных или принятых схем мышления и входящие в структуру одаренности в качестве независимого фактора, а также способность решать проблемы, возникающие внутри статичных систем);
- уверенность в себе. Уверенный в себе человек – это человек, исполненный спокойного сознания своей силы, своих возможностей, способный к решительным действиям, внушает доверие и располагает к себе окружающих;
- способность работать в команде.

Все перечисленные выше качества формируют «инновационного человека»: человек активный, деятельностный, адаптивный, готовый к постоянным изменениям в соответствии со своими склонностями, интересами и потенциалом. Инновационному человеку часто противопоставляют «человека традиционного»: консервативного, который хотя и может обладать некоторыми из качеств инновационного (например, способностью работать в команде, уверенностью в себе), но не всеми.

Возникает исследовательский вопрос: может ли различие в личностных качествах инновационного и традиционного индивидов привести к тому, что их будут побуждать к

эффективной трудовой деятельности различные мотивационные факторы. Для ответа на данный вопрос было проведено исследование, в котором приняли участие:

- работники «традиционного» сельскохозяйственного предприятия ООО «КВиНТ», объем выборки – 23 человека (категории персонала – специалисты, служащие, основные рабочие);
- сотрудники «инновационного» подразделения – опытно-испытательной станции – ОАО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай», объем выборки – 25 человек (категория персонала – специалисты).

При проведении исследования мы исходили из допущения о том, что все сотрудники «инновационного» подразделения являются инновационными, а все работники «традиционного» предприятия – традиционными.

Исследование мотивационных факторов проводилось по методике Ш. Ричи и П. Мартина, в рамках которой выделены 12 факторов, которые могут быть использованы как мотиваторы в условиях трудовых коллективов (ниже факторы приведены с порядковыми номерами, под которыми они будут представлены на рисунках, отражающих результаты исследования, ниже) [2, с. 378]:

1) потребность в высоком заработке, материальном вознаграждении и материальных благах;

2) потребность в комфортных физических условиях работы;

3) потребность в структурировании работы, обратной связи и информации о собственной работе, снижение степени неопределенности, связанной с работой;

4) потребность в социальных контактах: на уровне легкого общения с большим кругом людей;

5) потребность в устойчивых длительных взаимоотношениях: в тесных взаимосвязях с

небольшой группой людей;

6) потребность в признании заслуг и обратной связи (отзывах о своей работе): приобретение общественной значимости;

7) потребность в достижении и в постановке для себя дерзких вызывающих целей;

8) потребность во влиятельности и установлении контроля над другими;

9) потребность в разнообразии и переменах, т.е. желание постоянно испытывать стимулирующий интерес;

10) потребность в пытливости, креативности и широте взглядов;

11) потребность в самостоятельности, независимости и самосовершенствовании своей личности;

12) потребность в изначально интересной и полезной для общества благодарной работе.

Анализ каждого из мотивационных факторов, их сочетания и взаимного влияния дает реальную картину потребностей человека.

На рисунках 1, 2 представлены мотивационные профили респондентов (построенные по средним значениям выраженности каждого из мотивационных факторов), в таблице 1 мотивационные факторы проранжированы по степени их приоритетности.

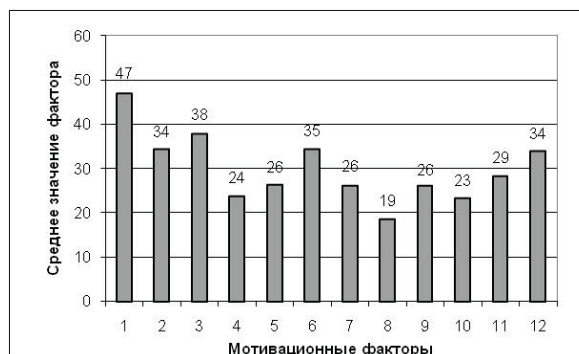


Рисунок 1 – Мотивационный профиль сотрудников «инновационного» предприятия



Рисунок 2 – Мотивационный профиль сотрудников «традиционного» предприятия

Таблица 1 – Приоритеты мотивации сотрудников «инновационного» и «традиционного» предприятия

Фактор мотивации	Ранг для «инновационного» предприятия	Ранг для «традиционного» предприятия
1) Потребность в высоком заработке, материальном вознаграждении и материальных благах	1	1
2) Потребность в комфортных физических условиях работы	4, 5	8, 9, 10
3) Потребность в структурировании работы, обратной связи и информации о собственной работе, снижение степени неопределенности, связанной с работой	2	4
4) Потребность в социальных контактах: на уровне легкого общения с большим кругом людей	10	7
5) Потребность в устойчивых длительных взаимоотношениях: в тесных взаимосвязях с небольшой группой людей	7, 8, 9	5
6) Потребность в признании заслуг и обратной связи (отзывах о своей работе): приобретение общественной значимости	3	2
7) Потребность в достижении и в постановке для себя дерзких вызывающих целей	7, 8, 9	6
8) Потребность во влиятельности и установлении	12	12

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ МОТИВАЦИИ РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ В ИННОВАЦИОННОМ И ТРАДИЦИОННОМ СЕКТОРАХ ЭКОНОМИКИ

контроля над другими		
9) Потребность в разнообразии и переменах, т.е. желание постоянно испытывать стимулирующий интерес	7, 8, 9	8, 9, 10
10) Потребность в пытливости, креативности и широте взглядов	11	11
11) Потребность в самостоятельности, независимости и самосовершенствовании своей личности	6	8, 9, 10
12) Потребность в изначально интересной и полезной для общества благодарной работе	4, 5	3

Проанализируем мотивационные факторы, оказавшиеся «лидерами» и «аутсайдерами» по каждой исследовательской базе.

Итак, определяющим мотивационным фактором для сотрудников обоих предприятий является (1) «Потребность в высоком заработке, материальном вознаграждении и материальных благах».

Для работников «инновационного предприятия» также имеет большое значение (3) «Потребность в структурировании работы, обратной связи и информации о собственной работе, снижение степени неопределенности, связанной с работой». Работники «традиционного» предприятия также отмечают значимость данного мотиватора, – он вошел в пятерку «лидеров».

Значимость для респондентов нематериальной мотивации подтверждается приоритетностью параметра (6) «Потребность в признании заслуг и обратной связи (отзывах о своей работе): приобретение общественной значимости», который при ранжировании мотивационных факторов занял третье и второе места для сотрудников «инновационного» и «традиционного» предприятия соответственно.

Следует отметить и то, что «аутсайдером» в каждой исследовательской базе стал мотивационный фактор (8) «Потребность во влиятельности и установлении контроля над другими».

С одной стороны, такие результаты исследования могут служить для опровержения поставленной гипотезы об отличиях мотивационных приоритетов «человека инновационного» работников, занятых традиционными видами деятельности. Но, с другой стороны, принадлежность сотрудников научного подразделения к инновационному типу была установлена лишь на основе предположения о том, что инновационной деятельностью занимаются только «инновационные» работники. С учетом этого, результаты исследования могут свидетельствовать и о том, что даже в подразделении, деятельность которого является инновационной, не всех сотрудников можно отнести к типу «человек инновационный», а руководству «инновационной» организации следует внимательнее относиться к подбору персонала.

Список литературы:

1. Хохлова Е.В. Уверенность в себе – базовое качество инновационной личности [Текст] / Е. В. Хохлова // Молодой ученый. – 2011. – №6. Т.2. – С. 108–110.
2. Ричи Ш., Мартин П. Управление мотивацией: Учебное пособие для вузов / Пер. с англ. под ред. проф. Е.А. Климова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 399 с. – (Серия «Зарубежный учебник»).

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ИННОВАЦИЯХ

Ж. М. Козлова

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Инновации стали неотъемлемой составляющей современной экономики. Их внедрение коснулось всех сфер деятельности человека. Особое место занимают управленческие инновации как один из факторов повышения конкурентоспособности предприятия. Управленческие инновации долгое время являлись наименее привлекательными для изучения специалистами. Это объясняется тем, что технические инновации дают результаты, которые можно измерить, либо другой ощутимый эффект.

В экономической литературе существует большое количество подходов к определению понятия «управленческие инновации». Так, О.П. Молчанова определяет управленческие инновации как новое знание, которое воплощено в новых управленческих технологиях, в новых административных процессах и организационных структурах.

В.Ф. Комаров, К.П. Корсунь понимают под управленческими инновациями новую систему организации или управления, или новую управленческую технологию, или новый бизнес-процесс. По нашему мнению, управленческие инновации можно обозначить как новые формы и методы работ на предприятии посредством модернизации административной, культурной, кадровой сфер предприятия [1].

Целью управленческих инноваций является повышение результативности административной деятельности, что в итоге, как и у большинства инноваций, направлено на получение экономической выгоды.

Управленческие инновации тесно связаны с персоналом. Поэтому им оказывается большее сопротивление при введении в организацию. Новые организационные структуры, методы выработки решений, формы стимулирования работников сталкиваются с человеческими интересами. Поэтому последствия управленческих инноваций менее предсказуемы, чем последствия технических инноваций.

Чтобы представить множество разно-

видностей управленческих инноваций, попробуем их классифицировать по содержанию управленческой деятельности, направлениям деятельности предприятий, объекту управления [2].

Характер изменения места, роли и видов управленческих инноваций в современной экономике связан со сменой парадигмы в управлении. В условиях глобализации управляемыми объектами являются: государства, их региональные интеграционные объединения, транснациональные корпорации, мировой финансовый рынок, а также само общество. Новая парадигма – это креативно-инновационный характер управления.

Идея инновационного управления реализуется в переходе от прямого администрирования к формированию мотивационных систем, обеспечивающих развитие творческой инициативы управляемых объектов. Её воплощению способствуют современные информационные технологии, позволяющие в реальном масштабе времени вести диалог управляющих структур и управляемых объектов.

Для современных компаний характерно влияние как инновационного развития общества в целом, так и инновационного управления. На уровне компании это проявляется в развитии внутрифирменного предпринимательства – создание внутренних венчуров для реализации идей и изобретений сотрудников. На межфирменном уровне инновацией является создание сетевых структур как новой и организационной формы, базирующейся на сочетании конкуренции и кооперации. Кооперация в рамках общей информационной, научно-технической, финансовой и маркетинговой сети дополняет конкуренцию как главный принцип рыночных отношений. Это позволяет концентрировать интеллектуальный потенциал, производственные, финансовые и маркетинговые ресурсы всех участников сети и разделять риски в борьбе за рынок. Кооперация усиливает конкуренцию между сетями на мировом рынке.

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ИННОВАЦИЯХ

Таблица 1 – Классификация по содержанию управленческой деятельности

№	Основные виды управленческой деятельности	Содержание	Управленческие инновации
1	Управленческая (методологическая, информационная)	Принятие управленческих решений (УР). Реализация полномочий и функций управления	Управленческое консультирование. Вариационность в УР. Проблемно ориентированный подход. Управление качеством. Управление знаниями. Нелинейные стратегии. Самоуправление.
2	Финансово-экономическая	Регулирование экономических процессов. Распределение ресурсов. Управление финансовыми потоками.	Участие персонала в прибылях. Хозрасчет. Управленческая прибыль.
3	Организационная	Создание, изменение и развитие организации.	Централизация-децентрализация. сетевые организации. Уплотнение структуры управления. Проектные команды. Дивизиональные структуры. Технопарки, технополисы. Бизнес-инкубаторы.
4	Социально-психологическая	Создание и регулирование социально-психологического климата в коллективе. Управление персоналом.	Управленческая, организационная культура. Горизонтальная карьера. Мотивация персонала свободным временем, участие в прибылях. Лизинг рабочей силы. Эгалитаристские подходы и многообразие ролевых функций в управлении персоналом.
5	Проектно-плановая	Планирование и проектирование. Бизнес-планирование. Выделение бизнес-процессов.	Реинжиниринг бизнеса (управление процессами, а не операциями). Аутсорсинг.

Таблица 2 – Классификация по направлению управленческой деятельности

№	Направление деятельности	Содержание	Управленческие инновации
1	Управление маркетингом	Исследование и прогнозирование развития рынков сбыта. Планирование ассортимента продуктов и услуг. Стимулирование сбыта. Организация товародвижения.	Формирование новых областей сбыта. Формирование брендов. Бенчмаркинг. Электронная коммерция.
2	Управление производством (операциями)	Организация управления производством.	Производство на заказ. Децентрализация управления производством. Интегрированные команды.
3	Управление финансами	Управление финансовой деятельностью предприятия	Дополнительная эмиссия акций. Встречные сделки. Взаимозачеты. Налоговое планирование. Страхование рисков. Лизинг.
4	Управление персоналом	Наем, продвижение, обучение и мотивация персонала	Лизинг рабочей силы, использование резюме и тестов при найме. Вводное обучение (после приема на работу). Участие сотрудников в капитале и прибыли. Рекрутерские агентства. Внедолжностная карьера. Горизонтальная карьера.

Таблица 3 – Классификация по объекту управления

№	Объекты управления	Содержание	Управленческие инновации
1	Международные объекты	Управление глобальной конкуренцией. Управление технологической политикой. Стратегическая политика. Инновационная политика.	Международные стратегические альянсы. Мультитранспортные конгломераты. Интегрированные системы технологического развития. Гибридная стратегия.
2	Государство	Управление: -обороной; -здравоохранением; -образованием; -социальной защитой; -культурой.	Конкурсный отбор чиновников. Модернизация налоговой системы, территориальное округа, пенсионная система, управление федеральной собственностью.
3	Регион	Управление развитием региона	Территориальный принцип. Отраслевой принцип. Технопарки, технополисы. Распределение полномочий между центром и субъектом ведения округов. Управление недвижимостью. Управление проектами на основе промышленных кластеров.
4	Муниципальное образование	Управление деятельностью муниципального образования.	Закрытые территориальные образования. Управление недвижимостью. Введение субсидий по квартплате. Дешевые товары. Надбавки к пенсиям.
5	Организация	Управление бизнесом.	Реинжиниринг бизнеса. Линейные стратегии. Уплотнение структур управления. Реструктуризация предприятия. Корпоративная культура.

Одной из самых эффективных новых форм является кластер – сообщество тесно связанных отраслей, опирающееся на конкуренцию и преимущества горизонтальных сетевых связей. Классическими примерами считаются: кластер компьютерных технологий в Силиконовой долине (США), логистический кластер в Роттердаме (Нидерланды), кластер оффшорного программирования в Бангалоре (Индия). В развитых странах кластерные технологии используют не только для построения транснациональных кластеров, но и как один из элементов промышленной политики. Развитие отраслевых промышленных комплексов ограничивается рамками региональных или национальных возможностей. В то же время кластеры, особенно транснациональные, интегрируют различные отрасли, виды деятельности и международные проекты, генерируют инновационные процессы и повышают конкурентоспособность компаний кластера на мировом рынке.

Сейчас крупные компании озабочены не защитой старых рынков, а завоеванием новых потребителей. Они охотятся не за акти-

вами, а за компетентными людьми. Компании стали больше внимания уделять разработке бизнес-моделей, а не инновациям на производстве. Основные инвестиции идут на разработку новых форм ведения бизнеса.

Таким образом, управленческие инновации служат необходимым звеном в цепочке эффективной и рентабельной деятельности предприятия, оставаясь при этом малоизученными. Они не требуют значительных финансовых вложений, поэтому являются наиболее выгодными из всех видов инноваций. Кроме того, инновации в управление позволяют адекватно реагировать на изменения на рынке, сохраняя конкурентоспособность предприятия на высоком уровне.

Список литературы:

1. Комаров В.Ф., Корсунь К.П. Проблемы и методы внедрения управленческих инноваций // Регион: экономика и социология . – 2011. – №1. – С. 248-267.
2. Чечурина М.Н. Управленческие инновации XXI века // Менеджмент в России и за рубежом. – 2010. – №5. – С. 3-9.

АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕВЫПОЛНЕНИЯ ПЛАНОВОГО ЗАДАНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗДЕЛИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

М. Т. Казарян, Е. В. Останина

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

В современных условиях перед предприятием встает множество проблем, которых не было прежде, и от того, насколько профессионально и серьезно предприятия подойдут к их решению, будут зависеть успешность их деятельности. На жизнеспособность предприятия, главным образом, оказывает влияние система управления.

Учет затрат – важнейший инструмент управления предприятием. И необходимость в подробном и достоверном учете затрат возрастает с каждым днем. Однако просто учета недостаточно для достоверной оценки уровня производственных затрат. Управление производственными затратами – это процесс, охватывающий не только учет, но и нормирование и планирование, анализ затрат на производство и контроль за их формированием и расходованием.

Машиностроение является одной из ведущих отраслей промышленности России. Предприятия машиностроения, главным образом, относятся индивидуальным и мелкосерийным типам производства. Одной из особенностей таких производств, является выпуск единичных изделий или небольшими партиями. Многие виды выпускаемой продукции представляют собой дорогостоящую технику. Естественно, вопросы формирования себестоимости, рентабельности и цен на эту продукцию очень важны. Необходимо так организовать учёт затрат и калькулирование себестоимости, чтобы издержки производства правильно распределялись по видам продукции и заказов. Широкая номенклатура и длительный цикл изготовления изделий, необходимость во многих случаях учитывать в технологии изготовления индивидуальные требования заказчика, связанные с назначением продукции, местом и условиями эксплуатации затрудняет точную разработку норм расхода материальных и трудовых затрат.

Одним из способов повышения эффек-

тивности функционирования предприятия является поиск методов минимизации затрат, базирующихся на совершенствовании системы управления затратами, учитывающей отраслевые особенности формирования затрат и организации управления ими, позволяющей получать достоверную оперативную информацию о затратах каждого вида деятельности и своевременно выявлять резервы их снижения. Анализ себестоимости дает возможность определить направления снижения затрат, а следовательно, выявить резервы роста прибыли.

Анализ себестоимости продукции можно провести двумя способами: по элементам и по статьям затрат.

Решение вопроса, как анализировать себестоимость продукции машиностроительного предприятия – по статьям или элементам затрат, является важным, с точки зрения наиболее полного изучения причин, оказавших положительное или отрицательное влияние на уровень себестоимости выпуска продукции и обусловлено построением аналитического учета отклонений от норм расхода и требованием организации контроля над себестоимостью отдельных цехов и подразделений предприятия. Выбор способа проведения анализа зависит от отраслевой принадлежности предприятия и спектра производимых предприятием товаров и услуг.

В основе классификации затрат по экономическим элементам лежит признак экономической однородности затрат независимо от того, где эти затраты осуществлены. Анализ структуры затрат по элементам позволяет оценить материалоёмкость, трудоёмкость, энергоёмкость продукции, выяснить характер их изменений и влияние на себестоимость продукции.

Однако построение аналитического учета отклонений от норм в разрезе экономических элементов не имеет смысла, так как ли-

шает возможности использовать его данные для составления отчетных калькуляций себестоимости, не дает понимания причинам отклонений от норм по отдельным видам и группам изделий и тем самым лишает возможности организации контроля над расходами отдельных цехов и подразделений предприятия. Поэтому в данной ситуации важен анализ *статей себестоимости*, особенно имеющих наибольший удельный вес в общей величине затрат. Снижение затрат по этим статьям внесет наибольший вклад в уменьшение себестоимости производства продукции. Следовательно, в целях полноты получения информации и для принятия верных управленческих решений в направлении оптимизации затрат требуется проведение анализа себестоимости как по элементам, так и по статьям затрат.

Для конкретных целей предприятия комплексной оценки себестоимости может быть недостаточно. В некоторых ситуациях необходимо проведение анализа себестоимости конкретного изделия, чтобы разработать мероприятия по минимизации затрат. Задача анализа себестоимости конкретных изделий заключается в том, чтобы рассмотреть изме-

нения фактической себестоимости изделий в сравнении с плановой и себестоимостью изделий за предыдущие годы, определить рентабельность изделий, наметить пути дальнейшего снижения затрат на производство и реализацию изделий за счет проведения организационно-технических мероприятий.

Анализ статей затрат по калькуляции отдельных изделий позволяет выявить конкретные причины возникновения перерасхода и обнаружить резервы уменьшения себестоимости продукции. Тщательному анализу подвергаются не только те статьи затрат, по которым имеется значительный перерасход, но и все другие, по которым отклонения невелики или получена экономия. Это связано с тем, что организация могла не только не использовать все имеющиеся резервы уменьшения себестоимости продукции, но и не полностью учесть их при разработке плана.

Анализ калькуляции изделия начинается с определения выполнения плана по полной себестоимости изделия. Для наглядности приведем анализ развернутой калькуляции по одному изделию организации машиностроительной отрасли.

Таблица 1 – Отчетная калькуляция

(Выпуск по плану – 11 250 шт., Выпуск по отчету – 11 250 шт.)

Статьи калькуляции	Себестоимость			Отклонение фактической себестоимости от плановой	
	Предыдущий период (факт)	Отчетный период			
		план	факт	на ед., руб.	на вы-пуск, т.р.
Сырье и основные материалы	3 585	4325	4659	334	3757
Покупные изделия и полуфабрикаты	1544	569	585	16	180
Транспортно-заготовительные расходы	385	253	110	-143	-1609
Заработная плата производственных рабочих	218	244	290	46	518
Страховые взносы	58	84	98	14	158
Итого прямых затрат	5790	5475	5742	267	3004
Общепроизводственные расходы	795	908	980	72	810
Общехозяйственные расходы	741	823	832	9	101
Внепроизводственные расходы	95	97	127	30	338
Итого полная себестоимость	7421	7303	7681	378	4253

АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕВЫПОЛНЕНИЯ ПЛАНОВОГО ЗАДАНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗДЕЛИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Как видно из таблицы, задание по снижению себестоимости изделия составило 117 руб., или 1,6% к себестоимости предыдущего года. Фактически себестоимость изделия увеличилась на 260 руб., или на 3,5%.

Задание по снижению себестоимости не выполнено на 5,2%. Перерасход на каждом изделии составил 378 руб., а на всем выпуске данных изделий – 4 253 тыс. руб.

На данном предприятии плановое задание по снижению себестоимости выполнено только по статье «Транспортно-заготовительные расходы». Задание по снижению себестоимости составляло 132 руб. Фактически снижение расходов составило 275 руб. Сверхплановая экономия на каждом изделии составила 143 руб. и получена за счет того, что предприятие в связи с увеличением объема заказа на данный вид продукции изменило способ доставки металла для изготовления этой продукции и перешло на повагонную поставку. Ранее доставка металла осуществлялась автотранспортом, что является более дорогостоящим.

Так, по плану увеличение стоимости израсходованных сырья и материалов должно было составлять 740 руб. и обосновано тем, что предприятие должно было освоить выпуск отдельных полуфабрикатов самостоятельно, а не закупать их со стороны. Фактически увеличение расходов на сырье и материалы составило 1 074 руб., что связано с не предусмотренным в плановом задании удорожанием стоимости металла в отчетном году. Превышение фактической себестоимости сырья и материалов над плановой составило 334 руб. или 7,7%.

По расходам на покупные изделия и полуфабрикаты плановое задание по снижению их стоимости по вышеуказанной причине (отказ от закупки и собственное изготовление отдельных деталей) составляло 975 руб., фактически снижение затрат составило 959 руб. Плановое задание не выполнено на 16 руб. по причине удорожания стоимости оставшихся закупаемых со стороны деталей на изготовление изделия.

По расходам на основную заработную плату с отчислениями производственных рабочих увеличение себестоимости должно было составить 52 руб. по причине увеличения трудоемкости изготовления при переходе на

собственное изготовление отдельных деталей. Фактически увеличение составило 112 руб. по причине, не предусмотренной в плане индексации заработной платы работникам предприятия. Плановое задание не выполнено на 60 руб.

По общепроизводственным расходам допущен перерасход к плану 72 руб., по общехозяйственным расходам перерасход составил 9 руб. Данные расходы являются косвенными и могут быть распределены между объектами калькулирования лишь условно. При этом база для распределения косвенных расходов определяется исходя из технологии и организации производства и характера выпускаемой продукции. В данном случае за базу распределения была принята прямая заработная плата производственных рабочих.

Внепроизводственные расходы превысили плановый уровень на 30 руб. Причиной превышения послужили изменения условий поставки.

Таким образом, важнейшее значение в борьбе за снижение себестоимости продукции имеет *соблюдение строжайшего режима экономии* на всех участках производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Последовательное осуществление на предприятиях режима экономии проявляется прежде всего в уменьшении затрат материальных ресурсов на единицу продукции, сокращении расходов по обслуживанию производства и управлению, в ликвидации потерь от брака и других непроизводительных расходов.

Машиностроительное предприятие имеет возможность влиять на величину затрат материальных ресурсов, начиная с их *заготовки*. Основным условием снижения затрат сырья и материалов на производство единицы продукции является улучшение конструкций изделий и совершенствование технологии производства, использование прогрессивных видов материалов, внедрение технически обоснованных норм расходов материальных ценностей.

Сокращение затрат на обслуживание производства и управление также снижает себестоимость продукции. Размер этих затрат на единицу продукции зависит не только от объема выпуска продукции, но и от их аб-

солютной суммы. Чем меньше сумма цеховых и общезаводских расходов в целом по предприятию, тем при прочих равных условиях ниже себестоимость каждого изделия.

Резервы сокращения цеховых и общезаводских расходов заключаются, прежде всего, в упрощении и удешевлении аппарата управления, в экономии на управленческих расходах. В состав таких расходов в значительной степени включается также заработная плата вспомогательных и подсобных рабочих. Проведение мероприятий по механизации вспомогательных и подсобных работ приводит к сокращению численности рабочих, занятых на этих работах, а, следовательно, и к экономии цеховых и общезаводских расходов. Важнейшее значение при этом имеют автоматизация и механизация производственных процессов, сокращение удельного веса затрат ручного труда в производстве.

Масштабы выявления и использования резервов снижения себестоимости продукции во многом зависят от того, как *поставлена работа* по изучению и внедрению опыта, имеющегося на других предприятиях.

Таким образом, для достижения целей организации по снижению себестоимости необходимо решить следующие задачи:

- исследовать и обосновать классификацию затрат для целей контроля и регу-

лирования себестоимости выпускаемой продукции;

- обозначить и обосновать альтернативные пути совершенствования оперативного учета затрат;
- разработать эффективную систему планирования затрат;
- своевременно проводить организационно-технических мероприятий и соблюдения технологического процесса.
- рационально использовать ресурсы и строго соблюдать режим экономии затрат с начала изготовления продукции;
- разработать рекомендации по внедрению модели оперативного управления затратами и совершенствованию методов оперативного анализа себестоимости.

Список литературы:

1. Бердникова Т. Б. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия: учеб. Пособие / М.: ИНФРА-М, 2011. – 215 с.
2. Бороненкова С. А. Управленческий анализ / М.: Финансы и статистика, 2007. – 384 с.
3. www.rusconsult.ru.

ОЦЕКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

А. Г. Овчаренко, Ю. Р. Андрощук

Бийский технологический институт,
г. Бийск, Россия

Сегодня процесс развития образования и общества ставит перед образовательными учреждениями задачу по созданию механизмов, обеспечивающих качество оказываемых образовательных услуг.

Еще в 2002 году в Бийском технологическом институте (филиале) Алтайского государственного технического университета было принято решение о разработке и внедрении Системы менеджмента качества (СМК) на основе ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Модель СМК в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-2001 нашла наибольшее применение в вузах, по причине своей универсальности применимости для любых организаций, в том числе и вузов.

Однако, на фоне широкого распространения в вузах России работ по созданию, внедрению и сертификации СМК, основной проблемой является чаще всего формальное функционирование СМК. В связи с этим возникает вопрос об оценке воздействия СМК на результаты деятельности вузов и качество предоставляемых образовательных услуг.

В свою очередь органы государственной аккредитации и общественные организации по аккредитации вынуждены оценивать качество образовательных услуг через установление соответствия результатов деятельности учебного заведения аккредитационным показателям и лишь отмечать факт наличия СМК, а не оценивать эффективность ее функционирования.

Анализ существующих методов оценки эффективности функционирования СМК в вузах позволил сделать следующие выводы:

1 Для оценки СМК разработана методика оценки результативности образовательных организаций, основанная на том, что качество образования есть результат двух составляющих: качество результата образовательного процесса и системы его обеспечивающей [1].

2 Применение системы сбалансированных показателей, способствующее всесто-

ронней оценке эффективности и результативности системы управления вузом, имеет некоторую сложность в определении финансового показателя деятельности вуза и оценке его эффективности [2].

3 Оценка СМК, основанная на бельгийско-нидерландской модели улучшения качества высшего образования, производится путем оценки уровней совершенства всех критериев и подкритериев модели СМК [3].

4 Задачей государственной аккредитации является, прежде всего, контроль качества со стороны органов управления образованием за образовательной деятельностью вузов и соответствием качества подготовки специалистов минимальным требованиям ГОС ВПО РФ [4].

5 Задачи общественной аккредитации, осуществляемой со стороны профессионального сообщества, – выявление передового опыта в подготовке специалистов и его распространение, создание в вузах механизмов непрерывного совершенствования образовательных программ, разработка и внедрение стандартов, обеспечивающих развитие российского инженерного образования и международное признание его качества. При этом важнейшим показателем аккредитации является «Эффективность внутривузовской системы обеспечения качества образования» [5].

Согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2008, «эффективность – это связь между достигнутыми результатами и использованными ресурсами». Многие специалисты полагают, что эффективность СМК следует определять, прежде всего, как экономическую эффективность, путем установления связи между внедрением СМК и финансовыми показателями деятельности организации. Однако оценить финансовые показатели деятельности вуза достаточно сложно, и вряд ли в данном случае соотношение результатов и финансовых затрат позволит получить достаточно объективную оценку эффективности СМК.

За основу для разработки методики оценки эффективности СМК авторами выбрана модель делового совершенствования EFQM Excellence Model, предложенная Европейским фондом управления качеством, которая включает достаточно широкий спектр возможных вариантов технологических приемов, легко адаптируемых к конкретным условиям их применения. Деятельность организации, согласно данной модели, оценивается по девяти критериям: пять из которых оценивают возможности организации и четыре критерия – результаты деятельности [6].

С учетом особенностей деятельности вузов, в качестве ресурсов вуза в разработанной авторами статьи методике были приняты возможности, которыми обладает вуз, а в качестве результатов – результаты в области качества.

Критерии методики разрабатывались на основе анализа ряда моделей, а также с учетом процедур государственной и общественной аккредитаций, поскольку в ходе исследований по созданию методики оценки эффективности СМК вуза, авторы решают задачу объединения (интеграции) оценки эффективности СМК и процедуры аккредитации вуза.

В процессе работы по созданию критериев, были проанализированы следующие модели и процедуры оценки:

- Модель EFQM;
- Модель конкурса Рособнадзора «Системы обеспечения качества подготовки специалистов»;
- Модель системы управления качеством образования в вузах (модель ЛЭТИ);
- Критерии государственной аккредитации;
- Критерии Агентства по общественному контролю качества образования и развития карьеры (АККОРК) для качества и гарантий качества образования основной образовательной программы [5];
- Критерии аккредитации основных образовательных программ, проводимой Ассоциацией инженерного образования России (АИОР) [7];

Полученная модель оценки представлена на рисунке 1. При оценке эффективности

СМК вуза и деятельности вуза в целом, главным показателем объективности результатов является набор критериев, по которым будет проводиться оценка.

Для создания подкритериев, составляющих критерии модели, представленной на рисунке 1, применена методология IDEF0. Такая декомпозиция критериев и составляющих их подкритериев оценки дает возможность детализировать каждый из них и облегчить задачу в формировании механизма оценки. Каждый из критериев модели рассматривается как функциональный блок с соответствующими входами и выходами, а также управлением и механизмами исполнения.

На рисунке 2 представлена декомпозиция одного из подкритериев «Лидеры определяют предназначение организации, цель и пути развития организации».

Для оценки по представленной методике, необходимо оценить количественно каждый из составляющих подкритериев группы «Возможности» и группы «Результаты». Идеальное соотношение критериев группы «возможности» и критериев группы «результаты» – это 45 к 55 (0,818), с учетом, что все составляющие подкритерии имеют одинаковое максимальное значение. Таким образом, определять эффективность деятельности вуза можно по степени приближенности к данной величине 0,818.

В Бийском технологическом институте (филиале) Алтайского государственного технического университета проводилось апробирование методики, пока без учета новых аккредитационных показателей, было получено значение 0,793. В соответствии с полученным результатом, был сделан вывод о том, что, исходя из тех возможностей, которыми обладает вуз, СМК Бийского технологического института функционирует достаточно эффективно.

Данная методика дает возможность улучшать конкретные критерии группы «Возможности» и, оценивая группу критериев «Результаты», контролировать влияние конкретной возможности на результат. Следовательно, возникает процесс постоянного улучшения СМК как реализация цикла Э.Деминга PDCA.

ОЦЕКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

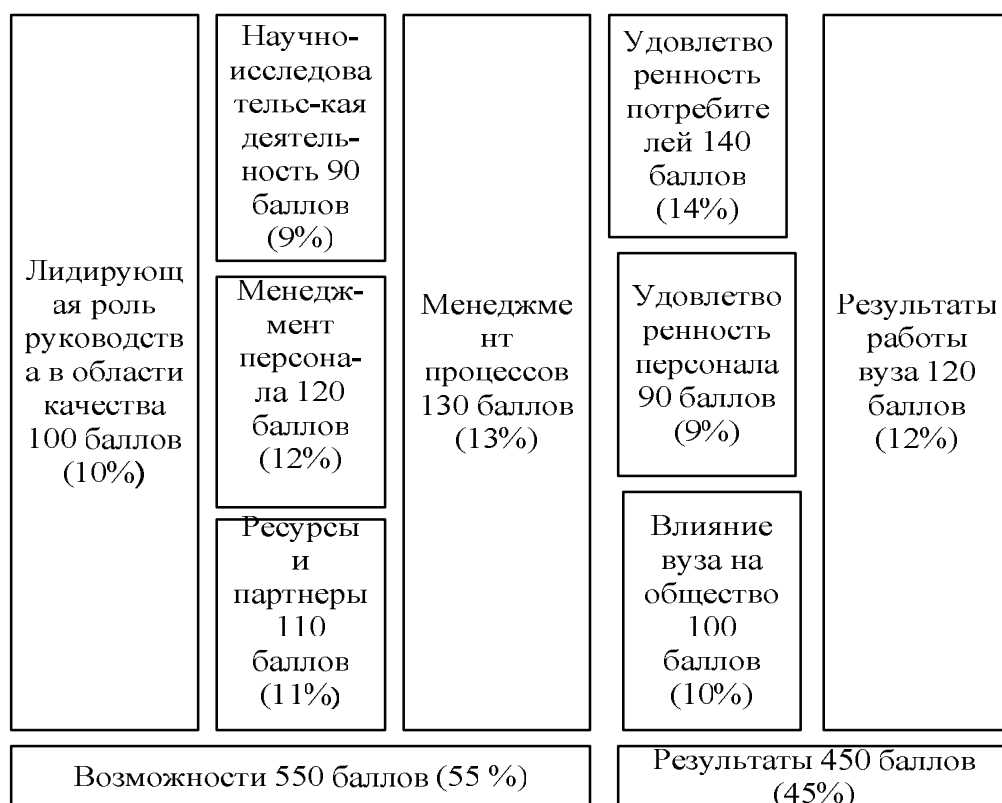


Рисунок 1 – Модель оценки деятельности вуза с учетом критериев аккредитации

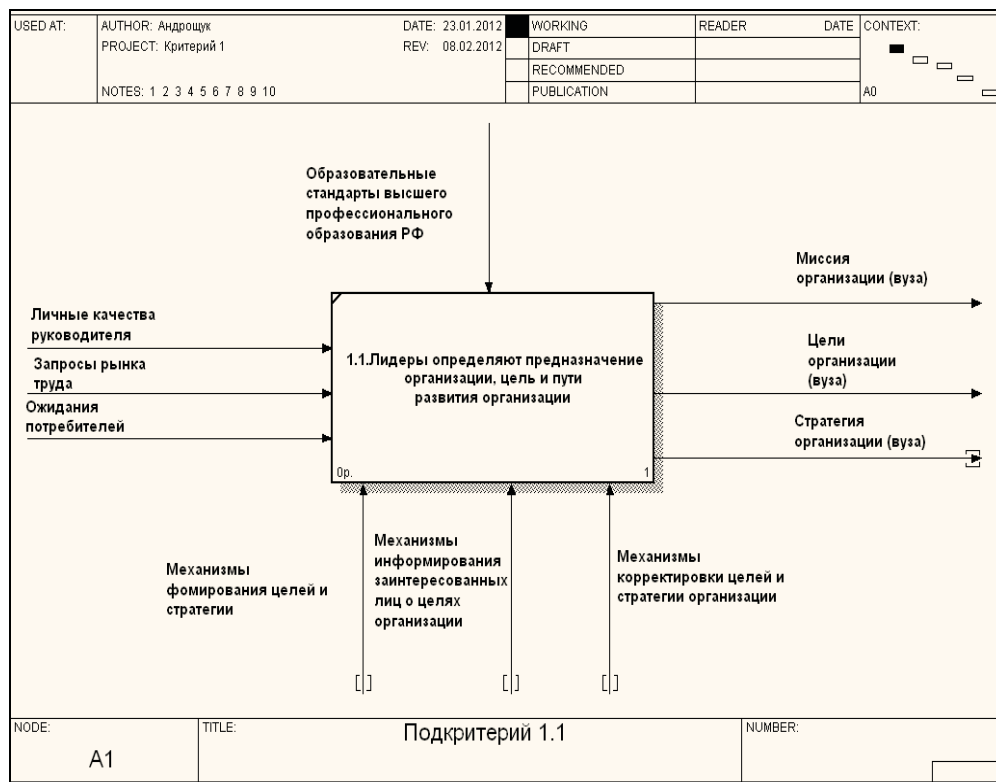


Рисунок 2 – Лидеры определяют предназначение организации, цель и пути развития организации.

Авторами ведется работа по созданию методики оценки эффективности СМК вуза, которая отвечала бы требованиям аккредитации, и в тоже время могла бы быть применена как методика самооценки вуза. Такая методика существенно снизит затраты на проведение дублирующих друг друга оценок, упростит процедуры аккредитации общественно-профессиональными организациями и позволит получать более объективную картину состояния вуза.

Список литературы:

1. Левшина В.В., Шимохина В.В. Оценка результативности системы менеджмента качества образовательной организации // Проблемы современной экономики. – 2007.- №23. - С.18 – 24.
2. Карловский А.В. Формирование системы показателей деятельности высшего учебного заведения // Качество, инновации, образование. – 2008. - №9. - С.16 – 23.
3. Степанов С.А. Модель и критерии эффективности внутривузовской системы менеджмента качества // Качество, инновации, образование. – 2004. - №1. - С.30 – 37.
4. Приказ Рособрнадзора от 30.09.2005 N 1938 (ред. от 25.04.2008) "Об утверждении показателей деятельности и критериев государственной аккредитации высших учебных заведений" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.10.2005 N 7092)
5. АККОРК – Электрон. дан. – М: «АККОРК», 2011. – Режим доступа. <http://www.akkork.ru/> свободный. – Загл. с экрана. – Яз. Рус
6. Маслов, Д.В. От качества к совершенству. Полезная модель EFQM/ Д.В. Маслов.- М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. – 152 с.
7. АИОР Электрон. дан. – М: «АИОР», 2012. – Режим доступа. <http://www.aeer.ru/> свободный. – Загл. с экрана. – Яз. Рус.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ И ИНТЕРНЕТ

М. С. Канчер, А. Г. Казанцев, А. В. Вдовин

Бийский технологический институт,
г. Бийск, Россия

Развитие Интернет технологий заложили основы современного качественного дистанционного образования. На сегодняшний день ведущие вузы используют в учебном процессе современные информационно-образовательные Интернет технологии, позволяя сделать более доступным высшее образование. Современный инженер должен иметь определенные знания, уметь активно действовать, используя информационные ресурсы, гибко адаптироваться к изменяющимся технологиям и быстро принимать решения. Всему этому необходимо учить, начиная с первого курса. Совершенно очевидно, что используя традиционные, сложившиеся за многие годы, методы подготовки специалистов решить эти проблемы в образовании сегодня очень сложно. В настоящее время возникла необходимость организации процесса обучения на основе современных компьютерных технологий, где в качестве источников информации все шире используются электронные средства и сети Интернет.

В последнее время получают распространение средства «3D-технологий» в Internet, трехмерных объемов, являющихся усовершенствованной электронной моделью, не книжной страницы (как Web-страницы), а детали, узла, оборудования и т.д. 3D-объекты обладают эффектом присутствия: можно выбрать угол обзора объектов, можно перемещаться от одного объекта к другому и т.п.. 3D-модель в плане организации дистанционного образования можно рассматривать как дальнейшее усовершенствование способов репрезентации учебного материала, значительно стимулирующих познавательный интерес. Расширение виртуальных возможностей и внедрение в такую модель принципов, свойственных гипертексту, позволяет успешно использовать её в образовательных целях.



Рисунок 1 – Вид главной страницы сайта www.sl3d.ru Справочное электронное пособие

Ориентация на сеть распределенных образовательных ресурсов нового поколения, которые могут применяться в режиме коллективного доступа многих учебных заведений к единым образовательным ресурсам по сети Интернет, послужила толчком к созданию справочного электронного издания «Машиностроение. Толковый словарь терминов» (авторы Казанцев А.Г., Косицын Ю.Н.). Данная система предоставляет студентам круглосуточный доступ к учебным материалам (www.sl3d.ru) (см.рисунок 1). Такой недостаток дистанционного образования, как отсутствие личного контакта с преподавателем, компенсируется отправкой сообщений, E-mail перепиской.

Сайт также является справочным электронным ресурсом по терминологии в области машиностроения и упрощает подготовку и проведение занятий в области машиностроительных дисциплин, расширяет возможности по использованию справочной информации с домашнего компьютера при самоподготовке студентов. Дистанционное образование одно из самых популярных направлений развития

системы образования во всем мире. При помощи Интернета абсолютно любой человек может получить дистанционное образование в любой точке планеты. Гибкая система организации дистанционного образования, позволяющая приобретать знания там, когда и где это удобно студенту.



Рисунок 2 – Внешний вид диска справочного электронного пособия

Важно, чтобы студент не только овладел определенной суммой знаний, но и научился самостоятельно их приобретать, работать с информацией, овладел способами познавательной деятельности, которые в дальнейшем мог бы применять в условиях непрерывного самообразования. Самостоятельное приобретение знаний не должно носить пассивный характер, напротив, студент с самого начала должен быть вовлечен в активную познавательную деятельность, не ограничивающуюся овладением знаниями, но непременно предусматривающую их применение для решения разнообразных проблем своей практической деятельности.

Следует отметить, что использование специальных информационных ресурсов открывает ряд неоспоримых преимуществ:

- студент имеет возможность получить высшее образование, не уезжая из семьи, оставаясь под ее контролем и опекой;
- при переезде семьи из города в город, студент имеет возможность продолжить обучение без перерывов и изменения сроков обучения; возможность обучения по индивидуальному временному графику, планируя свое обучение не только в течение семестра, но и в течение дня;
- создаются предпосылки для обеспечения единой базовой подготовки учащихся независимо от территориального расположения

учебного заведения;

- повышается наукоемкость, результативность и дидактическая эффективность образовательных ресурсов за счет активного использования современных средств вычислительной техники;
- значительно сокращаются затраты на создание, поддержку и развитие образовательных ресурсов за счет исключения их массового тиражирования;
- становятся принципиально доступными многим образовательным учреждениям или отдельным студентам уникальные образовательные ресурсы;
- возможность обучаться по качественным учебным материалам, разработанным квалифицированным профессорско-преподавательским составом, доставленным к месту обучения по высокоскоростным спутниковым каналам связи;
- возможность прямого общения (E-mail перепиской) с профессорами и преподавателями, специалистами в узких областях знаний;
- освоение студентами современных информационных технологий и оборудования, максимально приближенных к тем, с которыми они столкнутся в своей профессиональной деятельности.

Также стоит отметить, что с 2008 года в БТИ АлтГТУ для студентов направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», ряд преподавателей во время чтения лекций в области машиностроения для более полного освещения изучаемого материала используют для иллюстрации различных машиностроительных объектов и процессов справочное электронное издание «Машиностроение. Толковый словарь терминов» (авт. Казанцев А.Г., Косицын Ю.Н.) (см. рисунок 2). Данный ресурс позволяет дать толкование основным машиностроительным терминам и главное оперативно привести иллюстрации к ним на современном визуальном уровне (3D, видео и т.д.).

Использование в образовательном процессе электронного словаря и сайта способствует совершенствованию образования и повышению качества подготовки студентов. Ресурс может быть полезен не только студентам технических вузов, но и инженерным работникам.

Только широкое внедрение новых технологий и использование специальных информационных ресурсов позволит изменить общепринятые установки и представления в образовании, а также повысить качество подготовки специалистов в области машиностроения.

ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО АППАРАТА

Д. И. Щербинина

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Модернизация основных производственных фондов является ведущим направлением использования инвестиционных вложений в последние годы. Большая часть средств - инвестиции в основной капитал. Начиная с 2007 года, растут затраты на НИОКР, с 0,3% до 0,8% в 2011 году.

В 2011 году на технологические инновации было направлено 2852,2 млн. руб., что составляет 99% от всего объема средств потраченных на инновации в крае за прошлый год. При этом на приобретение машин и оборудования было израсходовано 954 млн. руб., или 33%, что в свою очередь больше предыдущего года на 35,5%, однако, меньше среднего показателя по России почти в 2 раза. На приобретение новых технологий производства было потрачено всего 7 млн. руб., что в 3,5 раза больше 2010 года, но почти в 3 раза меньше, чем в среднем по стране. Преимущественно новые технологии используются в пищевом производстве, также несколько нововведений было реализовано в машиностроении и приборостроении. Однако, в пищевом производстве, новые технологии применяются только в использовании нового и усовершенствованного оборудования, в машиностроении также используется и результаты исследований и разработок, в приборостроении - ноу-хау. Достаточно большая часть инвестиций уходит на приобретение новейших программных средств, 20,3 млн. руб. Для сравнения, в 2006 году это сумма была в 2 раза меньше.

Удельный вес инвестиций на инновации в обрабатывающем производстве в 2011 году в крае составил 46,5% или 1326,4 млн. руб., что меньше, чем в среднем по стране в полтора раза. Наибольший объем инвестиций направлен на инновации в пищевом производстве 62%. Второй по потреблению средств является химическая промышленность - 14%. Необходимо отметить, что в це-

лом по России данные отрасли не столь привлекательны для инвесторов, наибольшие средства в обрабатывающей промышленности выделяются на инновации в металлургическом производстве и производстве кокса и нефтепродуктов. В 2011 году в крае было выделено 32,1 млн. руб. на инновации в машиностроении, что составило 1,1% от всего объема инвестиций, понятно, что данной суммы для отрасли требующей значительных вложений недостаточно. Однако, существующая ситуация в крае соответствует и общей обстановке по стране, т.к. в последние годы эта капиталоемкая отрасль не получает достаточного финансирования, во многих регионах объем инвестиций не только не увеличивается, а напротив сокращается.

Половина инноваций производственного аппарата осуществляется за счет собственных средств организаций, только предприятия пищевой, текстильной и химической промышленности в 2011 году получили поддержку из внешних источников. 635,3 млн. руб. на инновации в крае было выделено из федерального бюджета, что составило 22% всех средств. Также в 2011 году на технологические инновации были выделены средства из бюджета края, сумма незначительная, однако, в 2010 году из данного источника не было получено средств вообще.

Наибольший объем инвестиций на технологические инновации, сосредоточен в городских округах: 37% в Барнаульском городском округе и 33% в Бийском. На долю муниципальных районов в 2011 году пришлось 26% всех средств, основная их часть - 70% была реализована в Михайловском районе, 24% в Павловском, а остальная часть в Благовещенском, Волчихинском, Кулундинском, Первомайском и Тальменском муниципальных районах. При этом 71% средств федерального бюджета реализованы в Бийском городском округе, 16% в Барнаульском и 13%

в Славгородском. Из бюджета края были оплачены инновации, осуществленные только в г.Барнауле, муниципальные районы из государственных бюджетов разных уровней поддержки в прошедшем году, также как и в предыдущих, не получили.

Ежегодно формируется региональный заказ на научно-исследовательские работы. Дополнительно в регион привлекаются ресурсы федеральных специализированных фондов, работающих по принципам конкурсного отбора проектов. С Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ) и Российским гуманитарным научным фондом (РГНФ) работа ведется в рамках заключенных соглашений, финансирование исследований осуществляется на паритетной основе. Ежегодный объем финансирования проектов ученых Алтайского края по каждому из соглашений составляет 8 млн. рублей.

В рамках приоритетных для государства направлений науки и техники в крае ведутся исследования в области лазерных и электронно-ионно-плазменных технологий, полимеров и композитов, синтеза лекарственных средств и пищевых добавок, живых систем, технологий энергосбережения и энергонасыщенных материалов.

Таким образом, каждый год объем инвестиций в сферу инноваций в крае растет, уже реализуются и разрабатываются новые проекты. Однако финансирование так и остается недостаточным. Обновление парка машин и оборудования в полной мере не происходит, предприятия районов края осуществляют внедрение инноваций только за счет собственных средств. На долю обрабатывающего производства в Алтайском крае приходится

всего 1/5 инвестиционных ресурсов, что явно недостаточно для полномасштабной технической и технологической модернизации промышленности. Необходимо улучшить инвестиционный климат региона для привлечения больших объемов финансовых и материальных ресурсов на реализацию инновационного потенциала края и выполнение инновационных проектов и программ.

Список литературы:

1. В. А. Бородин. Разработка экономических и организационных механизмов управления развитием инновационного комплекса Алтайского края. Отчет о научно-исследовательской работе./ Бородин В. А. – Б. 2011. – с. 159.
2. Инновационная деятельность организации Алтайского края. 2006: Стат. бюл./ Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю – Б. 2007. – с. 104.
3. Инновационная деятельность организации Алтайского края. 2009: Стат. бюл./ Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю – Б. 2010. – с. 100.
4. Инновационная деятельность организации Алтайского края. 2010: Стат. бюл./ Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю – Б. 2011. – с. 88.
5. Инновационная деятельность организации Алтайского края. 2010: Стат. бюл./ Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю – Б. 2012. – с. 98.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Е. В. Останина, М. Т. Казарян

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

Машиностроительная отрасль является одной из ведущих отраслей экономики России. В настоящее время развитие машиностроительной отрасли происходит за счет внедрения современных технологий управления, модернизации основных средств, слияний и поглощений и ввода в строй новых высокотехнологичных производств, соответствующих высочайшим международным требованиям.

Рост конкуренции на рынке, а также работа машиностроительных предприятий в условиях нестабильности, приводит к необходимости постоянно снижать затраты на производство продукции, изыскивая потенциальные резервы на всех стадиях производства и продажи продукции.

С целью содействия развития российского машиностроения необходимо создание предприятиями машиностроения служб внутреннего аудита. Внутренний аудит является одной из составляющих эффективного функционирования и управления машиностроительного предприятия.

Внутренний аудит может стать инструментом выявления возможностей для повышения эффективности деятельности любого предприятия.

Объекты внутреннего аудита – вопросы качества выпускаемой продукции, трудовой дисциплины, безопасности информации, надежности бухгалтерской (финансовой) отчетности, эффективности хозяйственной деятельности и другие. Внутренний аудит осуществляется внутри организации её подразделением – службой внутреннего аудита (СВА).

Задачами внутреннего аудита является оценка системы внутреннего контроля в части достоверности финансовой информации, соблюдения законодательства, сохранности активов, эффективности и результативности деятельности отдельных функций и подразделений.

В частности, задачами внутреннего аудита машиностроительных предприятий

могут быть:

- разработка бизнес-плана, технико-экономического обоснования и консультационного сопровождения инвестиционных проектов;
- разработка новых технологических процессов;
- разработка инновационных методов и продуктов для улучшения бизнес-процессов и результатов деятельности;
- разработка комплексной программы мер по выводу из кризиса группы активов предприятия и юридическое сопровождение реструктуризации;
- внутренний контроль за уровнем затрат по местам их возникновения и центрам ответственности, что является показателем качества управления для машиностроительных предприятий;
- диагностика бизнеса: анализ финансового состояния и оценка инвестиционной привлекательности предприятия при проведении сделки по слиянию/поглощению;
- экологическое консультирование;
- экспертиза управленческих информационных систем предприятия;
- проведение семинаров и тренингов для финансово-экономической и бухгалтерской службы предприятия;
- выявление налоговых рисков, связанных с внедрением новых направлений деятельности, заключением нетиповых договоров;
- контроль однотипности, своевременности и полноты отражения оборотов в бухгалтерском учете обособленных подразделений и головной организации, компаний, входящих в одну группу (холдинг);
- контроль правильности исчисления и уплаты налогов;
- проверка и экспертиза ведения финансовой (бухгалтерской) отчетности по российским и международным стандартам и другие.

Внутренний аудит помогает предприятию достичь поставленных целей, используя систематизированный и последовательный

подход к оценке и повышению эффективности процессов управления рисками, контроля и корпоративного управления. Цели службы внутреннего аудита меняются в зависимости от требований руководства. Функции службы внутреннего аудита включают мониторинг адекватности эффективности системы внутреннего контроля.

Создавая СВА, руководство предприятия должно с самого начала определить степень ее независимости. От этого зависит эффективность работы внутренних аудиторов. Независимость внутреннего аудитора – это возможность свободно и объективно выполнять возложенные на него обязанности и беспристрастно выражать свое мнение. Независимость достигается с помощью соответствующего организационного статуса СВА. При этом директор СВА должен подчиняться непосредственно лицу, которое может обеспечить независимость действий аудиторов (включая доступ к любой информации) и принять адекватные меры по выполнению аудиторских рекомендаций.

Наиболее независимой СВА будет в том случае, если она подчиняется собственнику и отчетывается о своей деятельности только перед собственником. Предпочтительно, чтобы в структуре организации был Комитет по аудиту и его председатель входил в состав совета директоров. Руководитель СВА подчиняется Комитету по аудиту. Если Комитет по аудиту отсутствует, его функции возлагаются на совет директоров. В этом случае руководитель СВА подчиняется непосредственно совету директоров.

Для создания эффективной СВА необходимы следующие элементы:

- определение целей и задач, соответствующих целям деятельности машиностроительного предприятия;
- адекватная структура службы;
- применение современных технологий;
- создание методологической базы;
- обеспечение квалифицированным персоналом;
- оценка эффективности деятельности службы.

Структура службы и численность персонала определяется каждым предприятием самостоятельно в соответствии с организационной и гео-графической структурой; целями и задачами, поставленными руководством перед службой; обеспеченностью финансовыми и трудовыми ресурсами.

В СВА машиностроительного предприятия следует принимать работников, имеющих:

- а) финансовое, экономическое или аудиторское образование;
- б) опыт менеджерской работы, предполагающий умение общаться с людьми и представлять приоритеты;
- в) базовые знания в различных функциональных областях машиностроения (производство, маркетинг, логистика, продажи, закупки, информационные технологии и т.д.).

В соответствии с организационной и гео-графической структурой возможны следующие варианты структуры СВА, каждая из которых имеет как преимущества, так и недостатки:

1. Централизованная. Первый вариант – корпоративная служба организована в головной организации, службы на местах отсутствуют. Такая структура обеспечивает наибольшую независимость службы от руководства на местах, методологическое единство проверок, управляемость структуры. В то же время недостатками этой системы являются недостаточность знания специфики деятельности подразделений и меньшая оперативность контроля. Следует также учитывать возрастание расходов на командировки.

Второй вариант – сотрудники службы находятся в филиалах и дочерних обществах, но подчиняются руководителю СВА головной организации. В этом случае улучшается знание специфики подразделений, увеличивается возможность оперативного контроля, уменьшаются расходы на командировки. Но при этом увеличивается риск потери независимости, так как директора этих подразделений имеют возможность влиять на работу внутренних аудиторов, а также снижается управляемость структуры.

Третий вариант – для холдинговой структуры при нахождении сотрудников СВА в организациях, входящих в холдинг, но подчиняющихся единой корпоративной службе, характерны такие же преимущества и недостатки, как и для второго варианта.

2. Децентрализованная. Сотрудники службы находятся:

- в филиалах и дочерних обществах и подчиняются руководству этих структур;
- в каждой организации, входящей в холдинг.

В этом случае обеспечивается макси-

мальное знание специфики деятельности, оперативность контроля, минимальные расходы на командировки. Среди недостатков – отсутствие независимости и единой методологической базы.

3. Иерархическая. Иерархическая структура СВА предусматривает наличие как корпоративной СВА в головной организации, так и наличие самостоятельных служб в филиалах, дочерних обществах и организациях, входящих в холдинг. Преимущества: независимость корпоративного внутреннего аудита от подразделений и знание специфики подразделений. Недостатки этой структуры: рост издержек на увеличение штата, двойная работа, различия в методологической базе.

Создание СВА является многоплановым процессом, который происходит по следующим этапам:

- 1) определение системы целей создания СВА;
- 2) определение статуса СВА и ее основных функций;
- 3) выявление пользователей услуг СВА и заинтересованных в результатах ее работы сторон;
- 4) формирование команды для реализации проекта создания СВА;
- 5) формирование внутренней структуры СВА;
- 6) разработка нормативных документов и регламентов;
- 7) разработка и согласование схемы взаимодействия СВА с другими функциональными и хозяйственными подразделениями;
- 8) разработка приоритетных направлений и плана работы СВА;
- 9) формирование кадрового состава.

При формировании СВА необходимо решить проблемы отсутствия нормативной базы деятельности СВА и типовых методик проведения проверок; обеспечения службы необходимыми утвержденными внутренними регламентами для СВА; ответственность руководства за функционирование СВА и за принятие управленческих решений по результатам проверок; организации работы по набору, подготовке и повышению квалификации кадров для СВА; участия службы в оценке рисков.

В случае, если организаторам СВА удастся преодолеть эти сложности, то пред-

приятие получит эффективно функционирующую систему внутреннего контроля, которая не только поможет повысить эффективность системы управления машиностроительного предприятия, но и создаст ряд преимуществ по сравнению с услугами внешних консультантов, такие как: меньшие затраты на создание и содержание СВА; оперативность СВА выше, т.к. можно востребовать результаты их деятельности в любой момент; в работе СВА широко используется потенциал высококвалифицированных специалистов других структурных подразделений предприятия; сотрудники СВА заинтересованы в выявлении и реализации возможностей для повышения эффективности деятельности своего предприятия, поскольку являются его штатными работниками и должны постоянно доказывать высокую результативность своей деятельности.

Выявляя резервы повышения эффективности использования материальных и трудовых ресурсов, СВА может разработать мероприятия по снижению себестоимости выпускаемой продукции, что приведет к повышению финансовой устойчивости машиностроительного предприятия и его конкурентоспособности.

Усиление функций контроля, в частности, путем создания СВА позволяет собственникам машиностроительного предприятия своевременно принимать меры по дальнейшему развитию бизнеса, а менеджерам своевременно выявлять зоны максимального риска.

Список литературы:

1. Иванова, Т. Н. Теоретические основы создания и функционирования системы внутреннего контроля. - Вестник профессиональных бухгалтеров, № 1-3/2011.
2. Б. Соколов. Организация внутреннего аудита, Аудит и налогообложение №1 (157), 2009.
3. Сонин, А. М. «Внутренний аудит: Современный подход». – М. : Финансы и статистика, 2007. – 64 с.
4. Соколов, Б. Н. «Внутренний контроль в коммерческой организации». – М. : Альянс Пресс, 2006 – 250 с.
5. Б. Соколов. Внутренний контроль и аудит, Аудит и налогообложение № 12/2008.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАК АНАЛИТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ РУКОВОДИТЕЛЯ В ФИРМЕ

Н. В. Тюменцева

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Успешная деятельность предприятия в современных условиях невозможна без информационного обеспечения по вопросам, относящимся непосредственно к деятельности предприятия.

За последние несколько лет информационно-аналитическая деятельность в российских государственных и коммерческих учреждениях получила существенное развитие. В немалой степени успех любого дела зависит от того объема информации, которым владеет лицо, принимающее решение.

Генри Форд говорил: «Основа успеха в бизнесе – своевременно полученная, правильно понятая и умело использованная информация». Важно не просто получить информацию, но и иметь ее в таком виде, который бы обеспечивал ее однозначную интерпретацию и был нагляден для восприятия. На первый взгляд, информации в окружающем мире настолько много, что, кажется, недостатка в ней не испытывает никто. Однако нынешнее состояние экономики в значительной степени связано с острой информационной недостаточностью. Для принятия адекватных ситуации решений руководителя на всех уровнях управления нужна оперативная, доступная и качественная информация. Информация должна поступать к руководителю в тщательно обработанном и подготовленном для анализа виде.

Интуиции, личного опыта руководителя и размеров капитала уже мало для того, чтобы быть первым. Для принятия любого грамотного управленческого решения в условиях неопределенности и риска необходимо постоянно держать под контролем различные аспекты финансово-хозяйственной деятельности, будь то торговля, производство или предоставление каких-либо услуг.

В настоящее время понятие информационной системы настолько размыто, что под информационной системой может быть опре-

делено любое понятие от компьютерной программы, помогающей автоматизировать какой-то процесс, до сложившегося набора правил и процедур, регламентирующих действия сотрудников компании по организации процессов создания и использования информации в нужном для компании виде.

Компанией невозможно эффективно управлять без оперативной, надежной, своевременной и достоверной информации, которая является основой процесса управления. Качество управления во многом зависит от совершенства работы с информацией и требует четкой организации таких процессов, как ее сбор, анализ и обработка. Однако, чтобы отбирать только необходимую информацию для управления, компания должна уметь определять важность или второстепенность обрабатываемой информации.

Рассмотрим на примере две области управления, где руководитель использует информационные системы, как инструмент для достижения своих целей в фирме.

Например, если областью управления являются финансы компании, то постановка целей и планирование могут выглядеть как определение перечня показателей, установленных на определенный период в виде бюджетов (планов на период). Информация о значениях данных показателей должна быть доведена до исполнительной структуры (центров финансовой ответственности), которая будет исполнять эти бюджеты. Результаты выполнения хозяйственных операций исполнительной структурой в виде структурированной информации должны учитываться и накапливаться в информационной системе (учет фактических данных).

Накопленная фактическая информация сравнивается с плановой и анализируются. В результате анализа руководитель может установить, например, получил ли он запланированную прибыль или были превышены

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАК АНАЛИТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ РУКОВОДИТЕЛЯ В ФИРМЕ

расходы и по какой статье. Для реализации подобного управления финансами необходима информационная система, поддерживающая данный процесс, т.е. информационная система с функционалом бюджетного управления.

Если областью управления являются продажи, то в результате постановки целей, например, могут быть сформулированы такие показатели, как объемы продаж, доли рынка, проценты узнаваемости продуктов (брендов), уровни лояльности покупателей и т.п. Доведенные до маркетинговых и коммерческих структур цели должны быть преобразованы в планы мероприятий, которые будут реализовываться руководителем. Результаты работы (продажи, маркетинговые измерения и т.п.) фиксируются в информационной системе, руководитель анализирует запланированные показатели. На основе результатов анализа он формирует дальнейшие планы работы.

В помощь руководителю как аналитический инструмент системы может выступать одна из успешных информационных систем - «1С:Предприятие 8». Она используется практически в каждой торговой фирме (например, сеть салонов женской одежды «Club Donna»).

В ней реализованы такие мощные аналитические инструменты руководителя, как «Центр антикризисного управления», «Рапорт руководителю» и «Монитор эффективности».

Управление финансами» и «1С:Предприятие 8. Бухгалтерия организации» является наличие аналитического инструмента «Центр антикризисного управления», позволяющего руководству средней и малой компании самостоятельно анализировать экономическую обстановку на предприятии.

Руководителю предприятия становятся доступны оперативные данные о состоянии дел в организации. К оперативным данным, выводимым программой на рабочий стол руководителя, относятся сведения об остатках и поступлениях денежных средств на текущую дату, а также оборотах за сегодняшний день. Наряду с данными о движении денежных средств выводятся сведения о продажах, задолженности покупателей и оборотных средствах предприятия. Более подробную информацию о состоянии дел на предприятии предоставляют наборы отчетов, входящие в состав «Центра антикризисного управления».

Для удобства работы отчет собраны в четыре группы: «Общие показатели», «Денежные средства», «Расчеты с покупателями» и «Расчеты с поставщиками».

«Рапорт руководителю» формирует сведения по объемам продаж, дебиторской и кредиторской задолженности, наличию денежных средств на банковских счетах и в кассе или кассах предприятий,

входящих в состав холдинга, выводит информацию по нехватке персонала в разрезе должностей, формирует и ряд других показателей.

«Монитор эффективности» позволяет решить ряд весьма сложных задач, в частности таких как: своевременное выявление отклонений от плана; выявление негативной динамики и наоборот – точек роста; оперативное уточнение поступающей информации; разработка новых и управление старыми показателями эффективности, что в конечном итоге, как уже говорилось выше, дает полную и достоверную информацию о состоянии дел на предприятии.

Как мы видим, эффективная работа современного руководителя большой компании просто немыслима без грамотного использования средств вычислительной техники и средств аналитики, реализованных в современных программных продуктах.

Таким образом, какой бы областью не требовалось управлять в рамках системы управления, наличие соответствующей информационной управленческой системы является необходимым условием для руководителя, если его целью является успешное ведение бизнеса.

Список литературы:

1. Информационные системы и технологии в экономике Издательство: Финансы и статистика, Т. П. Барановская и др., 416 стр., 2010 г.
2. Информационные технологии управления. Книга 3. Системы управления организацией, М. Ф. Меняев, 464 стр., 2010 г.
3. Обзор программного обеспечения [Электронный ресурс]: сайт - режим доступа <http://search.livetool.ru/>.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЖИМА ОБОЛОЧЕК ПУЛЬ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУСТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

П. В. Верещагин, Т. М. Тушкина, Е. Е. Ермилов

Бийский технологический институт,
г. Бийск, Россия

Современный мир немислим без применения информационных технологий. Повсеместное их внедрение обусловлено темпами развития науки и техники, а также необходимостью оперативного решения сложных трудоёмких задач там, где человек уже не в состоянии это сделать.

Автоматизированное проектирование на сегодняшний день заключается в том, что мощные вычислительные системы берут на себя типовые задачи, алгоритм которых заранее определён разработчиками. Тогда как творческая составляющая процесса разработки, такая как задание параметров для проектирования, принятие проектных решений и т.п., ложится на человека.

Как и во многих других областях науки и техники, автоматизация проектирования нашла своё применение в проектировании технологических процессов изготовления боеприпасов стрелкового оружия. А именно в проектировании технологии обжима оболочек пуль.

Современные пули стрелкового вооружения представляют собой изделие, состоящее из нескольких элементов. Обычно это оболочка пули, сердечник и рубашка. Оболочка пули во многом определяет баллистические и боевые качества пули, поэтому изготавливается с высокой точностью и правильностью формы. Производятся пульные оболочки листовой штамповкой из плоской круглой рондоли, путём комбинированной вытяжки с последующим обжимом оживальной части.

Процессы комбинированной вытяжки и обжима оживальной части могут проектироваться тремя способами:

- По аналогии, на основе действующих технологических процессов. Преимущество – надёжность; недостаток – невозможность полностью использовать возможности по сокращению количества технологических опе-

раций, а в случае ошибки проектирования требуется изготовление нового комплекта инструментов и последующая апробация процесса.

- Использование специализированных пакетов программ по трёхмерному моделированию процессов штамповки. Преимущество – в случае ошибки проектирования требуется только перестроение модели, без затрат на инструмент и апробацию процесса; недостатки – высокая трудоёмкость из-за проектирования методом подбора, очень большая стоимость специализированного программного обеспечения.

- Использование математического моделирования операций обжима оболочек пуль на базе теории листовой штамповки. Преимущества – достаточная точность расчётов и малая их трудоёмкость, возможность минимизации количества технологических операций, бесплатное или недорогое программное обеспечение. Данный способ проектирования представляется наименее затратным, но главным его недостатком является многократный пересчёт количества и параметров технологических операций при определении минимального их числа.

Процесс обжима оболочек пуль зависит от большого количества факторов. Это механические свойства материала, геометрическая форма и размеры готового изделия, форма и размеры заготовки, характер изменения формы и размеров заготовки на каждой операции. Таким образом, оказывается, что процесс обжима оболочки пули – это детерминированный процесс, на который влияет большое число факторов. Использование любого из перечисленных методов проектирования технологии обжима позволяет на каждом цикле проектирования реализовать лишь одно из сочетаний входных факторов процесса, а для нахождения оптимального их сочетания необходим многократный перебор

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЖИМА ОБОЛОЧЕК ПУЛЬ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

этих параметров, что требует или разработки программы многофакторной оптимизации, или творческого участия проектировщика.

Для решения этой проблемы были использованы так называемые искусственные нейронные сети (ИНС), представляющие собой математические модели, построенные по принципу организации биологических нейронных сетей. Другими словами, ИНС – это интеллектуальные системы, способные принимать решения и самообучаться.

Эти особенности нейросетей и были использованы при разработке нового подхода при проектировании технологии обжима оболочек пуль. Было создано приложение, позволяющее проектировщику по исходным данным (геометрические параметры, механические свойства материала) определить необходимое число операций обжима для получения оболочки необходимой формы.

Важной особенностью нейронных сетей является самообучение, а на этапе разработки даже необходимость в обучении. Это обусловлено тем, что искусственные нейронные сети моделируют работу реальных нейронных сетей, т.е. клеток человеческого мозга. И только что созданная нейронная сеть не способна принимать какие-либо решения, ей необходим опыт или, другими словами, обучение.

Обучение нейронных сетей сводится к сбору опытных данных и применению обучающего алгоритма.

В нашем случае, после анализа факто-

ров, влияющих на необходимое число операций обжима оболочек пуль, были выделены следующие начальные параметры: наружный диаметр, толщина дна, толщина стенки, внутренний диаметр и радиус в точке сопряжения, радиус кривизны оживальной части, механические свойства материала.

В качестве обучающего был выбран алгоритм, известный как алгоритм обратного распространения (Back Propagation Algorithm).

Разработанное приложение после прохождения обучения позволяет разработчику ввести свои исходные данные и получить ответ (необходимое количество операций). Данный подход к проектированию технологии обжима оболочек пуль позволяет избавить разработчика от достаточно трудоёмкого этапа – определения количества операций обжима, что, в свою очередь, открывает новые перспективы использования информационных технологий в такой области техники, как проектирование боеприпасов стрелкового вооружения.

Список литературы:

1. Kriesel , D. (2011) A Brief Introduction to Neural Networks
2. Gurney, K. (1997) An Introduction to Neural Networks London: Routledge.
3. Hertz, J., Palmer, R.G., Krogh. A.S. (1990) Introduction to the theory of neural computation, Perseus Books.

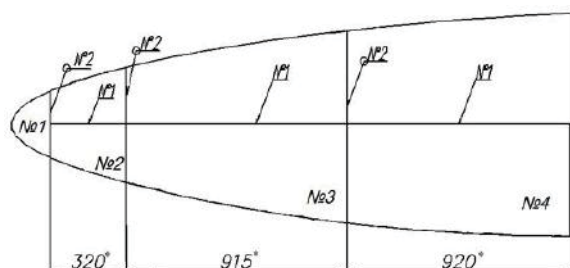
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ СБОРКИ ОБЕЧАЕК НОСОВОЙ ЧАСТИ ПОДВЕСНОГО ТОПЛИВНОГО БАКА ПОД АРДЭС ПРОДОЛЬНЫХ ШВОВ

О. Б. Дронова, Е. В. Шакиров

Алтайский государственный технический университет им.И.И.Ползунова,
г. Барнаул, Россия

В авиастроении необходимо обеспечивать высокое качество выпускаемой продукции, а это связано с большими материальными затратами. Одним из путей снижения затрат необходимых для изготовления шпангоута является использование универсального оборудования.

Поскольку производство шпангоутов является единичным, то при расчетах примем годовую программу запуска равной годовой программе выпуска в размере 12 штук.



Длина кольцевых швов:

№1№2 - 1572мм.

№2№3 - 2738мм.

№3№4 - 4571мм.

Рисунок 1 – Сборочный чертеж подвесного топливного бака

Годовая программа выпуска равна годовой программе запуска 12 штуки.

Расчетное количество оборудования для аргонодуговой прихватки и наложения основного шва определяется по формуле 1:

$$K_{об}^p = \frac{T_{год}}{\Phi_0}, \quad (1)$$

где $T_{год}$ – количество нормируемых часов для выполнения годовой программы изготовления на данном типе оборудования;

где Φ_0 – действительный годовой фонд времени единицы оборудования, соответствующей изготовлению наиболее трудоемкого узла, ч;

$$T_{год} = N_{год}^{зан} \cdot t_{умi}, \quad (2)$$

где $t_{умi}$ – норма штучного времени на i -ой операции (на аргоно-дуговой сварке)

$$t_{умi} = 27,6 \text{ мин};$$

$N_{год}^{зан}$ – годовая программа выпуска изделий, шт.

Рассчитаем количество нормируемых часов для выполнения годовой программы изготовления на аргоно-дуговой сварке по формуле 2:

$$T_{год} = N_{год}^{зан} \cdot t_{умi} = 12 \cdot 27,6 = 331,2 \text{ мин.}$$

При определении затрат на изготовление изделия и экономический эффект от новой технологии и проектной установки необходимо рассмотреть ААрДЭС продольных и кольцевых швов.

1.1 Определение затрат на материалы

$$З_{см}^{св} = З_{эл.пр.}^{св} + З_{з.г.}^{св} + З_{эл.вольф.}^{св}, \quad (3)$$

где $З_{см}^{св}$ – затраты на сварочные материалы при сварке, руб.,

$З_{эл.пр.}^{св}$ – затраты на электроды или электродную проволоку, руб.,

$З_{з.г.}^{св}$ – затраты на защитный газ, руб.,

$З_{эл.вольф.}^{св}$ – затраты на вольфрамовый электрод.

1.2 Определение затрат на сварочную проволоку

Расчет затрат при наложении прихваток на сварочную проволоку при проведен по формуле 4:

$$З_{эл.пр.}^{св} = H_{эл.пр.} \cdot B_{нм}^{св} \cdot \Pi_{эл.пр.}, \quad (4)$$

где $З_{эл.пр.}^{св}$ – затраты на электродную проволоку, руб;

$H_{эл.пр.}$ – норма расхода электродной проволоки на 1 кг наплавленного металла, кг/кг;

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ СБОРКИ ОБЕЧАЕК НОСОВОЙ ЧАСТИ ПОДВЕСНОГО ТОПЛИВНОГО БАКА ПОД АРДЭС ПРОДОЛЬНЫХ ШВОВ

$B_{nm}^{сб}$ – масса наплавленного металла прихваточных швов, кг;

$\Pi_{эл.пр.}$ – стоимость 1 кг электродной проволоки (принимается по данным предприятия или по прайс-листу), руб.

Норма расхода электродной проволоки должна учитывать коэффициент технологических потерь K_n , принимаемый по нормативным источникам. Расчет нормы расхода производится по формуле 5:

$$H_{эл.пр.} = 100 / (100 - K_n), \quad (5)$$

$$H_{эл.пр.} = 100 / (100 - K_n) = 100 / (100 - 5) = 1,05.$$

Расчет массы наплавленного металла производится по формуле 6.

$$B_{nm}^{сб} = 0,001 F_{пр} \cdot l_{пр} \cdot n_{пр} \cdot \gamma, \quad (6)$$

где $F_{пр}$ – площадь поперечного сечения прихваточного шва, см²;

$l_{пр}$ – длина прихватки, см;

$n_{пр}$ – количество прихваток, шт;

γ – плотность наплавленного металла, г/см³.

При типе соединения С2 площадь поперечного сечения сварного шва может быть определена по формуле 7:

$$F_{ш} = b \cdot s + 0,75 \cdot e \cdot g, \quad (7)$$

$$F_{ш} = b \cdot s + 0,75 \cdot e \cdot g = 0,5 \cdot 5 + 0,75 \cdot 10 \cdot 1,5 = 13,75 \text{ мм}^2.$$

Площадь прихваточного шва рассчитывается, как 45% от площади основного шва:

$$F_{пр} = 0,45 (b \cdot s + 0,75 \cdot e \cdot g) = 0,45 \cdot 13,75 = 6,18 \text{ мм}^2.$$

Количество прихваток можно рассчитать по формуле 8.

$$n_{пр} = l_{см} / t_{пр} + 1. \quad (8)$$

$$n_{пр} = \Sigma (l_{см} / t_{пр} + 1) = (2637/30+1) + (2272/30+1) + (1370/30+1) + (785/30+1) = 240 \text{ шт.}$$

Суммарная длина прихваточного шва равна:

$$\Sigma l_{пр} = n_{пр} \cdot 0,02 = 240 \cdot 0,02 = 4,8 \text{ м.}$$

Найдем массу наплавленного металла прихваточного шва:

$$B_{nm}^{сб} = 0,001 F_{пр} \cdot l_{пр} \cdot n_{пр} \cdot \gamma = 0,001 \cdot 0,6 \cdot 0,048 \cdot 240 \cdot 2,73 = 0,18 \text{ кг.}$$

Определим затраты на электродную проволоку по формуле 4:

$$H_{эл.пр.} = 1,05; B_{nm}^{сб} = 0,18 \text{ кг}; \Pi_{эл.пр.} = 408,57 \text{ руб.}$$

$$З_{эл.пр.}^{сб} = H_{эл.пр.} \cdot B_{nm}^{сб} \cdot \Pi_{эл.пр.} = 1,05 \cdot 0,18 \cdot 408,57 = 77,21 \text{ руб.}$$

1.3 Определение затрат на вольфрамовый электрод

Затраты на вольфрамовые электроды

$З_{вэ}$ (в рублях) рассчитываются по формуле 9.

$$З_{вэ} = l_{шва} / 1000 \cdot \Pi_{вэ} \cdot H_{эл.вольф.}, \quad (9)$$

где $l_{шва}$ – длина прихваточного шва, м;

$\Pi_{вэ}$ – стоимость 1кг вольфрамовых электродов, руб.

$H_{эл.вольф.}$ – норма расхода вольфрамового электрода на 1,48 метра равна 0,22г.

$$\Sigma l_{пр} = 4,8 \text{ м.}; \Pi_{вэ} = 5194,44 \text{ руб.}; H_{эл.вольф.} = 0,22 \text{ г.}$$

$$З_{вэ} = l_{шва} / 1000 \cdot \Pi_{вэ} \cdot H_{эл.вольф.} = 4,8 / 1000 \cdot 5194,44 \cdot 0,22 = 5,48 \text{ руб.}$$

1.4 Определение затрат на аргон

Затраты на аргон определяются в зависимости от способа по формуле 10:

$$З_{з.э.}^{св} = H_{аргон} \cdot B_{nm}^{св} \cdot \Pi_{аргон}, \quad (10)$$

где $H_{аргон}$ – норма расхода аргона на 1 кг наплавленного металла, 8 кг/г;

$\Pi_{аргон}$ – стоимость 1 кг аргона, руб.

$B_{nm}^{св}$ – масса наплавленного металла прихваточного шва, кг.

$$H_{аргон} = 8 \text{ кг/г.}; \Pi_{аргон} = 5,55 \text{ руб.}; B_{nm}^{св} = 0,18 \text{ кг.}$$

$$З_{з.э.}^{св} = H_{аргон} \cdot B_{nm}^{св} \cdot \Pi_{аргон} = 8 \cdot 0,18 \cdot 5,5 = 7,92 \text{ руб.}$$

Итого затраты на сварочные материалы при сборке равны:

$$З_{см}^{св} = 77,21 + 5,48 + 7,92 = 90,61 \text{ руб.}$$

1.5 Определение затрат на технологическую электроэнергию

$$З_{эл.тех.}^{сб} = H_{эл.тех.} \cdot B_{nm}^{сб} \cdot \Pi_{эл.}, \quad (11)$$

где $H_{эл.тех.}$ - норма удельного расхода электроэнергии на 1 кг наплавленного металла, кВтч/кг;

$B_{нм}^{сб}$ - масса наплавленного металла прихваточного шва, кг;

$\Pi_{эл.}$ - стоимость киловатт часа электроэнергии, руб.

Определим затраты на технологическую электроэнергию по условиям примера 1, приняв норму расхода электроэнергии $H_{эл.тех.} =$

3,3 кВтч/кг, а ее стоимость $\Pi_{эл.} = 3,0$ руб/кВтч.

$$Z_{эл.тех.}^{сб} = H_{эл.тех.} \cdot B_{нм}^{сб} \cdot \Pi_{эл.} = 3,3 \cdot 0,18 \cdot 3,0 = 1,78 \text{ руб.}$$

1.6 Заработная плата рабочих занятых на сборке изделия

Часовая тарифная ставка сварщика может быть принята по формуле 12.

$$Z_{зн}^{сб} = \sum_{i=1}^n t_i \cdot r_i^j \cdot K_T, \quad (12)$$

где $\sum_{i=1}^n t_i$ - время сборки четырех обечаек;

r^j - часовая тарифная ставка основного рабочего j-го разряда, руб/ч;

r^2 - часовая тарифная ставка основного рабочего второго разряда, принимается 95 руб/ч по данным предприятия;

K_T - тарифный коэффициент соответствующего разряда, принимается по нормативным данным.

$$K_T = 1,3$$

$$Z_{зн}^{сб} = \sum_{i=1}^n t_i \cdot r_i^j \cdot K_T = 5,61 \cdot 95 \cdot 1,3 = 692,8 \text{ руб.}$$

1.7 Технологическая себестоимость сборки обечаек

Определим технологическую себестоимость сборки трех обечаек:

$$C_{тех}^{сб} = Z_{см}^{сб} + Z_{эл.тех.}^{сб} + Z_{зн}^{сб} = 90,61 + 1,78 + 692,8 = 785,19 \text{ руб.}$$

РАСЧЕТ СЪЕМА МЕТАЛЛА ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

А. М. Иконников, Ю. В. Федоров

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Магнитно-абразивная обработка позволяет осуществлять безразмерную обработку. Съем металла осуществляется своеобразным режущим инструментом сформированным магнитным полем из магнитно-абразивного порошка. Режущий инструмент отличается повышенной эластичностью. Глубина внедрения каждого зерна в обрабатываемую поверхность (а значит, и объем срезаемого им металла) является результатом установившегося в каждом отдельном случае равновесия между силами, прижимающими зерно к обрабатываемой поверхности, и силами сопротивления материала заготовки внедрению зерна. Глубину внедрения зерна в обрабатываемую поверхность можно выразить зависимостью степенного вида

$$h = C_h \frac{P_y^m}{\rho^r (k_m H)^s}, \quad (1)$$

где C_h – коэффициент, учитывающий изменение прочностных свойств поверхностного слоя по сравнению с основным обрабатываемым материалом (в результате воздействия СОЖ, скорости деформации, предварительного наклепа и т.п.);

P_y – сила, прижимающая зерно;

ρ – радиус вершины зерна;

H – твердость обрабатываемого материала;

k_m – коэффициент, учитывающий изменение твердости материала в присутствии переменного магнитного поля;

m, r, s – показатели степени.

Масса материала, снятого одним режущим зерном на единичном пути резания, определяется по формуле:

$$q_i = \gamma_m V_i k_c, \quad (2)$$

где γ_m – плотность обрабатываемого материала;

V_i – объем царапины единичной длины;

k_c – коэффициент стружкообразования.

Объем V_i является функцией глубины внедрения зерна и радиуса округления режущей вершины:

$$V_i = f(h_i; \rho_i). \quad (3)$$

Коэффициент стружкообразования k_c

равен нулю, если глубина внедрения зерна

$$h_i < (0,005 \div 0,13) \rho_i. \quad (4)$$

Общий съем металла, срезанный за единицу времени, определяется суммой съемов, осуществляемых зернами порошка, одновременно контактирующими с заготовкой в пределах рабочего зазора

$$Q = v \tau \sum_{i=1}^N q_i, \quad (5)$$

где v – скорость движения режущего зерна;

N – число зерен участвующих в резании;

τ – время обработки.

Поскольку съем металла при магнитно-абразивной обработке зависит от равновесия между силами, прижимающими зерно к обрабатываемой поверхности, силами сопротивления материала заготовки внедрения, поэтому любое изменение равновесия приводит к изменению глубины внедрения зерен и к соответственному изменению производительности процесса. Глубина внедрения режущего зерна при магнитно-абразивной обработке сопоставима с толщенной поверхностного слоя. Поэтому сопротивление обрабатываемого материала внедрению зерна определяется не макросвойствами этого материала, а прочностными характеристиками его поверхностного слоя, которые могут существенно отличаться.

На основе анализа процесса съема металла магнитно-абразивным зерном находящегося в магнитном поле с обрабатываемой поверхностью была разработана имитационная модель процесса магнитно-абразивной обработки в среде Microsoft Excel.

Список литературы:

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. - Л.: Машиностроение. Ленингр. Отделение, 1986.-176с.

2. Иконников А.М., Федоров В.А. Расчёт параметров процесса магнитно-абразивной обработки поверхностей сложного профиля. "Обработка металлов", 2003 г. №4. Новосибирск, ОАО НТП и ЭИ "ОРГСТАНКИНПРОМ". С. 10-11

ОБОБЩЕННЫЙ ВИД НЕЛИНЕЙНОГО ОПЕРАТОРА МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

К. А. Батенков

Академия ФСО России,
г. Орёл, Россия

В ходе проведения различных работ, связанных как с полным циклом производства конечного изделия, так и с каким-либо отдельным этапом возникает серьезная задача по передаче и обработке промежуточных данных, зачастую имеющих достаточно большие объемы. В этой связи к одному из технологических процессов можно отнести и процесс передачи информации, который предполагает использование вспомогательной системы связи, обеспечивающей нормальное функционирование производства в целом.

Подобные системы осуществляют последовательное преобразование передаваемых сообщений в сигнал, пригодный для передачи по имеющейся в распоряжении среде распространения, и обратно. В связи с чем существует объективная необходимость в описании операций модуляции и демодуляции для наиболее общего случая – пространственно-временного канала связи. При этом, в настоящее время, преобразования из конечномерного пространства в бесконечномерное (модуляция) и обратно (демодуляция) предполагают линейными, поскольку они удовлетворяют свойству однородности и принципу суперпозиции. Разумно предположить, что в более общем случае данные отображения должны быть нелинейными, а их представление в виде подобных рядов с ограниченным числом членов по существу является только частным случаем. В данной работе остановимся лишь на рассмотрении операции модуляции.

Наиболее общее описание нелинейных преобразований можно получить на основе рядов Вольтерра [1]. Однако при этом следует учесть, что в каноническом виде он определяет нелинейные преобразования между бесконечномерными пространствами, а операции модуляции Φ и демодуляции Φ' задают отношения между конечномерными и бесконечномерными пространствами. Таким образом, необходимо несколько видоизменить

ряды Вольтерра путем представления сигналов на соответствующих конечномерных концах в виде рядов из взвешенных дельта-функций, то есть сигналы на выходе модулятора можно записать в непрерывном виде как следующие суммы:

$$x(t_j, \mathbf{r}_j) = \sum_{k_j=1}^N x_{k_j} \delta(k_j - t_j) \delta(t_j \mathbf{1}_{n_a} - \mathbf{r}_j), \quad j = \overline{1, \infty}, \quad (1)$$

где $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T$ – вектора на входе дискретного канала связи (на входе модулятора) размерности N ;

$\mathbf{1}_n$ – единичный вектор размерности n ;

n_a – число измерений пространства на входе и выходе непрерывного многопараметрического канала связи соответственно.

Подстановка непрерывного вида сигналов на входе модулятора (1) в выражение ряда Вольтерра, а также учет нелинейности, не превышающей величины N_a (число членов ряда Вольтерра ограничено данным значением), и замена переменных, делает возможным следующее представление:

$$x(t, \mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{N_a} \int_{t_1}^{\dots} \int_{t_i}^{\dots} \int_{\mathbf{r}_1}^{\dots} \left\{ \prod_{j=1}^i \sum_{k_j=1}^N x_{k_j} \delta(k_j - t_j) \delta(t_j \mathbf{1}_{n_a} - \mathbf{r}_j) \right\} \times \\ \times \varphi_i(t, \mathbf{r}, t_1, \dots, t_i, \mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_i) dt_1 \dots dt_i d\mathbf{r}_1 \dots d\mathbf{r}_i. \quad (2)$$

Раскрытие произведения, перегруппировка слагаемых внутри него, а также использование фильтрующего свойства дельта-функции трансформирует операцию нелинейной модуляции к следующему виду:

$$x(t, \mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{N_a} \left[\sum_{k_1=1}^N \sum_{k_2=1}^N \dots \sum_{k_i=1}^N \left\{ \prod_{j=1}^i x_{k_j} \right\} \varphi_i(t, \mathbf{r}, k_1, \dots, k_i, k_1 \mathbf{1}_{n_a}, \dots, k_i \mathbf{1}_{n_a}) \right]. \quad (3)$$

Отсюда следует важное условие осуществимости нелинейной модуляции, выражающееся в обязательном превышении или по крайней мере равенности размерности сигналов на входе модулятора N степени нелинейности модулятора N_a , то есть $N_a \leq N$. В обратном случае ($N_a > N$) произведения в фигурной

ОБОБЩЕННЫЙ ВИД НЕЛИНЕЙНОГО ОПЕРАТОРА МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

скобке (3) не существуют, что означает идентичность операций модуляции с нелинейностью большей N_a операции модуляции с нелинейностью N_a .

Следует также заметить, что вследствие свойства коммутативности операции умножения (то есть $\prod_{j=1}^i x_{k_j} = \prod_{j'=1}^i x_{k'_{j'}}$, даже при условии, что $\exists k_j \neq k'_{j'}$) число суммируемых базисных функций можно существенно сократить. Количество одинаковых произведений соответствует числу перестановок упорядоченного множества индексов сигнала на входе модулятора $\{k_j\}$, $j = \overline{1, i}$, $k_j < k_{j'}$ | $j < j'$, $j' = \overline{1, i}$, а само данное множество перестановок целесообразно обозначить как P_i , каждый элемент которого $P_{i,p} = \{k_{j_p}\}$ представляет собой уникальную перестановку исходного упорядоченного множества. Следовательно базисные функции модуляции являются функциями только временных и пространственных выходных координат, так как входные координаты дискретны, и имеют следующий вид:

$$\varphi_{k_1, \dots, k_i}(t, \mathbf{r}) = \sum_{\{k_{j_p}\} \in P_i} \varphi_i(t, \mathbf{r}, k_1, \dots, k_i, k_1 \mathbf{1}_{n_a}, \dots, k_i \mathbf{1}_{n_a})$$

$$j_p = \overline{1, i}, \quad p = \overline{1, i!}, \quad (4)$$

где число элементов множества перестановок P_i , $i = \overline{1, N_a}$ равно числу всех возможных перестановок, то есть $i!$ [2]. Перегруппировка слагаемых в (3) и использование (4) приводит к формуле нелинейной модуляции в виде:

$$x(t, \mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{N_a} \left[\sum_{k_1=1}^N \sum_{k_2=1}^N \dots \sum_{k_i=k_{i-1}-1}^N \left\{ \prod_{j=1}^i x_{k_j} \right\} \varphi_{k_1, \dots, k_i}(t, \mathbf{r}) \right]. \quad (5)$$

Таким образом, в наиболее обобщенном структурированном виде уравнение (5), являющееся, по сути, оператором нелинейной модуляции Φ , задает дискретное отображе-

ние непрерывного многопараметрического канала связи.

Следует подчеркнуть еще одно немаловажное достоинство именно подобного (5) структурного типа дискретного отображения. Так, в наиболее общем виде подобное отображение предполагает учет нелинейности произвольно большой степени, вплоть до бесконечной. В результате и реализация и синтез оптимальных операций как модуляции так и демодуляции оказывается весьма затруднительными, за исключением случаев определенной заданной формы используемых базисных функций. Однако в данное обстоятельство является достаточно сильным ограничением, поскольку способно существенно сократить класс операторов отображения. Представление же операции модуляции в параметризованном виде (5) делает возможным как выбор заданного числа базисных функций в рамках определенного порядка нелинейности, так введение ограничения на максимальную нелинейность оператора дискретного отображения. В итоге, решение задач синтеза оптимального модулятора возможно как в общем виде (при устремлении степени нелинейности к бесконечности), что должно быть подобно оптимальным нелинейным системам, как правило трудно реализуемым на практике, так и при достаточно произвольных ограничениях на число и порядок нелинейности базисных функций, что приводит к сравнительно простым реализациям вышеописанных процедур.

Список литературы:

1. Пупков К. А., Капалин В. И., Юценко А. С. Функциональные ряды в теории нелинейных систем. – М.: Наука, 1976. – 448 с.
2. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. 13-е изд., исправленное. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986. – 544 с.

ВЛИЯНИЕ НА ЖАРОСТОЙКОСТЬ СЕРОГО ЧУГУНА ИЗОЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Г. А. Мустафин, А. Ю. Зык, Т. В. Мустафина

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Для изготовления кокилей чаще других материалов используется серый чугун. Наиболее опасным с точки зрения долговечности для некоторых типов кокилей из серого чугуна является процесс окисления материала кокиля при многократном повышении его температуры. Чем на более высокую температуру нагревается рабочая поверхность кокиля, тем большую опасность представляет процесс окисления его материала [1].

Одним из способов уменьшения окисления материала кокиля является понижение температуры его поверхности за счет нанесения изолирующих покрытий. Покрытия не только уменьшают температуру рабочей поверхности кокиля, но и снижают величину термического удара и уменьшают пагубное воздействие на материал кокиля кислорода и других агрессивных газов.

Оценка жаростойкости проводилась в соответствии с ГОСТ 6130-71 по привесу экспериментальных цилиндрических образцов. Установка для испытания на жаростойкость удовлетворяла следующим требованиям:

- автоматическая регулировка температуры с точностью $\pm 5^{\circ}\text{C}$;
- отклонение температуры в отдельных точках в зоне расположения образцов не более $\pm 5^{\circ}\text{C}$ от заданной температуры.

Газовая среда соответствовала газовой среде помещения. Перед нанесением покрытия поверхность образцов шлифовалась и обезжиривалась. Покрытие наносилось в несколько этапов для достижения равномерной толщины 0,1 мм.

Испытывались два покрытия, нашедших широкое применение при производстве в кокиль отливок из алюминиевых сплавов. Первое покрытие содержит 5% оксида цинка, 3% жидкого стекла и 92% воды. Второе - 3% оксида цинка, 6% прокаленного асбеста, 6% жидкого стекла и 85% воды.

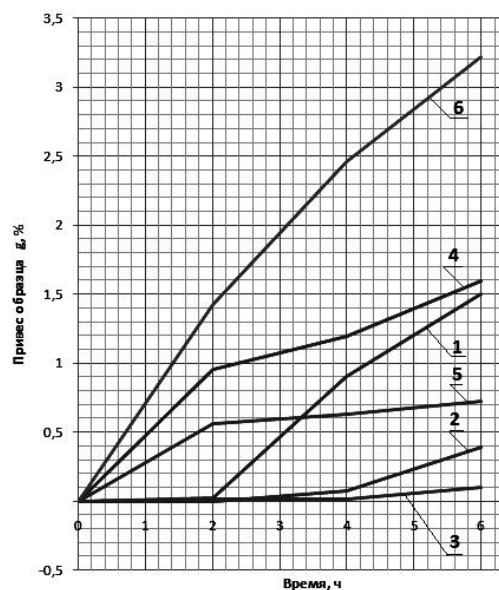


Рисунок 1 – результаты взвешивания:

- 1-покрытие на основе оксида цинка;
- 2-покрытие на основе асбеста и оксида цинка;
- 3-фосфатное покрытие;
- 4-боридное покрытие совместно с покрытием на основе оксида цинка;
- 5- боридное покрытие;
- 6-без покрытия

Кроме этих двух традиционных покрытий испытывались фосфатные и боридные покрытия. Боридные покрытия, полученные методами химико-термической обработки, имели также толщину 0,1 мм.

Температура испытания 800°C . При этой температуре происходит интенсивное окисление железа. Образцы после взвешивания помещались в печь, нагретую до заданной температуры и выдерживались в ней в течение 6 часов. Взвешивание происходило через каждые два часа выдержки при заданной температуре после охлаждения образцов вне печи с точностью 0,1 мг. Увеличение массы образца оценивалось по относительной разности в процентах результатов взвешивания образцов до и после прокаливания.

ВЛИЯНИЕ НА ЖАРОСТОЙКОСТЬ СЕРОГО ЧУГУНА ИЗОЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ



Рисунок 2 – Образцы с покрытием на основе оксида цинка после испытаний.



Рисунок 3 – Образцы с покрытием на основе оксида цинка и асбеста после испытаний.

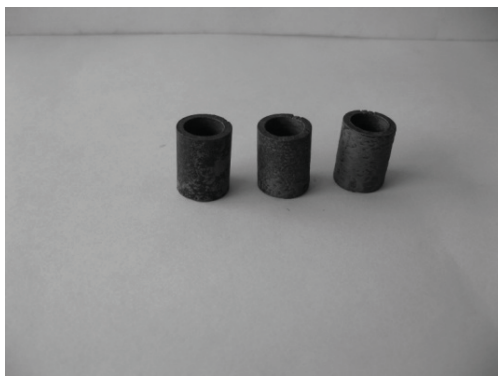


Рисунок 4 – Образцы с боридным покрытием после испытаний.

Результаты испытаний приведены на рисунках 1-5. Как следует из рисунка 1, все покрытия заметно повышают жаростойкость серого чугуна. Наиболее существенное влияние оказывает покрытие из фосфатов. Вероятно, это покрытие наиболее плотное, лучше изолирует образцы от агрессивной атмосферы, чем другие покрытия. Кроме того, это покрытие более устойчивое и меньше осыпается в процессе испытаний.

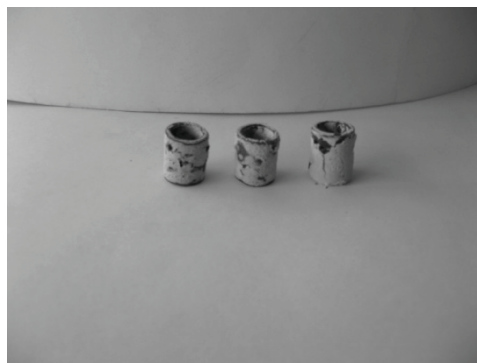


Рисунок 5 – Образцы с фосфатным покрытием после испытаний.

По ходу проведения эксперимента не всегда удавалось контролировать потерю массы образцов в результате осыпания покрытий. Поэтому кривые 1 и 2 не достаточно объективно отражают влияние соответствующих покрытий. Анализ рисунков 1-5 позволяет утверждать, что наиболее существенное влияние на жаростойкость оказывают боридные и фосфатные покрытия.

Список литературы:

1. Литье в кокиль; монография/ С.Л. Бураков и др.; под ред. А.И.Вейника; М., Машиностроение, 1980.-415 с.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА

С. В. Гайст, Е. А. Ишутин, А. М. Марков

Алтайский государственный технический университет им И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

На сегодняшний день детали с регулярным микрорельефом применяют в различных отраслях города Барнаула, такие как: медицина: стальные и титановые имплантаты, имеющие фасонные поверхности со специальным регулярным микрорельефом (на внутрикостных и дентальных имплантатах), микроприборостроении: микромодульные зубчатые колёса и шестернях; магниты специальной формы и малых размеров; тонкие мембраны сенсоров или наоборот оптически гладкие поверхности, автомобилестроение: высокоточные зубчатые колёса, имеющие сложный профиль (например, с гипоциклоидным зацеплением) торцевые муфты; детали шлицевых соединений.

Поверхности с регулярным микрорельефом получают методами ультразвуковой обработки, электроимпульсной обработкой, механической обработкой а также обработкой давлением, в частности накатыванием.

Накатывание профильных элементов деталей по сравнению с их нарезанием имеет ряд преимуществ: экономия металла, повыше-

ние производительности труда, повышение точности и долговечности обрабатываемых деталей, уменьшение расходов на инструмент.

Но поверхностные дефекты, встречающиеся на практике, связаны с механикой этого процесса. Известно, что при накатывании, может происходить: мелкие рифления со срезанными вершинами; глубокие рифления, вершины неровные, заваленные; нечеткие, прерывистые рифления; искажена сетка рифлений (при сеточном узоре); недостаточная чистота рифленой поверхности (рисунок 1)

Для изготовления роликов используют дорогостоящие стали: легированные (ШХ15, ХВГ, 9Х, 5ХНМ, Х12), углеродистые инструментальные (У10А, У12А), инструментальные штамповые (Х6ВФ, Х12М, Х12Ф1), быстрорежущие (Р6М5, Р9) или твердый сплав (ВК8). При этом затраты на материал составляют до 40% от общих затрат на изготовление инструмента (рисунок 2).

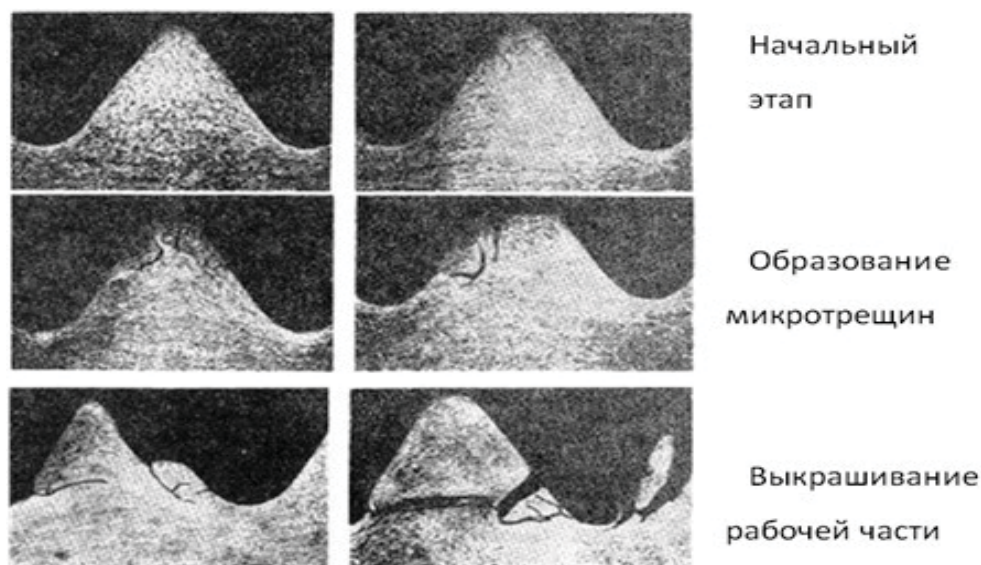


Рисунок 1 – Процесс износа накатного инструмента (Петриков В.Г., Власов А.П.: Прогрессивные крепежные изделия)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА



Рисунок 2 – Структура затрат на накатной инструмент.

С целью уменьшения себестоимости и повышению эксплуатационной надежности накатного инструмента предлагается изготавливать накатной инструмент из стали 45, подвергнутой поверхностному упрочнению. Литературный обзор показал, что химико-термическая обработка (борохромирование) является наиболее подходящей.

Однако отсутствие научно-установленных зависимостей между режимами ХТО и свойствами полученных покрытий, а также с эксплуатационными параметрами накатного инструмента ограничивает широкое распространение этого вида упрочнения.

Эксперимент проводится на универсальном токарном станке 1К62 (рисунок 3) с помощью разработанной экспериментальной установки, на конструкцию которой подана заявка о выдаче патента на изобретение.

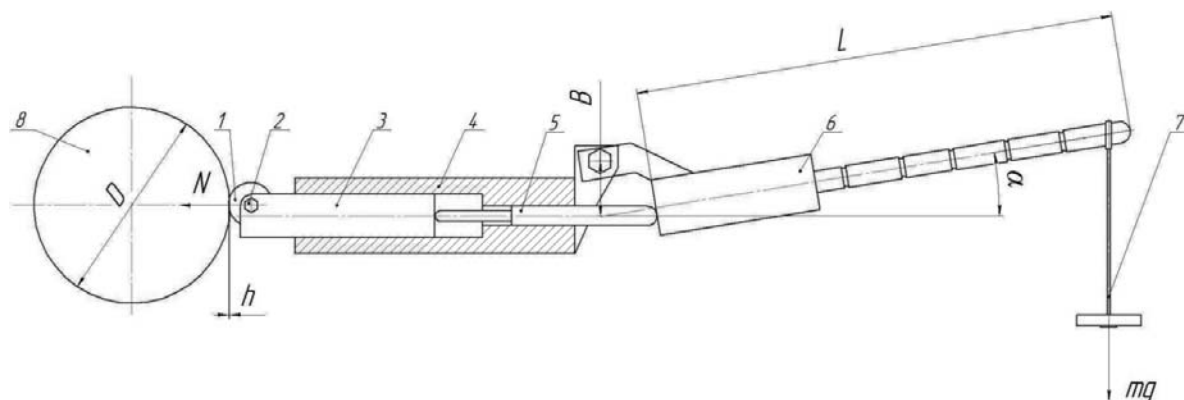


Рисунок – 3 экспериментальная установка.

Устройство содержит накатную головку 3 с роликом 1, закрепленным посредством оси 2, и державку 4, соединенную с накатной головкой и выполненную в виде бруска, одна сторона которой имеет паз, а другая сторона выполнена с возможностью закрепления в резцедержателе станка. Накатная головка, выполненная в виде бруска, установлена в сквозном пазу сложно-профильной формы с возможностью продольного перемещения. Один конец накатной головки закреплен ролик 1, который контактирует с деталью 8, а другой конец контактирует с расположенным в пазу одним из концов толкателя 5, противоположный конец которого взаимодействует с

рычагом 6, закрепленным на державке с возможностью поворота в вертикальной плоскости, на конце которого размещен груз 7. В результате обеспечивается постоянное усилие пластического накатывания цилиндрических заготовок. Экспериментальная установка позволяет изменять технологические режимы накатывания (усилие прижима накатного инструмента к заготовке и частоту вращения).

Экспериментальные исследования эксплуатационных свойств накатного ролика, по методу планирования эксперимента, получена математическая модель связывающая параметры эксплуатации с износом формула 1:

$$h_{\text{износа}} = 0.0001552P + 0.0003281n - 0.0060345 \quad (1)$$

где $h_{\text{изн}}$ – величина износа зуба;
 P – сила прижатия ролика к заготовки;
 n – частота вращения заготовки.

Приведены экспериментальные исследования зависимости износа от времени работы, получены графики зависимости износа от времени работы рисунок 4.

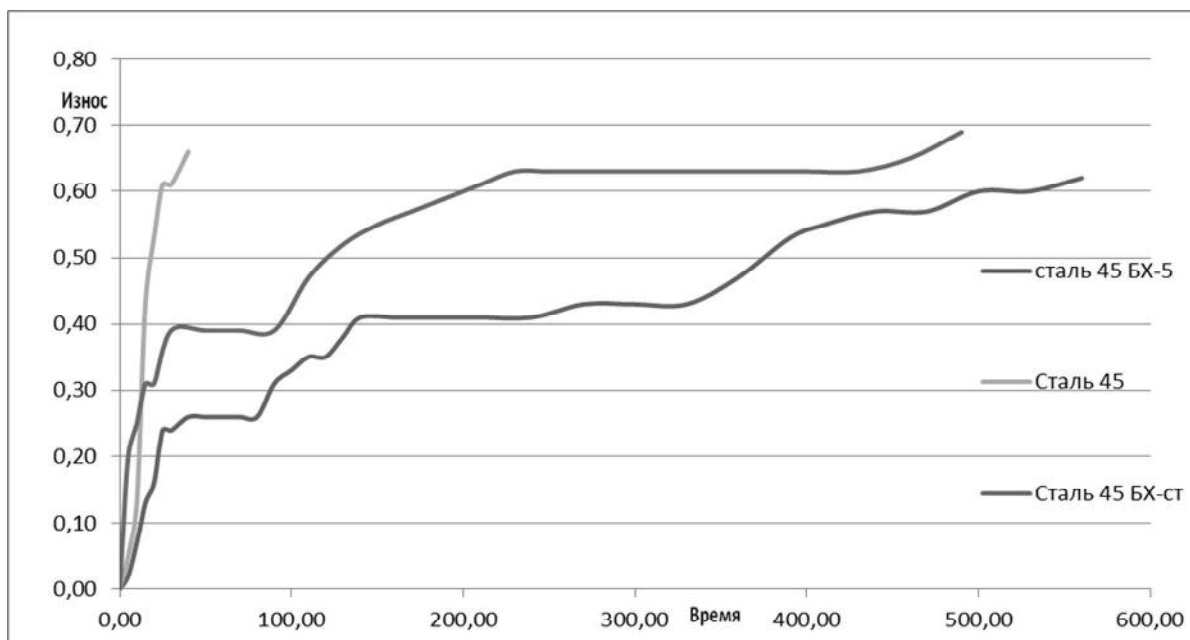


Рисунок 4 – Общие результаты эксперимента.

Основные результаты и выводы по работе:

- 1) Разработана установка для определения усилия прижима накатного ролика.
- 2) Разработана методика проведения эксперимента на износ зубьев накатного ролика.
- 3) По результатам эксперимента получена математическая модель связывающая параметры эксплуатации с износом.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

А. А. Черепанов, А. В. Балашов, Т. Г. Светлова

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Основной причиной технологических трудностей при обработке нежестких деталей являются сравнительно высокие упругие свойства материалов, которые вызывают деформации на всех стадиях обработки, сборки и эксплуатации деталей. В свою очередь, упругие деформации приводят к нарушению технологических баз, погрешностям формы и размеров деталей, ограничению режимов резания. Данное обстоятельство обуславливает необходимость использования специализированных станочных приспособлений, повышающих жесткость технологической системы. Традиционно, для повышения жесткости при обработке тонкостенных корпусных деталей в рамках станочных приспособлений используют систему подводимых домкратов. Основным недостатком таких станочных приспособлений является значительное время на подготовку производства, обусловленное необходимостью настройки подводимых домкратов на каждую заготовку и их фиксацию.

Сокращение времени на подготовку производства становится возможным с применением гибкой системы подводимых домкратов, обеспечивающих самоустановку и фиксацию домкратов в процессе обработки. Для эффективного конструирования такой технологической оснастки целесообразно использовать методологию поискового конструирования, позволяющую значительно интенсифицировать поисковые работы.

На этапе предварительной постановки задачи предусматриваются ряд операций, включающих в себя: описание проблемной ситуации с указанием путей ее устранения; описание функции (назначения) технического объекта; выбор прототипа и формирование списка требований; составление списка недостатков прототипов; предварительная формулировка задачи, кратко обобщающая результаты, полученные при выполнении

предыдущих операций.

Описание функции технического объекта содержит четкую и краткую характеристику технического средства, с помощью которого можно удовлетворить возникшую потребность.

Описание функции можно представить в виде трех компонент:

$$P = (D, G, H), \quad (1)$$

где D – указание действия, производимого рассматриваемым объектом и приводящего к желаемому результату; G – указание объекта, или предмета обработки, на который направлено действие D; H – указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие.

Для рассматриваемой проблемной ситуации, описание и пути решения которой приведены в начале статьи, описание функции выглядит следующим образом: «Приспособление, содержащее гибкую систему домкратов, позволяющих повысить жесткость технологической системы, устанавливает (базирует и закрепляет) (D) *нежесткую заготовку корпусной детали* (G) с габаритными размерами 300×200×100 с погрешностью установки не более 0,02 мм (H)».

В описании проблемной ситуации часто указывают прототипы, которые требуется усовершенствовать. При выборе прототипов рекомендуется использовать словари технических функций, международную классификацию изобретений, патентные описания, справочники, техническую литературу и т.п.

При разработке и проектировании технического объекта всегда имеет место определенный список требований, которым технический объект должен удовлетворять. Если в таком наборе не будет учтено и выполнено хотя бы одно требование, то в созданном техническом объекте проявится хотя бы один существенный недостаток или он будет неработоспособен. Отсюда следует важность не-

обходимого и достаточного списка требований. Список требований должен содержать:

- функциональные требования, т.е. перечень количественных показателей производимого действия, количественных показателей объекта (предмета обработки), на который направлено действие технического объекта [1];

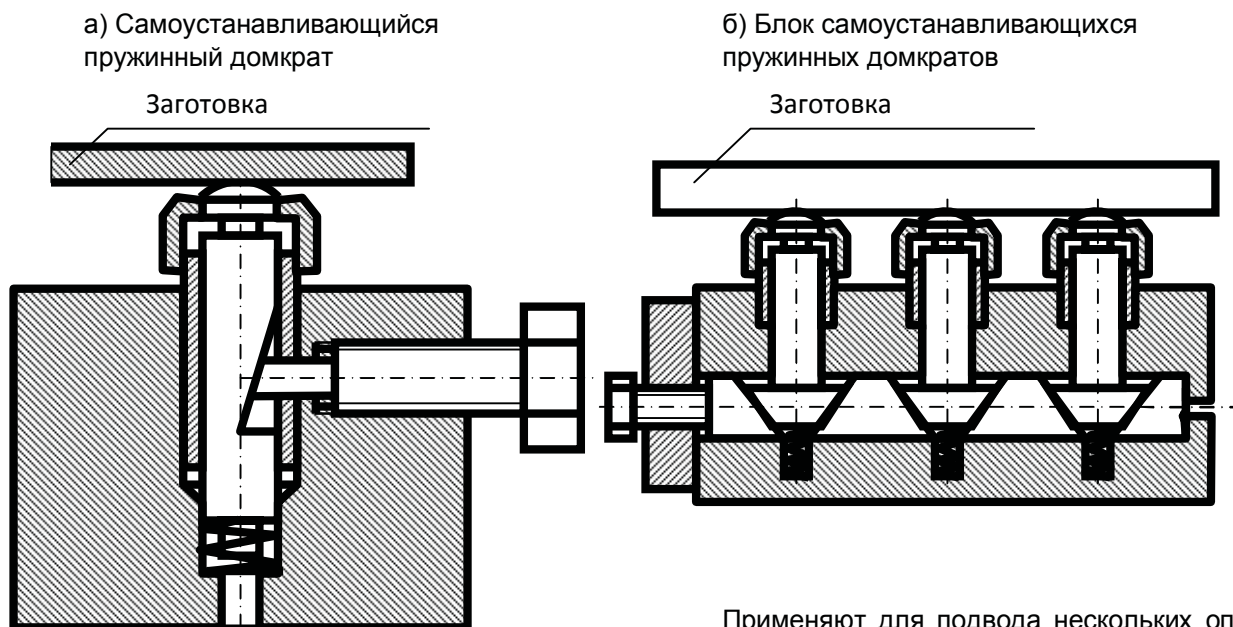
- требования и условия к выбору потоков веществ, энергии, сигналов на входе и выходе технического объекта; значения физических величин, характеризующих потоки; условия и ограничения на потоки, вызванные взаимодействием технического объекта с надсистемой и окружающей средой; условия и ограничения на потоки, связанные с их пре-

образованием внутри технического объекта;

- требования, условия и ограничения, накладываемые на выбор основных материалов, используемых при реализации физикотехнических эффектов;

- требования по массе, форме, габаритным размерам и компоновке; выбору используемых материалов и комплектующих изделий; способам и средствам соединения и связи элементов между собой; управлению и регулированию; безопасности эксплуатации; патентоспособности; лимитной цене и т. д.

В качестве прототипов были выбраны самоустанавливающийся пружинный домкрат и блок самоустанавливающихся пружинных домкратов (рисунок 1).



Применяют для крепления нетяжелых и нежестких заготовок

Рисунок 1 - Эскизы прототипов

Применяют для подвода нескольких опор, расположенных на одной линии. В установленном положении опоры закрепляются болтом

Недостатками прототипов являются: невысокая производительность обработки, обусловленная дополнительными затратами времени на фиксацию опор вручную до начала обработки; невысокая точность обработки маложестких деталей, объясняющаяся ненадежной фиксацией опор (самоотвинчивание болта), а также неплотным прилеганием опор к поверхности (прототип № 2), что вызывает вибрацию поверхности в ходе обработки; ограниченные технологические возможности, обусловленные расположением подводимых опор на одной линии (прототип № 2), что пре-

пятствует установке в приспособлении деталей сложной конфигурации.

Главная цель решения задачи – устранение недостатков.

Предварительная формулировка задачи содержит две части: «дано» и «требуется». Такое обобщение дает комплексное и легко обозримое представление о задаче.

Дано: а) Приспособление, содержащие пружинные домкраты, которое устанавливает (закрепляет и базирует) маложесткую заготовку корпусной детали с габаритными размерами 300×200×100 с погрешностью уста-

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

новки не более 0,02 мм.; б) перечень и описание возможных прототипов; в) списки недостатков прототипов.

Требуется так изменить существующие приспособления, чтобы:

1) Приспособление с установленными в нем подводимыми домкратами должно обеспечивать: точность обработки тонкостенной поверхности по 8 качеству (толщина стенки); шероховатость $R_a=2,5$; время установки заготовки не более 0,6 мин;

2) Подводимая опора должна быть компактной, а ее конструкция и физический принцип действия должны позволять произвольное расположение в корпусе в зависимости от конфигурации нежесткой детали.

3) Стоимость приспособления с подводимыми опорами не должна превышать 2% стоимости оборудования.

На следующем этапе конструирования предусматривается анализ функций прототипов и построение улучшенной конструктивной функциональной структуры. Анализ функций прототипа осуществляется, через построение конструктивной функциональной структуры.

Приведем пример построения конструктивной функциональной структуры для самоустанавливающегося пружинного домкрата (прототип № 1).

Построение конструктивной функциональной структуры проводится в следующей последовательности:

- 1) Разделение технического объекта на элементы;
- 2) Описание функций элементов;
- 3) Построение конструктивной функциональной структуры. Конструктивная функциональная структура представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименование элементов технического объекта и окружающей среды, а ребрами функции элементов.

В таблице 1 приведены конструктивные элементы пружинного домкрата и выполняемые ими функции, а на рисунке 2 – конструктивная функциональная структура домкрата.

Корректировка (улучшение) функцио-

нальной структуры обеспечивается благодаря: поиску новых функциональных элементов, обеспечивающих устранение недостатков прототипа или существенное повышение эффективности и качества технического объекта; исключению элементов для устранения недостатков прототипа; поиску элементов, которые целесообразно исключить и передать их функции другим элементам; поиску многофункциональных элементов, функций которых целесообразно разделить и ввести вместо одного два и более элементов. При корректировке структуры могут предлагаться новые физические принципы действия, с помощью которых становится возможным устранение недостатков прототипов или повышение их эффективности.

После проведения поисковых исследований строят улучшенную конструктивную функциональную структуру. На рисунке 3 приведен пример улучшенной конструктивной функциональной структуры для пружинного самоустанавливающегося домкрата (прототип 1).

Из рисунка 3 видно, что в структуре применяется новый физический принцип действия, основанный на использовании тепловой энергии для управления жесткостью технологической системы. Реализация данного принципа обуславливает появление в структуре новых элементов (тепловой привод), исключение ряда существующих элементов (сухарь, болт и т.д.) и появление новых функций:

- F_3^1 – адаптивно менять силу прижима подводимой опоры (E_2) к заготовке;
- F_1^2 – базировать тепловой привод (E_3).

На рассматриваемом этапе конструирования могут предлагаться множество улучшенных конструктивных функциональных структур и вариантов их реализации. Фактически на этом этапе определяется перечень необходимых и достаточных функций, которыми должен обладать технический объект, предлагается список физических принципов действия, которые способны реализовывать функции, уточняется список недостатков, подлежащих устранению.

Таблица 1 – Конструктивные элементы пружинного домкрата и выполняемые им функции

Элемент		Функция	
Обознач.	Наименование	Обознач.	Описание
E ₀	Домкрат пружинный	F ₀	Повышает жесткость заготовки (V ₁), установленной в приспособление
E ₁	Корпус	F ₁ ¹ F ₁ ² F ₁ ³	Базирует втулку (E ₅) Базирует и перемещает болт (E ₃₂) Базирует пружину (E ₄)
E ₂	Подводимая опора	F ₂ ¹ F ₂ ²	Повышает жесткость заготовки (V ₁), установленной в приспособление Размещает крышку (E ₆)
E ₃ E ₃₁ E ₃₂	Фиксатор Сухарь Болт	F ₃ ¹ F ₃₁ ¹ F ₃₂ ¹	Фиксирует подводимую опору (E ₂) Фиксирует подводимую опору (E ₂) Передает воздействие гаечного ключа (V ₂) на сухарь (E ₃₁)
E ₄	Пружина	F ₄ ¹	Поджимает подводимую опору (E ₂) к заготовке (V ₁)
E ₅	Втулка	F ₅ ¹ F ₅ ² F ₅ ³	Защищает корпус (E ₁) от износа Направляет движение подводимой опоры (E ₂) Размещает крышку (E ₆)
E ₆	Крышка	F ₆ ¹	Препятствует проникновению пыли и стружки в зазор между втулкой (E ₅) и опорой подводимой (E ₂)

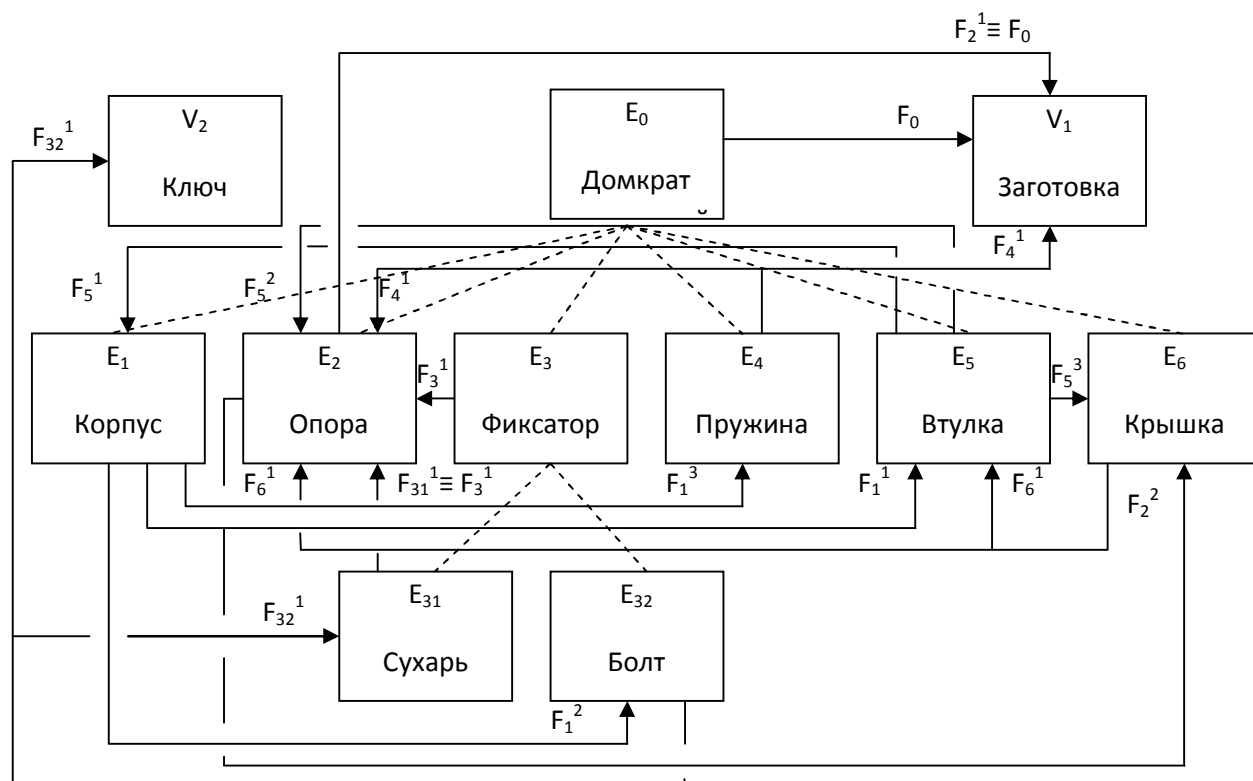


Рисунок 2 – Конструктивная функциональная структура пружинного самоустанавливающегося домкрата

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

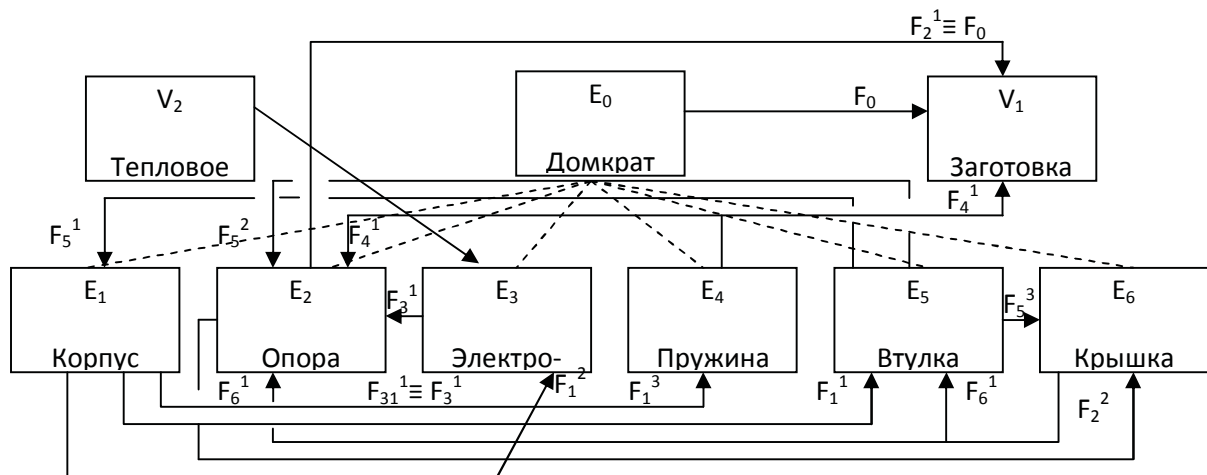


Рисунок 3 – Улучшенная конструктивная функциональная структура пружинного самоустанавливающегося домкрата

Следующим этапом конструирования является материальная реализация конструктивно-функциональных структур, отвечающим поставленным требованиям.

На рисунке 4 схематично представлено одно из возможных технических решений, отражающих приведенную на рис.3 конструктивную функциональную структуру домкрата.

Домкрат самоустанавливающийся работает следующим образом. На электромагнит 4 подается напряжение. В результате чего сердечник электромагнита 4 выдвигается и сжимает пружину 4, вызывая раскрепление

подводимой опоры 2 из цанги 3. Раскрепленная подводимая опора 2 самоустанавливается по поверхности детали посредством пружины 6. После чего снимается напряжение с электромагнита 4, его сердечник возвращается в исходное положение, а опора автоматически 2 закрепляется с помощью пружины 5 и цанги 3.

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет зафиксировать опору без ручных операций, и следовательно повысить производительность обработки.

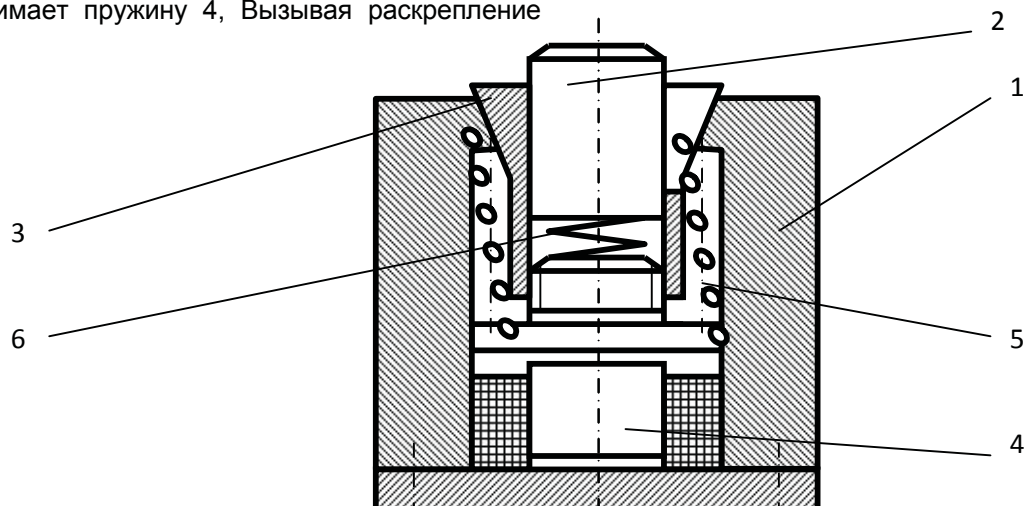


Рисунок 4 - Домкрат самоустанавливающийся с автоматической фиксацией подводимой опоры

Список литературы:

1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с., ил..

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА НАПЛАВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

С. Л. Леонов, А. А. Ситников, М. Е. Татаркин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Наплавка широко используется для изготовления, ремонта и восстановления деталей, работающих в условиях интенсивного износа. Наплавка должна обеспечивать надежное соединение покрытия с основой и толщину покрытия, достаточную под последующую механическую обработку и эксплуатационный износ рабочей поверхности детали. Для проектирования технологий изготовления деталей и анализа отдельных этапов их жизненного цикла необходимо разрабатывать математические модели. Разработанные модели должны давать возможность рассчитывать износ, макропрофиль после наплавки, топографию и другие геометрические параметры с учетом стохастического характера явлений.

Геометрические погрешности наплавленного слоя оказывают влияние на фактическую площадь контакта взаимодействующих поверхностей, величину удельного давления, долговечность и другие важные технологические и эксплуатационные характеристики деталей и механизмов. В данном случае рассмотрен пример решения «геометрической» задачи для случая нанесения на плоскость наплавленного слоя «валиками» с перекрытием одним другим методом электродуговой наплавки.

При моделировании принят ряд допущений:

- наплавленная поверхность имеет форму одинаковых дуг окружностей радиуса R , нанесенных с шагом b ;
- «контр-тело» имеет плоскую поверхность;
- нормальная сила давления со стороны «контр-тела» постоянна в процессе износа;
- износ в результате трения поверхностей прямо пропорционален удельному давлению;
- физико-механические свойства наплавленного слоя постоянны и однородны в пределах всего его объема;
- температурные и упругие деформации,

а также погрешности установки не влияют на геометрические параметры поверхностного слоя.

В результате износа h изменяется относительная опорная длина профиля, которая определяется выражением:

$$t_p = \frac{b_y}{b} = \frac{2\sqrt{R^2 - y^2}}{b}, \quad 1)$$

где R и b – соответственно радиус и ширина наплавленного валика

Уровень y изменяется в диапазоне $yb \leq y \leq R - h$, а уровень p рассчитывается по формуле:

$$p = (R - h - y) / (R - h - \sqrt{R^2 - b^2 / 4}) \quad 2)$$

где h – величина линейного износа.

В результате моделирования получена серия кривых для различных величин износа h (рисунок 1).

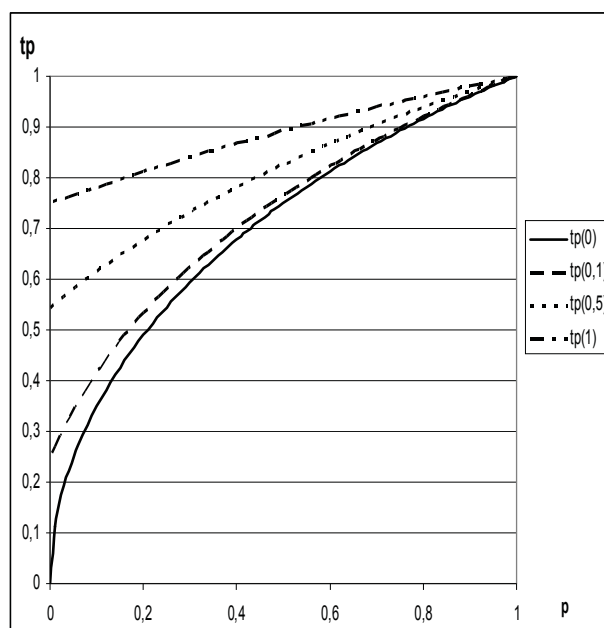


Рисунок 1 – Относительная опорная длина профиля t_p в зависимости от износа по вершинам профиля h

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА НАПЛАВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

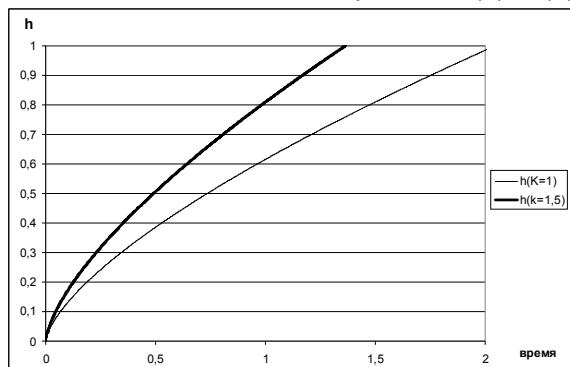
Скорость износа при постоянной силе F , действующей на поверхность, определяется зависимостью:

$$\frac{dh}{d\tau} = K_p P = K_p F / S = \frac{K}{S} \quad (3)$$

С увеличением износа (рисунок 1) площадь контакта (значение tp при $p = 0$) увеличивается, а скорость износа снижается. Площадь контакта при $y = R - h$ пропорциональна by . Рассматривая половину ширины наплавленного валика и ее единичную длину, получено:

$$S = \sqrt{R^2 - (R - h)^2} = h \sqrt{2 \frac{R}{h} - 1} \quad (4)$$

После подстановки выражения (4) в (3),



а)

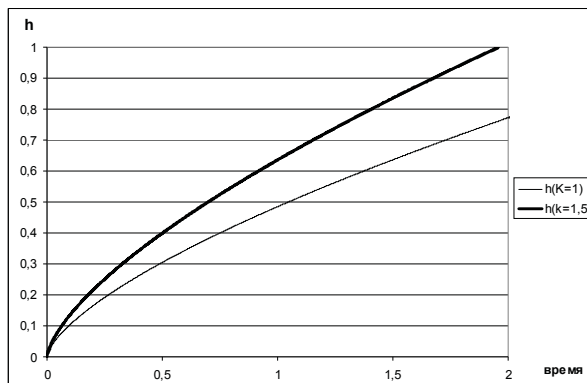
Рисунок 2 – Зависимость износа поверхности от времени при разных коэффициентах K . а) $R = 5$ мм; б) $R = 10$ мм.

При решении задачи стохастической оптимизации целесообразно добавить дополнительные ограничения, связанные с необходимостью обеспечения заданной формы кривой относительной опорной длины профиля. Эти условия можно также сформулировать в стохастической постановке оптимизационной

получено дифференциальное уравнение:

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{K}{h \sqrt{2 \frac{R}{h} - 1}} \quad (5) \quad \text{при начальных условиях: } \begin{cases} \tau = 0 \\ h = 0 \end{cases}$$

На рисунке 2а приведено численное решение уравнения (5) при $R = 5$ мм и различных значениях K . Увеличение K , характеризующее рост силы, действующей на поверхность, увеличивает скорость износа и суммарный износ. В начальный момент времени $h = 0$ и, следовательно, скорость износа $dh/d\tau = \infty$ (рисунок 2). С ростом радиуса скорость износа снижается (рисунок 2б).



б)

задачи с использованием плотностей распределения. Разработанные модели имеют открытую структуру. Их уточненные версии, алгоритмы и программное обеспечение могут служить базой для дальнейшего совершенствования технологий, направленных на повышение долговечности машин..

ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОГО КОНКУРСА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МАСТЕРСТВА В НОМИНАЦИИ «ЛУЧШИЙ СВАРЩИК» 2012

¹Б.И. Мандров, ²А.В. Гергерт, ²В.Н. Борматов

¹Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
²ОАО «Сибэнергомаш»
г. Барнаул, Россия

«Правильность и неправильность подхода проявляется в мелочах» кодекс Бусидо.

В Уфе 4-5 октября с.г. состоялся Всероссийский конкурс профессионального мастерства «Лучший по профессии» в номинации «Лучший сварщик». Алтайский край представлял победитель регионального конкурса электросварщик ОАО «Сибэнергомаш» В.Н. Борматов (рисунок 1).



Рисунок 1 - Электросварщик ОАО «Сибэнергомаш» В.Н. Борматов после жеребьевки

В конкурсе принимали участие 81 человек - 76 победителей региональных конкурсов и 5 победителей конкурсов крупных корпораций. Такой масштаб конкурсу «Лучший сварщик» в 2012 г. придало Постановление Правительства Российской Федерации №1011 от 7 декабря 2011 года. Конкурс состоял из практического испытания по сварке контрольного сварного соединения (КСС) и теоретического испытания, включающего 20 вопросов общей теории сварки. Условия конкурса были объявлены в августе с.г., что позволило своевременно начать подготовку всем участникам.

Кафедрой «Малый бизнес в сварочном производстве» (МБСП) совместно с отделом «Главного сварщика» ОАО «Сибэнергомаш»

была разработана программа подготовки В.Н. Борматова для участия в конкурсе. Предприятие закупило сварочные электроды марки ЛБ-52TRU трубы Ø 159 мм с толщиной стенки 8 мм из стали 20 для изготовления КСС. Кафедрой МБСП был проанализирован опыт предшествующих выступлений и объявленных условий конкурса 2012 г. и предложен подход к подготовке сварщика на основе послонного анализа совершаемых ошибок и наработке компетенций по сварке электродами марки ЛБ-52TRU.

Послонный анализ ошибок (дефектов), позволил выявить, на каких этапах сварки КСС сварщик имеет нестабильные результаты и провести корректировку его практических действий. Было установлено, вышеназванная марка электродов дает большое количество трудно выплавляемого шлака, что требовало повышенного внимания к его удалению при переходе от одного слоя шва к другому. Это могло привести к увеличению времени сварки, но снижало вероятность образования недопустимых дефектов в виде шлаковых включений и снятию всех призовых очков при радиографическом контроле.

Для снижения вероятности образования пор недопустимых нужно было исключить перегрев зоны шва, отработать стабильное зажигание дуги и добиться стабильного горения наиболее короткой дуги.

Всего при подготовке к конкурсу было сварено около 50 КСС, которые подвергались визуальному и измерительному контролю при сборке, сварке корневого, заполняющего и облицовочного шва, а также радиографическому контролю.

Вышеизложенный подход к подготовке сварщика к конкурсу позволил В.Н. Борматову занять почетное 5 место и войти в элиту сварщиков России. Его контрольный сварной стык наряду с контрольным сварным стыком представителя Башкортостана был признан

ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОГО КОНКУРСА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МАСТЕРСТВА
В НОМИНАЦИИ «ЛУЧШИЙ СВАРЩИК » 2012

лучшим при радиографическом контроле.

К сожалению, такая «мелочь» как отсутствие при подготовке сварочного источника питания «Шторм» не позволило нашему участнику добиться «внешнего блеска» сварного шва и занять призовое место. Разница в баллах между 1 и 5 местами составила 1,66 балла, а между 5 и 6 местами 3,58 балла. Мелочей не бывает.



Рисунок 2 – Парад участников конкурса

В целом, по нашему мнению и результатам конкурса, предложенная методика работы со сварщиком себя оправдала и может быть рекомендована для использования как при обучении на разряд, так и при аттестации сварщиков.



Рисунок 3 – Зачистка корневого слоя участником конкурса

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРА ЗАКАЛЕННОЙ БОРИРОВАННОЙ СТАЛИ 20Л

Г. А. Мустафин, Т. В. Мустафина, Г. А. Околович

Алтайский государственный технический университет им И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Различия в коэффициентах линейного расширения боридных фаз и неборированной сердцевины изделия может привести к скалыванию боридного слоя и образованию в нем трещин. Частичного или полного устранения этих дефектов можно добиться путем проведения различного рода термических обработок до и после борирования. Известен случай, когда после закалки с 900°C в воде и низкотемпературного отпуска при 170°C в течение одного часа боридный слой на стали 20 не имел сколов и трещин [1]. В связи с этим было принято решение провести закалку и низкотемпературный отпуск литой борированной стали 20Л по указанному режиму.

Так как сталь 20Л широко применяется для изготовления многоразовых металлических форм-кокилей, необходимо исследовать ее способность к образованию остаточных деформаций. Как известно, накопление больших остаточных деформаций может привести к преждевременному выходу кокиля из строя [2].

Для изучения влияния термообработки на борированные образцы совместно с ними аналогичную термообработку и испытания проводили на неборированных образцах. Борированные и неборированные образцы также совместно подвергались воздействию многократных термических ударов путем нагрева в расплаве силимена с температурой 740°C и охлаждения в воде. Реологические исследования проводились после каждого испытания на специальной установке в температурном интервале $650\ldots 800^{\circ}\text{C}$ при действии постоянной изгибающей нагрузки. Деформации (прогиб) фиксировались с точностью 1 мкм.

На рисунке 1 показана зависимость прогиба образцов от температуры нагрева при действии постоянной нагрузки в течение 3 минут до закалки и отпуска, а на рисунке 2 – деформация с учетом испытаний после механической обработки. Из рисунков следует, что при температуре 650°C деформации обеих образцов близки. Однако при дальнейшем нагреве деформации неборированного об-

разца превышают деформации борированного и при температуре 800°C эта разница уже двухкратная.

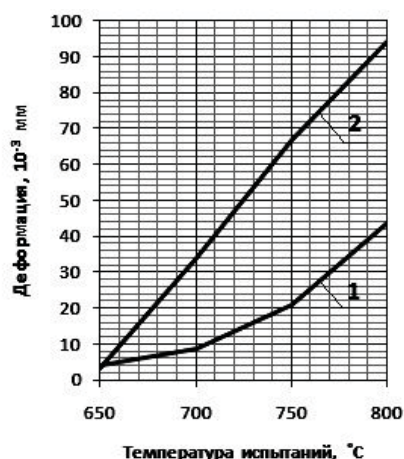


Рисунок 1 – Деформации борированного (1) и неборированного (2) образцов до закалки

На рисунке 3 показана структура борированного образца. Толщина полученного борированного слоя 90 мкм стабильна по всей поверхности образца в исследованном сечении. Слой состоит из тонких сросшихся в основании игл боридов FeB и Fe_2B .

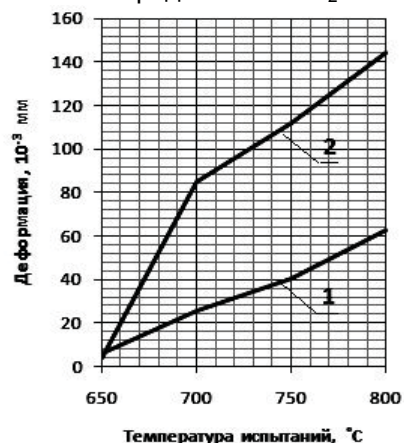


Рисунок 2 – Деформации борированного (1) и неборированного (2) образцов до закалки с учетом деформаций, полученных при испытании после механической обработки.

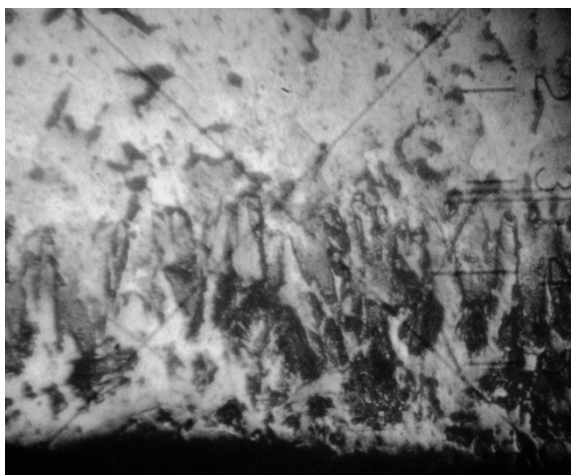


Рисунок 3 – Структура борированного слоя до закали.

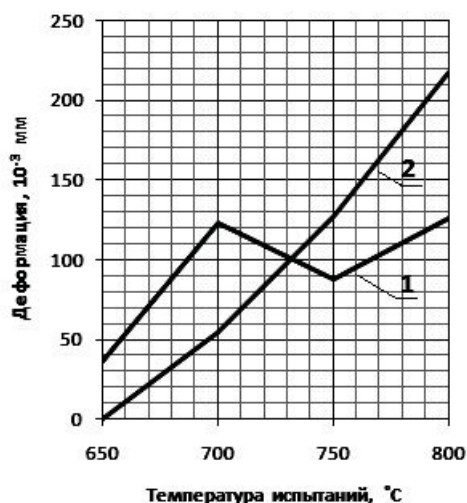


Рисунок 4 – Деформации борированного (1) и неборированного (2) образцов после закали

После закалки и отпуска величина и характер деформаций меняется. При тех же температурах величина деформаций увеличивается в 2...3 раза (рисунок 4). При температурах 650...700°C деформации неборированного образца меньше, но при температурах более высоких температурах деформации этого образца превышают деформации борированного почти в два раза.

После проведения закалки и отпуска толщина боридного слоя увеличилась до 135 мкм (рисунок 6), концы боридных игл скруглились. Микротвердость слоя на глубине до 30-60 мкм от поверхности составляет около 2000 HV₁₀₀, на большей глубине – в среднем 1000 HV₁₀₀, основы 140-150 HV₁₀₀.

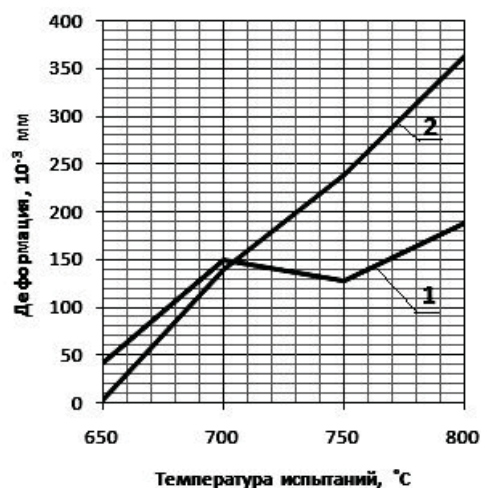


Рисунок 5 – Деформации борированного (1) и неборированного (2) образцов после закалки с учетом деформаций предыдущих испытаний



Рисунок 6 – Структура борированного слоя после закали

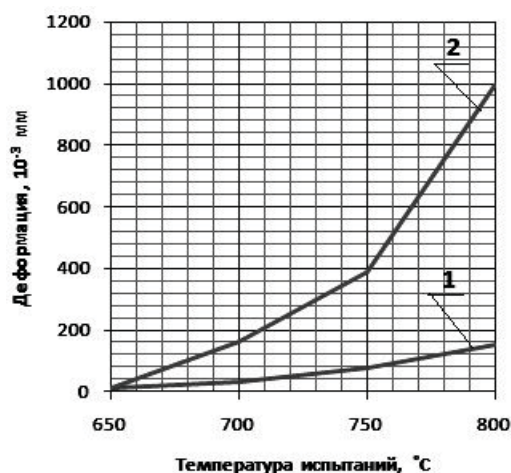


Рисунок 7 – Деформации борированного (1) и неборированного (2) образцов после 200 теплосмен

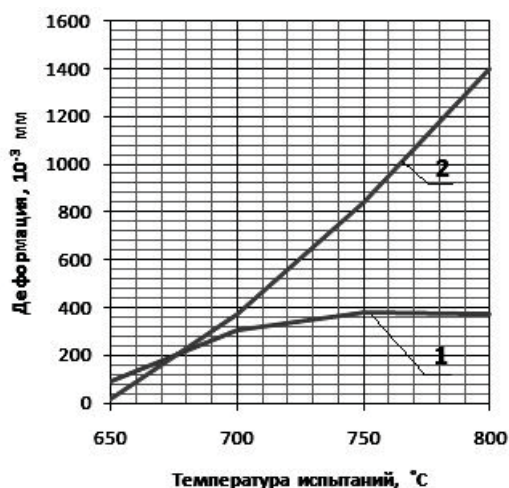


Рисунок 8 – Деформации борированного (1) и неборированного (2) образцов после 200 теплосмен с учетом предыдущих испытаний

Увеличение деформаций после закалки свидетельствует о снятии напряжений литого состояния и улучшения структуры. Воздействие теплосмен приводит к дальнейшему увеличению остаточных деформаций. Однако, деформации, измеренные после 200 теплосмен (рисунки 7, 8) свидетельствуют о том, что борированный образец имеет деформации меньше деформаций неборированного образца в 4-6 раз.

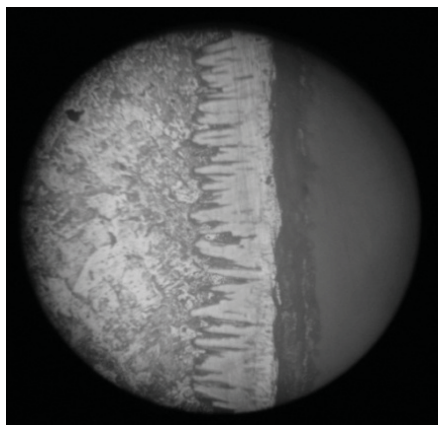


Рисунок 9 – Структура борированного образца после 200 теплосмен, цветное травление, $\times 100$

После термоциклирования в расплаве силумина толщина борированного слоя 120-

130 мкм. Толщина слоя немного уменьшилась, очевидно, из-за воздействия агрессивной среды – жидкого силумина. Слой не имеет трещин, сколов и отслоений. Для предотвращения уменьшения толщины боридного слоя при контакте с расплавом необходимо использовать традиционные защитные покрытия. Структура основы – феррит+ перлит без существенных изменений в процессе термоциклирования.

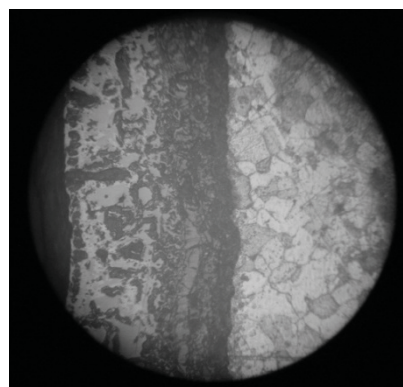


Рисунок 10 – Структура неборированного образца после 200 теплосмен, $\times 100$

Суммарный слой обезуглероженного слоя поверхности неборированного образца (рисунок 10) составил около 1 мм (50% толщины стенки образца). Микротвердость около 120 HV₁₀₀. Отсутствие защиты боридного слоя приводит к значительному ухудшению структуры (рост зерна, окисление границы зерна). Такие изменения структуры приводят к образованию термических напряжений локального характера [2].

Список литературы:

1. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов.-Минск.: Беларусь, 1981.-204 с
2. Литье в кокиль; монография/ С.Л. Бураков и др.; под ред. А.И.Вейника; М., Машиностроение, 1980.-415 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М. В. Доц, А. М. Марков

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Пластмассы конструкционного назначения благодаря разнообразию своих физико-механических свойств широко применяются во многих изделиях современных машиностроительных предприятий. Однако новые марки композиционных материалов не достаточно изучены с точки зрения их механической обработки, рекомендуемых материалов и геометрии режущего инструмента, а также режимов резания обеспечивающих заданные параметры качества обработанной поверхности детали. Кроме того, отсутствие автоматизированных методик проектирования параметров операций для деталей из пластмасс приводит к увеличению периода технологической подготовки производства (ТПП) до 30-40% от общей трудоемкости и становится соизмеримым со сроком нахождения изделия в производстве, а иногда и превышает его. В этих условиях возникает необходимость автоматизации проектных работ на этапах его изготовления для сокращения длительности ТПП.

Решение задачи эффективного управления ТПП для деталей из композиционных материалов возможно с помощью алгоритмов на основе применения искусственных нейронных сетей (ИНС). На сегодняшний день можно говорить о стремительном развитии теории нейронных сетей, которые нашли применение в промышленности, многих областях науки и техники, и способны решать практически любые задачи, связанные с моделированием, прогнозированием, оптимизацией. Разработано большое количество алгоритмов функционирования и обучения нейронных сетей, ведутся работы по созданию алгоритмов оптимизации их структуры с целью повышения быстродействия, качества результатов, снижения времени обучения.

В области машиностроения, в настоящее время, существует тенденция перехода к производственным модулям с высоким уровнем

автоматизации, а это требует все большего и большего количества интеллектуальных саморегулирующихся и самонастраивающихся машин, которые способны обрабатывать широкий диапазон деталей с изменяющимися физико-механическими свойствами и закономерностями обработки, оценивать качество продукта при минимальном контроле и помощи со стороны человека-оператора.

Проблема заключается в том, что, как правило, производственные процессы характеризуются огромным разнообразием динамически взаимодействующих параметров и обычно слишком сложны для создания адекватных аналитических моделей. К тому же на современном этапе развития производства происходит постоянное усложнение задач, требующих решения, что, во-первых, отнимая значительное время на разработку и проверку аналитических моделей, приводит к увеличению общего времени внедрения новых технологических решений, во-вторых, часто превращает рассматриваемую систему в так называемый «чёрный ящик», т. е. систему, для которой отсутствует аналитическая зависимость между входными и выходными параметрами (откликом) системы. Следует также отметить, что в некоторых случаях адекватные описываемому процессу аналитические математические модели оказываются несостоятельными из-за высоких требований к вычислительной мощности.

Авторами предложена методика построения нейросетевых моделей (рис.1) процесса точения деталей, позволяющая моделировать процессы любой сложности по примерам в виде «вход – требуемый выход», полученных экспериментальным путем. Полученные значения в ходе экспериментальной тарной обработки стеклопластика были оформлены в виде базы данных (БД) «Операция точения заготовок из стеклопластика» [1], на которую было получено свидетельство

об официальной регистрации БД. База данных состоит из таблицы обучающей выборки, позволяющей формировать нейросетевые модели характеризующие процесс точения заготовок из стеклопластиков, а также таблиц тестирующей выборки, используемых для оценки качества «обучения» нейросетевых моделей для их дальнейшего применения в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства. Построение нейросетевых моделей происходило с помощью программы NeuroPro025 в соответствии с предложенным алгоритмом моделирования процессов точения деталей из стеклопластиков с помощью ИНС перебором различных вариантов структуры сети, значе-

ний характеристики нелинейного преобразования, диапазона точности выходного сигнала и т.д. Методика применима для других композиционных материалов.

Разработанная по данной методике нейросетевая модель, описывает процесс формирования профиля обработанной поверхности для деталей из стеклопластиков, в зависимости от технологических характеристик операции и конструктивно-геометрических параметров режущего инструмента, позволяет оптимизировать назначение режимов обработки для достижения заданных показателей качества получаемой поверхности.

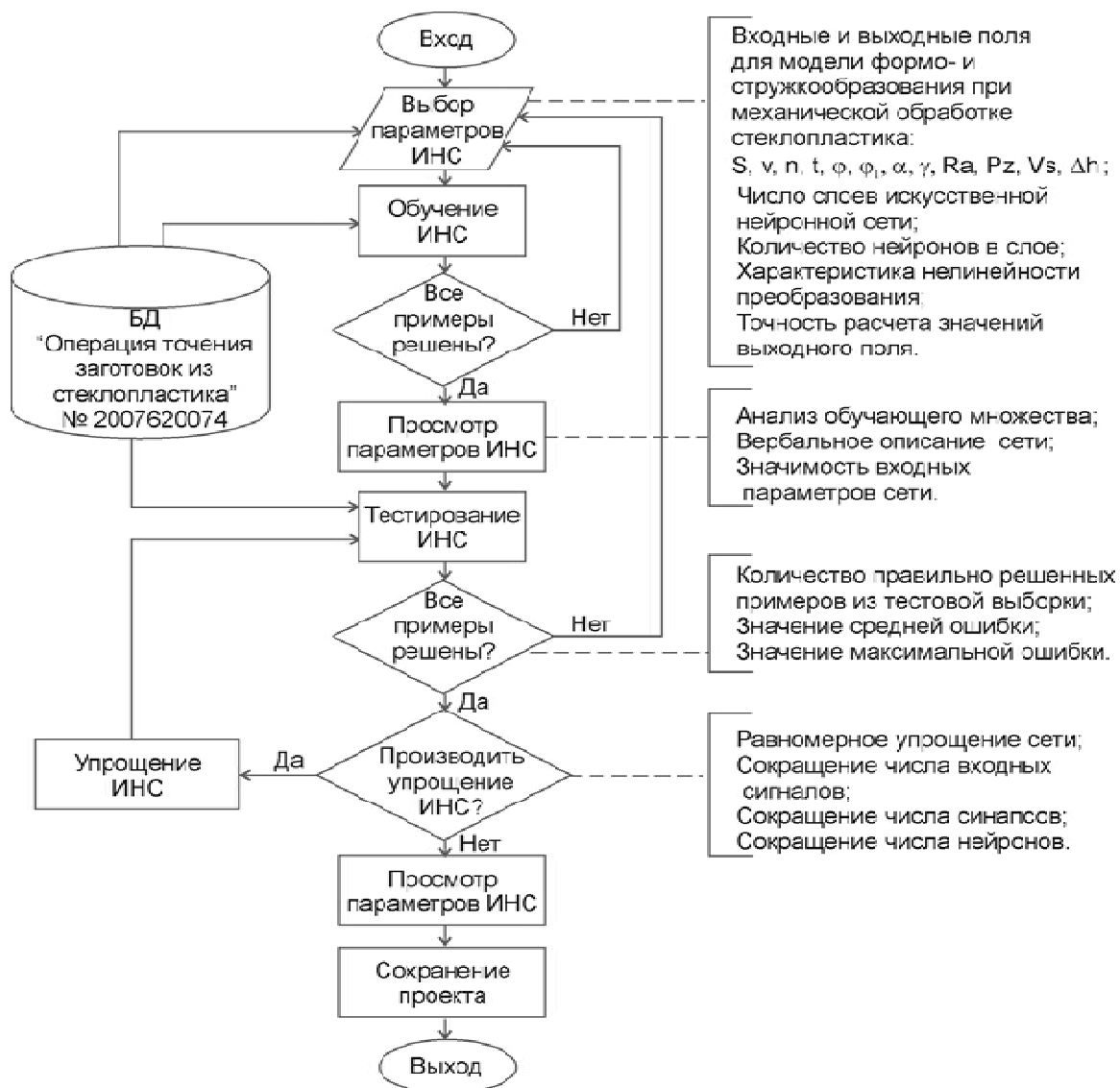


Рисунок 1 – Алгоритм построения нейросетевых моделей

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработанная нейросетевая модель стружкообразования процесса резания для деталей из стеклопластиков, позволяет управлять объемом образующихся при резании пылевых частиц, оказывающих вредное воздействие на человека и окружающую среду.

Используя полученные нейросетевые модели формо- и стружкообразования поверхностей, был разработан алгоритм автоматизированного проектирования токарной обработки деталей из стеклопластиков [2], обеспечивающий повышение ее эффективности и достижение заданных качественных характеристик обрабатываемых поверхностей, за счет оптимизации выбора режимных параметров и конструктивно-геометрических особенностей режущего инструмента.

Таким образом, при совершенствовании технологической подготовки производства деталей из композиционных материалов, всё большее значение приобретают новые аль-

тернативные подходы моделирования производственных процессов с использованием эмпирических моделей с использованием сетей из нейроподобных элементов. Этот подход предоставляет огромные возможности по созданию моделей, работающих в реальном времени с малыми погрешностями, способных дообучаться в процессе их использования.

Список литературы:

1. «Операция точения заготовок из стеклопластика» (ОТС) Свидетельство об официальной регистрации базы данных №2007620074 от 8.02.07г.
2. Доц М.В. Проектирование технологических операций обработки композиционных материалов на основе искусственных нейронных сетей / Доц М.В., Бондарь Е.Б., Марков А.М., Маркин В.Б. // Ползуновский вестник № 1/1 2012. С. 81-84

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ С ПРОГРЕССИВНОЙ СХЕМОЙ РЕЗАНИЯ

О. А. Барсукова, П. О. Черданцев

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Известно, что одной из важнейших проблем машиностроения является снижение себестоимости изделий при условии обеспечения требуемого качества. При этом в настоящее время для отрасли характерно увеличение доли предприятий малого и среднего бизнеса. Одним из направлений снижения себестоимости изделий на таких предприятиях является сокращение издержек, связанных с инструментальным хозяйством. Это достигается, в частности, за счёт применения режущего инструмента, работающего без переточек до полного износа. При таком подходе исключается необходимость в наличии заточного и инструментального участков. Однако работа без переточек может быть экономически эффективной только при использовании инструмента с сопоставимой стоимостью и со значительно большей стойкостью по сравнению с аналогичным, предназначенным для работы с переточками.

Эвольвентные зубчатые передачи имеют весьма широкое распространение. Среди методов зубонарезания наибольшее распространение получило зубофрезерование как наиболее производительный по сравнению с прочими. Однако ему присущ ряд недостатков, к которым можно отнести высокую стоимость инструмента, его низкую стойкость, несмотря на невысокие скорости резания и подачи, необходимость в трудоёмких наладочных работах и в наличии заточного участка для его восстановления, повышающих себестоимость обработки зубчатых колёс. Поэтому повышение стойкости зуборезного инструмента и снижение затрат на его изготовление является важнейшими факторами снижения затрат на операциях зубофрезерования.

На наш взгляд, перспективной представляется комбинированная конструкция неперетачиваемых червячных фрез, работающих по прогрессивной схеме резания. За счёт раздельного стружкообразования, уменьшения толщины срезаемых зубьями слоёв и

возможности увеличения боковых задних углов, не опасаясь сокращения числа возможных переточек, такая фреза по стойкости должна существенно превосходить стандартную, что, учитывая работу без переточек, особенно актуально. В то же время, за счёт увеличенного числа зубьев по окружности, может быть исключён один из основных недостатков фрез с прогрессивной схемой резания, сдерживающих их широкое применение, – увеличение огранки нарезаемых зубьев.

С целью оценки увеличения стойкости неперетачиваемых червячных фрез с прогрессивной схемой резания по сравнению со стандартными, а также установления зависимости стойкости от режимов резания, необходимых для разработки рекомендаций по их эксплуатации, проведены две серии экспериментов.

Поскольку вдоль витка износ по задним поверхностям зубьев червячной фрезы неравномерен (рисунок 1), оценить увеличение стойкости фрезы при изменении задних углов и параметров коррекции зубьев целесообразнее на примере рассмотрения увеличения стойкости наиболее изнашиваемого зуба. Таким образом, целесообразно моделировать процесс резания одного (N-го) из зубьев червячной фрезы, подвергающегося наибольшему износу.

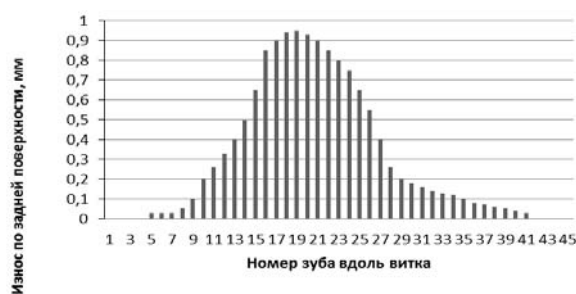


Рисунок 1 – Гистограмма износа зубьев стандартной червячной фрезы по задней поверхности

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ С ПРОГРЕССИВНОЙ СХЕМОЙ РЕЗАНИЯ

Разработана следующая модель процесса зубофрезерования. В качестве режущего инструмента в модели используется дисковая однозубая фасонная фреза (рисунок 2), профиль зуба и геометрические параметры которой соответствуют профилю зуба и геометрическим параметрам червячной фрезы. В качестве заготовки используется цилиндр с предварительно нарезанными продольными канавками, имитирующими впадину зубчатого колеса, остающуюся после работы предыдущего (N – 1)-го зуба.

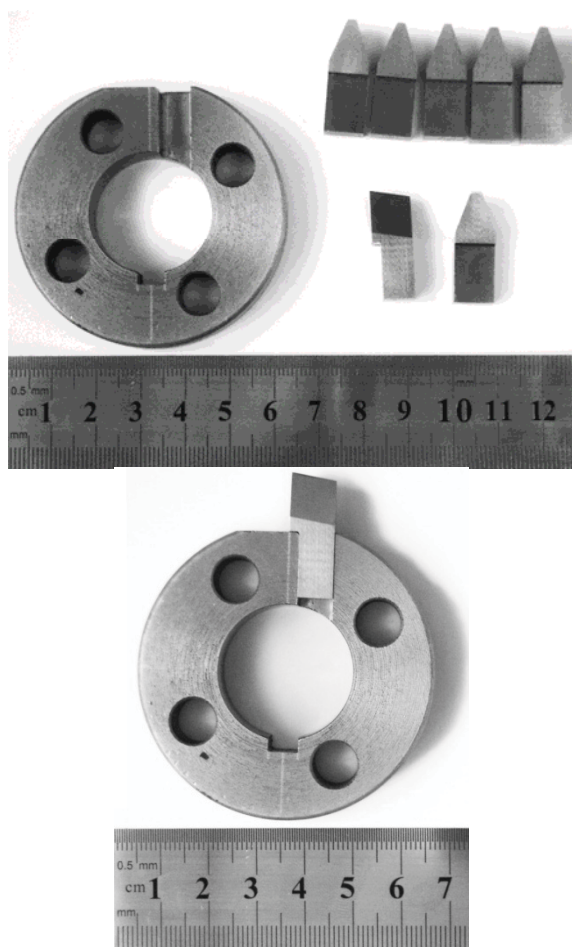


Рисунок 2 – Фреза-модель

Модель была проверена на адекватность. Для этого на первой стадии фрезой стандартной конструкции было осуществлено зубофрезерование пакета заготовок из стали 45 на режимах, назначенных согласно существующим нормативам, исходя из фактической стойкости 240 минут (скорость резания – 35 м/мин, подача – 2 мм/об.ст.). После этого был измерен износ по задним поверхностям зубьев, установлено, какой зуб червячной

фрезы подвергается наибольшему износу (зуб №19 от начала витка, износ 0,94 мм при критерии износа 1 мм, см. рисунок 1). На второй стадии был изготовлен цилиндр с продольными канавками, имитирующими впадину, остающуюся после работы зуба, предшествующего работе наиболее изнашиваемого зуба. Третья стадия заключалась в обработке подготовленного цилиндра дисковой однозубой фасонной фрезой, профиль зуба и геометрические параметры которой соответствуют аналогичным параметрам червячной фрезы. Режимы резания соответствовали режимам при зубофрезеровании на первой стадии. После 240 минут работы износ зуба модели составил 0,85 мм, а величины, соответствующей максимальному износу зуба червячной фрезы (0,94 мм) достиг после 265 минут работы. Разность в величине износа зуба модели по сравнению с износом зуба червячной фрезы по истечении 240 минут работы составила 9,6%, а по стойкости до момента достижения износа в 0,94 мм – 10,4%, что позволяет считать предлагаемую модель адекватной реальному процессу.

Первая серия экспериментов заключалась во фрезеровании фрезой-моделью с зубьями предлагаемого профиля, отличающимися геометрией режущего клина (рисунок 3). Режимы резания при моделировании назначались в соответствии с режимами при зубофрезеровании. При этом измерялось время, в течение которого износ по задней поверхности зубьев достигал той критической величины, что и в эксперименте, осуществленном на этапе проверки модели на адекватность. По результатам этой серии экспериментов установлены геометрические параметры, обеспечивающие наибольшую стойкость инструмента.

Результаты экспериментальных исследований следующие: средняя стойкость зубьев с задним углом на вершинной кромке 15° составила 850 минут, что в 3,54 раза выше стойкости зуба стандартной червячной фрезы между переточками при тех же режимах резания; стойкость зуба с задним углом на вершинной кромке 18° – 930 минут (в 3,86 раза выше стойкости стандартной фрезы); с задним углом на вершинной кромке 20° – 890 минут (в 3,71 раза выше стойкости стандартной фрезы).

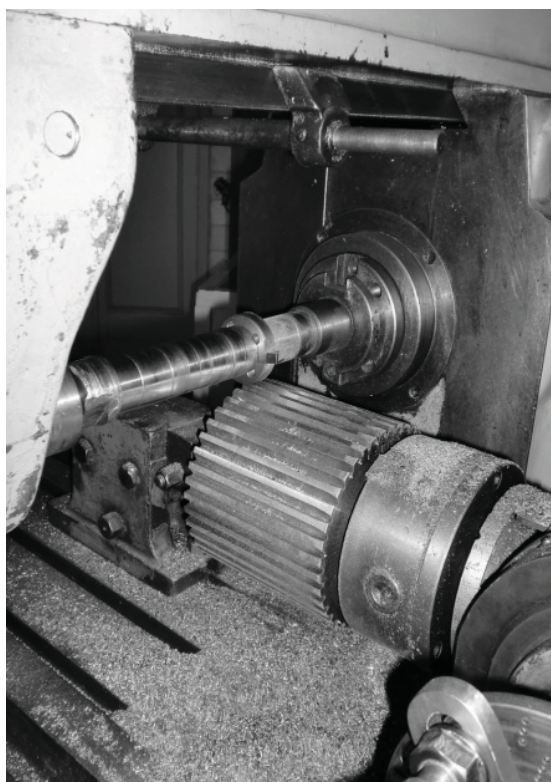


Рисунок 3 – Экспериментальная наладка

Вторая серия экспериментов, проведенная как полный факторный эксперимент 2^2 (таблица 1). Задний угол на вершинной кромке зубьев при этом был назначен равным 18° , как обеспечивающий наибольшую стойкость по результатам первой серии экспериментов.

Математическая обработка полученных результатов позволила установить зависимость стойкости предлагаемых червячных фрез от режимов резания (скорости резания и подачи на оборот стола) в виде степенной модели:

$$T = 15520693,753 \cdot v^{-2,5456} \cdot S^{-0,9574} \quad (1)$$

На рисунке 4 полученная зависимость представлена графически.

Таблица 1 – Режимы резания и полученные результаты во второй серии экспериментов

v , м/мин	S , мм/об. ст.	T , мин
60 (1)	3 (1)	160
		165
		155
		240
60 (1)	2 (-1)	230
		250
35 (-1)	3 (1)	640
		655
		630
		915
35 (-1)	2 (-1)	945
		930

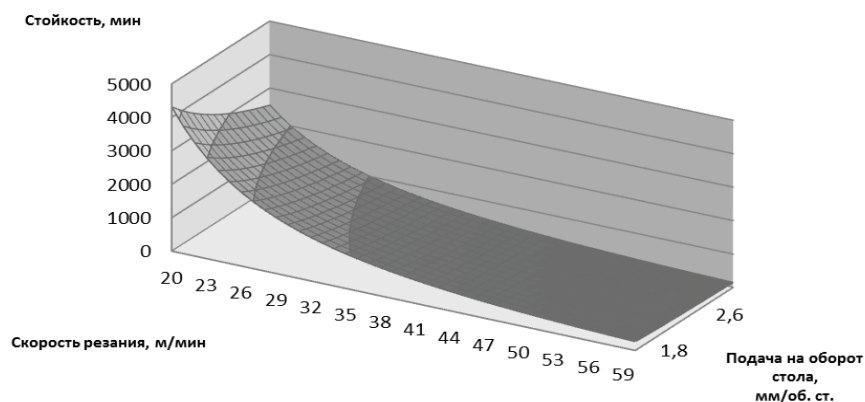


Рисунок 4 – Зависимость стойкости неперетачиваемых червячных фрез от режимов резания

На основании полученной зависимости стойкости от скорости резания и подачи на оборот стола могут быть разработаны рекомендации по назначению экономически целесообразных режимов резания на зубофре-

зерные операции с использованием в качестве режущего инструмента предлагаемых неперетачиваемых червячных фрез с прогрессивной схемой резания.

РАЗВИТИЕ НАУКОЕМКИХ ОТРАСЛЕЙ

О. Л. Никитина

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Под механизмом научно-технологического развития понимается система взаимоотношений между государством, научно-технической сферой и рыночными силами, которая обеспечивает постоянное совершенствование и обновление технологической вооруженности производства[1].

Опыт развитых стран [2] показывает, что процесс образования механизма научно-технологического развития общества во многом сходен с процессом формирования регулируемого государством потребительского рынка. Отличие состоит в том, что в роли потребителей наряду с населением выступают участники производственного сектора, т. е. производственные предприятия и целые отрасли промышленности или сельского хозяйства, заинтересованные в приобретении новых машин и прогрессивных технологий. Спрос на открытия и изобретения со стороны производственного сектора является достаточно неоднородным. Это обусловлено прежде всего тем, что элементы сектора (предприятия и отрасли) имеют различные специфические интересы и в чисто инновационной сфере, и в области хозяйственного управления.

Предприятие в своей деятельности стремится удовлетворять этим потребностям, поскольку выполнение указанных задач позволит обеспечить его постоянное развитие. Однако в данный момент в силу ограниченности возможностей и соответствующих ресурсов может идти речь о решении лишь небольшой части поставленных задач. Поэтому фактически предприятие постоянно осуществляет отбор наиболее важных интересов и потребностей, которые следует удовлетворить в первую очередь.

Главными представителями производственного сектора в активной части механизма научно-технологического развития являются высокотехнологичные (наукоемкие) отрасли производства.

Наукоемкая отрасль производства может быть охарактеризована повышенным, по

сравнению со средним, уровнем наукоемкости, т. е. высоким отношением затрат на НИОКР к общему уровню производственных затрат.

Любая наукоемкая отрасль тесно соединяет в своей деятельности экономическую и социальную функции. Одним из главных факторов развития наукоемкой отрасли является непрерывное повышение ее научно-технического уровня. Как правило, значительный вклад в повышение научно-технического уровня вносят смежные отрасли, которые обеспечивают производство современной техники и готовят прогрессивные материалы для производства продукции наукоемкой отрасли. В процессе развития материальной базы отрасли важнейшую роль играют как повседневные рационализаторские изменения, так и крупные достижения в области разработки новых экономических технологий, которые обязаны своим происхождением достижениям фундаментальной и прикладной науки.

Структура современной наукоемкой отрасли может представлять собой широкоформатный комплекс производств различного масштаба и уровня, начиная от предприятий малого бизнеса, мастерских и специальных опытно-конструкторских организаций до крупных фабрик, заводов и научно-исследовательских организаций.

С содержательной точки зрения всякий инновационный процесс выглядит как последовательное выполнение трех составных частей: фундаментальные исследования, прикладная научная работа и практические (опытно-конструкторские) разработки. Однако в настоящее время имеется немало примеров того, что чисто теоретические работы, главным образом в таких областях, как медицина, биология, создание новых производственных материалов, быстро обнаруживают важное прикладное значение, а многие прикладные исследования дают богатую пищу для фундаментальных изысканий.

В настоящее время очень распростра-

нены случаи, когда малое частное предприятие плотно сотрудничает с большой фирмой, выполняя ее постоянные поручения по распространению и сервисному обслуживанию ее продукции. Подобный симбиоз оказывается полезным для обеих сторон, поскольку он позволяет более тщательно учитывать разнообразные интересы и требования потребителей и тем самым расширять рынок производимой продукции.

Очень большое значение в наукоемкой отрасли может иметь неприбыльный (некоммерческий) сектор. Материальная основа неприбыльных предприятий обычно создается при общественной поддержке, при помощи и за счет средств местной администрации и ее партнеров: университетов, частных фирм, заинтересованных в разработке и продвижении новой наукоемкой продукции, потребительских организаций, научных фондов. Их последующее развитие происходит за счет собственных средств на основе самоокупаемости, с опорой на получение определенного дохода.

Решающую роль в развитии наукоемкой отрасли играют предприятия полностью государственные или имеющие значительную долю государственной собственности. В этот государственный сектор входят организации, которые в силу своего общественного предназначения не могут быть ни частными, ни неприбыльными. В процессе развития наукоемкой отрасли, как показывает опыт развитых стран, возможно очень быстрое накопление и обострение некоторых противоречий и проблем. К числу таких проблем относится ситуация резкого роста расходов и их сравнительно низкой экономической эффективности. В настоящее время успешное формирование механизма научно-технологического развития является следствием политических и социальных условий, складывающихся в обществе. Изучение опыта создания и функционирования аналогичных механизмов в развитых странах позволяет утверждать, что роль государства в решении возникающих проблем чрезвычайно велика. Прежде всего, в центре внимания государства должно быть решение вопросов социального развития населения — начиная от надежного правового обеспечения до серьезного развития образования и здравоохранения. Решение этих задач государственный сектор выполняет

путем совершенствования методов воздействия на научно-исследовательские организации в промышленности, на инновационный бизнес и на внешнеэкономическую сферу в той ее части, которая относится к вопросам научно-технического развития.

Особо важную роль государство должно играть в сфере развития фундаментальной науки. Повышение роли государства в финансировании фундаментальных исследований должно сопровождаться достаточно точным измерением затрат на эти цели, а также расчетами их эффективности и окупаемости. Понятно, что здесь возникают существенные затруднения, поскольку превращение научного достижения в коммерчески выгодный продукт определяется не только результатами научной работы, но зависит также от многих других причин, в основном организационного и управленческого характера.

Усиление действия рыночных сил для повышения практической значимости научных исследований в области нововведений может быть связано с коммерческим подходом к внедрению достижений науки путем, например, расширения масштабов их патентования. Одновременно происходит усиление контактов научно-исследовательских учреждений и университетов с крупными промышленными фирмами, которое ускоряет развитие механизмов инновационной активности в обеих сферах. При этом изменения происходят как в повышении роли рыночного регулирования в научно-исследовательском секторе, так и в увеличении значения фундаментальных научных исследований в лабораториях промышленных компаний, занимающихся прикладными разработками. Активное взаимодействие с промышленными фирмами вносит в деятельность научно-исследовательских организаций элементы здоровой конкуренции, которая способствует преодолению частого в научной среде сопротивления принципиально новому, а также ведет к повышению коммерческой эффективности, о которой шла речь выше. Новые информационные технологии дают фирмам возможность получить ценные и обширные сведения об услугах, предоставляемых научно-исследовательской сферой. Объем этих услуг в области нововведений постоянно расширяется, что делает возможным выполнять все более значительную часть иннова-

ционных работ на основе кооперации со специализированными фирмами и научными центрами, которые располагают сложным современным оборудованием и уникальными специалистами. В этих условиях производство и испытание образцов новых изделий становится менее рискованным делом и будет приводить к более тесному сотрудничеству между заказчиками и исполнителями, что дает, как правило, заметный экономический эффект обеим сторонам. Надежность и устойчивость функционирования научно-технологического механизма во многом обусловлена четкой работой финансовой системы страны. Государство путем использования финансово-кредитных рычагов оказывается способным оказать существенное влияние на темпы и направления хозяйственного развития. Государственные финансы имеют большое значение в регулировании экономики, стимулировании экономического роста и реализации социальных программ.

Для наукоемких отраслей особую важность представляет поддержание достаточно высокого объема государственных затрат на проведение НИОКР. Используя финансовые механизмы, государство имеет возможность воздействовать на формирование основного капитала (средств производства) в передовых отраслях экономики посредством проведения целенаправленных инвестиционных программ. Также государственные средства могут быть направлены в форме субсидий, дотаций и кредитов предприятиям частного сектора в целях поддержки производства новой техники и разработки новых технологий.

По мере развития НТП государственные финансы становятся все более важной со-

ставной частью затрат на воспроизводство и повышение квалификации трудовых ресурсов путем увеличения расходов на социальные цели: образование, здравоохранение, социальное обеспечение. Это связано с тем, что процесс быстрой качественной перестройки производства в ходе НТП требует постоянного изменения профессиональной структуры и повышения квалификации персонала.

Таким образом, институциональная среда в инновационной сфере может быть представлена разными организационно-хозяйственными укладами, причем, как показывает опыт, наблюдается растущая дифференциация форм хозяйственной организации и деятельности путем взаимопроникновения, переплетения, создания различных форм взаимодействия между партнерами, принадлежащими к разным хозяйственным укладам.

Экономическое пространство становится более сложным благодаря созданию вертикально и горизонтально интегрированных образований, а также структур гибридного типа, сочетающих свойства и особенности предприятий различных укладов с целью устранения недостатков и усиления преимуществ каждой из этих форм.

Список литературы:

1. Багриновский К.А., Бендииков М.А. Некоторые подходы к совершенствованию механизма управления технологическим развитием // Ме-неджмент в России и за рубежом. — 2001.
2. Социально-экономическая эффективность: опыт США. Система саморазвития. — М.: Наука, 2010.

АЛГОРИТМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРГСТРУКТУРЫ ВУЗА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ И ЭТАПОМ РАЗВИТИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

О. Б. Дронова

Алтайский государственный технический университет им.И.И.Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Основная функция системы управления – это создание внутренних условий для адекватного реагирования на изменения, происходящие во внешней среде вуза. Отсюда следует вывод о том, что растущая нестабильность внешней среды требует от вузов разработки все более сложных и детализированных систем управления ими.

Современная тенденция в теории и практике менеджмента состоит в проектировании организационных систем, учитывающей требования ситуаций, которые изобилуют случайностями. В этом отношении ни механистическая, ни органическая модели не являются эффективными – все зависит от ситуации.

Вышеизложенное определяет основы подхода к процессу организационного проектирования, который можно представить в виде алгоритма проектирования. Данный алгоритм определяет переход к новой структуре, соответствующей выбранной стратегии и целевым задачам применительно к конкретным условиям её функционирования. Данный алгоритм можно представить схематично (рисунок 1).

Модернизация или проектирование новой организационной структуры предполагает, прежде всего, диагностику соответствия сложившейся структуры требованиям и этапу развития внешней среды.

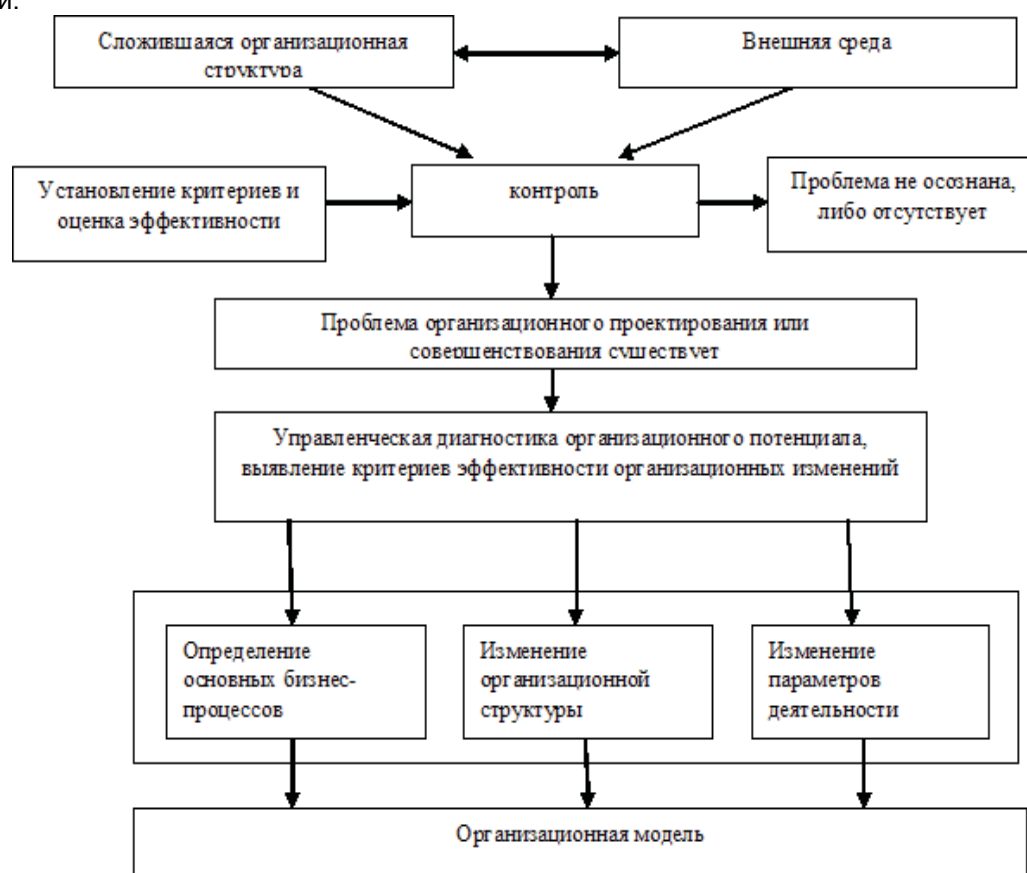


Рисунок 1 – Алгоритм организационного проектирования

АЛГОРИТМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРГСТРУКТУРЫ ВУЗА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ И ЭТАПОМ РАЗВИТИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Структурный анализ включает в себя анализ строения организационной структуры с позиции рациональности разделения труда, взаимосвязей между ее элементами в ходе осуществления бизнес-процессов (т.е. оценивается степень сложности, характеризующая степень горизонтальной и вертикальной дифференциации различных видов управленческой деятельности) и соотношение степени централизации и децентрализации управления, то есть оценивается рациональность структуры.

Организационную структуру, являющуюся формой внутреннего строения организационной системы, невозможно рассматривать

в отрыве от функций, определяющих ее сущность и содержание.

По содержанию каждая конкретная функция управления является комплексной, т.е. включает в себя ряд частных функций. Целесообразным является детализация функционального разделения труда по конкретным подразделениям и должностным лицам. Для этого строится органограмма или матрица функционального разделения труда (матрица ответственности), анализ данных которой позволяет выявить состав исполнителей, характер и целесообразность принятого разделения функций между исполнителями (таблица 1).

Таблица 1 – Фрагмент матрицы – ответственности образовательного процесса вуза

Подпроцессы / подразделения, ответственные за выполнение	Учебно-методическое управление (УМУ)	Приемная комиссия	Учебный факультет
Отбор абитуриентов		X		
Учебно-организационной деятельность			X	
Подготовка учебно-методического процесса	X			
.....				

Количественная оценка соответствия оргструктуры требованиям внешней среды

На основе обобщения различных методологических подходов для количественной оценки структуры могут быть рассчитаны следующие показатели:

1) уровень рациональности структуры:

$$K_{p.c.} = A_{\phi} / A_{и}, \quad (1)$$

где $K_{p.c.}$ – уровень рациональности структуры, коэфф.;

A_{ϕ} , $A_{и}$ – количество структурных подразделений фактически и по «идеальной» структуре соответственно (под «идеальной» понимается структура, полученная в результате бенчмаркетинговых «сравнительных» исследований. Мы отошли от понятия типовой организационной структуры в силу научной необоснованности последней).

2) уровень управляемости:

$$K_{yi} = Y_{\phi i} / Y_{ni}, \quad K_y = K_{yi} / n,$$

где K_{yi} – уровень управляемости i-го линейно-функционального подразделения вуза, коэфф.;

$Y_{\phi i}$ – фактическая численность работников i-го линейно-функционального подразделения вуза, чел.;

Y_{ni} – норма управляемости i-го линейно-функционального подразделения вуза, чел. (целесообразно под нормой управляемости использовать не широко распространенные отраслевые методические рекомендации, а результаты «бенчмаркетинговых сравнительных» исследований).

K_y – средний уровень управляемости оргструктуры вуза, коэфф.;

n – число линейно-функциональных подразделений вуза;

3) соотношение численности линейного и функционального персонала:

$$K_c = \text{Чл.}_{\text{АУП}} / \text{Чф.}_{\text{АУП}}, \quad (2)$$

где K_c – коэффициент, характеризующий соотношение численности линейного и функционального персонала, коэфф.;

$\text{Чл.}_{\text{АУП}}$ – численность линейного руководства, чел.;

$\text{Чф.}_{\text{АУП}}$ – численность функциональных руководителей, чел.

В вузе линейными руководителями являются непосредственно деканы факультетов, а функциональными – начальники управлений.

Количественная оценка функционального разделения труда может быть дана по следующей системе показателей:

- 1) коэффициент полноты выполнения функций управления (K_n):

$$K_n = T_{\phi} / T_n, \quad (3)$$

где T_{ϕ} , T_n - состав функций управления соответственно фактический и нормативный;

- 2) коэффициент дублирования функций управления K_d :

$$K_d = T_y / T_{\phi}, \quad (4)$$

где T_y - трудоемкость дублируемых функций управления, чел-час;

T_{ϕ} - общая трудоемкость управленческих функций, чел-час;

Трудоемкость j -той функции управления можно рассчитать как:

$$T_j = Q_j \cdot H_{epj}, \quad (5)$$

где Q_j - количество человеческих ресурсов, необходимое для выполнения j -й функции, чел.,

H_{epj} - норма времени на j -ю функцию (чел-час);

- 2) коэффициент концентрации функций управления (K_k):

$$K_k = P_{\phi} / P_o, \quad (6)$$

P_{ϕ} - объем работ по функции в подразделении, являющемся основным исполнителем; P_o - общий объем работ по данной функции;

- 3) коэффициент централизации функций управления ($K_{ц}$):

$$K_{ц} = P_{AUP} / (P_{AUP} + P_y), \quad (7)$$

где P_{AUP} - объем работ по функции, выполняемой в подразделении аппаратом управления;

P_y - общий объем работ по функции, выполняемой в подразделении.

Объем работ по j -той функции, выполняемый в i -м линейно-функциональном подразделении вуза является значением показателя результативности по данной функции P_j^i .

Конечным критерием эффективности при сравнении различных вариантов структуры является наиболее полное и устойчивое достижение целей.

Однако существует множество факторов (помимо структурных), влияющих на достижение цели, и закладывающих организационную дисфункцию уже на стадии проектирования.

Одна из них бюрократия. Под данной патологией понимается, прежде всего, использование власти, которую дает должность. Однако властные полномочия применяются в данном случае только для решения личных проблем и/или усиления личной власти.

Вторая безсубъектность. Данная патология характеризуется тем, что система построена так, словно от работника ничего не зависит. Дисфункциональный характер усугубляется, когда сами работники понимают выгоды подобного положения и используют их.

В функциональной системе управления могут возникать различные ситуации, отражающие патологию безсубъектности. Эти ситуации укрупнено можно сгруппировать в три вида:

- когда за выполнение отдельных управленческих функций, составляющих единый управленческий процесс, несут ответственность руководители различных подразделений;

- когда периодически между руководителями подразделений возникает спор о том, кто должен выполнять данную управленческую функцию. Каждый из руководителей считает, что эта функция не входит в зону его компетенции;

- когда происходит пересечение полномочий (дублирование функций).

Переход от функциональной ориентации при построении организационных систем к процессной, означает модификацию традиционной (функциональной) парадигмы менеджмента. В современных условиях в основу построения и функционирования организационной системы закладывается принцип интеграции управленческой деятельности. Проектируемые организационные системы включают элементы разных организационных систем, что позволяет перейти к новой модели на любой стадии организационного развития.

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРУППОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

А. М. Марков, М. И. Маркова, Е.М. Плетнёва

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Сложным и ответственным моментом при проектировании группового технологического процесса является формирование технологических групп [1]. На этом этапе во внимание принимаются не только конструктивные признаки деталей, но и точностные (точность размеров, формы, взаимного расположения и шероховатость обрабатываемых поверхностей), технологические (общность технологий), инструментальные (общность оснащения), организационно-плановые (единое планирование и организация производства). Учитывая, что современный металлорежущий станок с ЧПУ позволяет реализовать

различные виды заготовок (точение, фрезерование, растачивание), то в условиях мелкосерийного производства за основу формирования групп целесообразно использовать набор операций, выполняемых на определенном типе оборудования, установленного на участке. Кроме того, необходимо принимать во внимание технико-экономические признаки, к которым относятся количество операций и трудоемкость их выполнения для каждой детали.

Предлагается следующий алгоритм формирования технологических групп (рисунок 1).

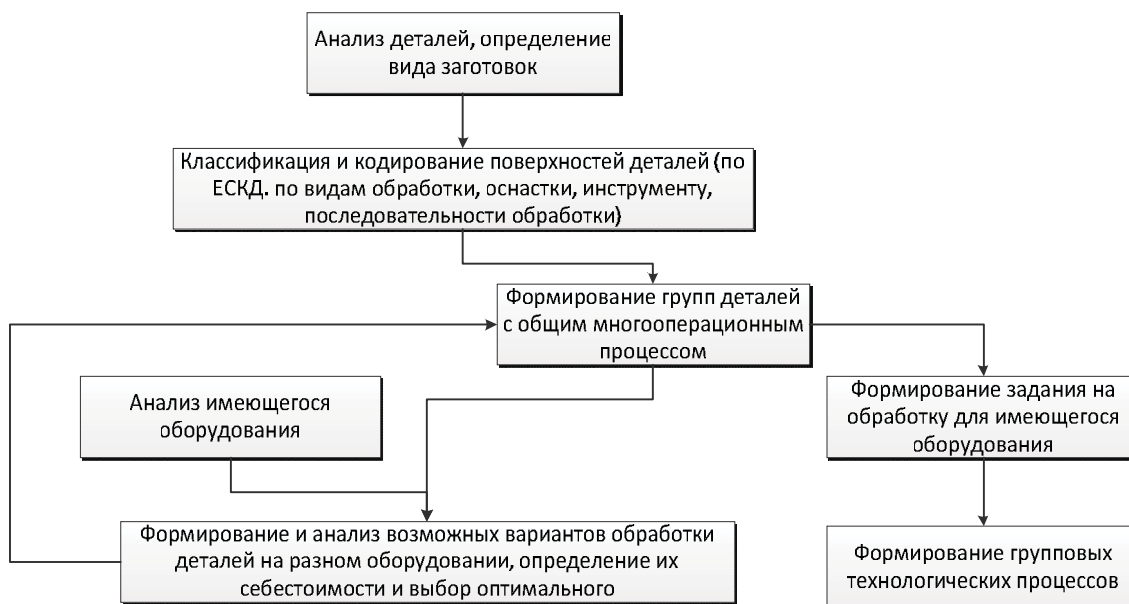


Рисунок 1 – Алгоритм проектирования группового технологического процесса.

В качестве примера реализации предложенного алгоритма сформирован групповой технологический процесс обработки деталей на участке, имеющем фрезерные и токарные станки с ЧПУ. Для деталей, производство которых необходимо осуществить на имеющемся оборудовании за определенный срок, был проведен предварительный анализ с целью установления общих конструктивных

и точностных признаков, а также определения методов получения заготовок. Набор деталей приведен на рисунке 2. Поскольку количество деталей небольшое, то группирование деталей целесообразно проводить по деталям операциям. Как видно из рисунка, конструкция деталей не позволяет сформировать для них комплексную деталь.

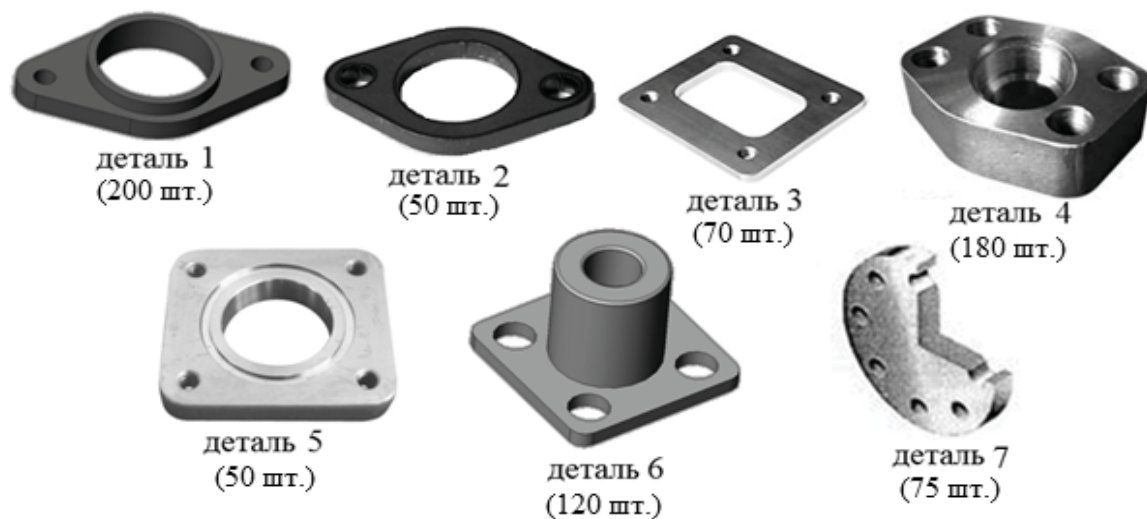


Рисунок 2 – Набор деталей для групповой обработки.

На следующем этапе было произведено объединение в группы однотипных поверхностей деталей, с использованием классификатора ЕСКД. После чего для каждой поверхности определено оборудование, на котором она может быть обработана, необходимый инструмент и оснастка. Рассмотрены все возможные варианты. Затем определена по-

следовательность обработки поверхностей, с указанием установа, и рассчитано время обработки поверхностей, с помощью САПР-систем.

В таблице 1 приведены варианты обработки поверхностей детали 1 на фрезерном и токарном станке.

Таблица 1 – Варианты обработки детали 1.

№ п/п	Код поверхности по ЕСКД	Обработка на фрезерном станке с ЧПУ			Обработка на токарном станке с ЧПУ			Разница времени (Δ , мин.)
		№ установа	Название операции	Основное штучное время, мин.	№ установа	Название операции	Основное штучное время, мин.	
1	8	1	Фрезерование торца	0,04	1	Подрезка торца	0,03	0,01
2	13	2	Сверление центрального отверстия	0,04	2	Сверление центрального отверстия	0,04	0
3	13	2	Зенкерование центрального отверстия	0,02	2	Растачивание центрального отверстия	0,13	-0,09
4	60	2	Фрезерование верхней поверхности	0,35	2	Точение цилиндра	0,3	0,05
5	16	2	Сверление малых отверстий	0,3		-----		
6	64	3	Фрезерование по контуру	0,8		-----		
				$\Sigma 1,5$ 5				$\Sigma 0,5$

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРУППОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Далее был осуществлен выбор варианта обработки детали с наименьшим временем обработки, но с учетом наименьшего количества переустановов детали, сформирован первоначальный технологический маршрут обработки детали. Поскольку для токарного станка время обработки торца меньше, то выбран подрезание торца на токарном станке. На втором установе на фрезерном станке обрабатывается три поверхности и выполняется четыре перехода, а на токарном только две поверхности и три перехода. Суммарное время обработки поверхностей на втором установе на фрезерном станке меньше, поэтому выбран фрезерный станок. Обработка контура детали возможна только фрезерованием. Сумма основного штучного времени обработки детали 1 на фрезерном станке составила 1,5 минут, на токарном станке 0,03.

Аналогичным образом были проведены расчеты для остальных деталей. С учетом количества изготавливаемых деталей в партии, сумма основного времени обработки всех

семи деталей для фрезерного станка составила 1266,6 минут, а для токарного 292,35 минут (таблица 2). Соответственно время простоя токарного станка составило 974,25 минут. Поскольку станки загружены неравномерно, был проведен анализ загрузки оборудования и перераспределена обработка деталей, с целью сокращения простоя токарного станка.

После перераспределения сумма основного операционного времени обработки всех семи деталей для фрезерного станка составила 1012,3 минут, для токарного 449,25 минут (таблица 2).

Объединение деталей в группы по операциям отражено в таблице 3.

При формировании задания на обработку для станков, первоначально детали подавались последовательно от 1 до 7 (рисунок 3). Чтобы избежать простоя фрезерного станка последовательность была изменена (рисунок 4).

Таблица 2. Результат расчета основного времени для станков.

	фрезерный станок, мин.	токарный станок, мин.	Разница, мин.
Первоначальное основное время, мин	1266,6	292,35	974,25
Измененное основное время, мин	1012,3	449,25	563,05

Таблица 3. Группирование деталей по деталям операциям с учетом последовательности обработки, где индекс – номер установка детали.

	№ детали								№ детали						
Фрезерный станок	1	2	3	4	5	6	7	Токарный станок	1	2	3	4	5	6	7
сверл. мал.отв.	5 ₃	5 ₃	5 ₃	5	6	6	4	подрезка торца	1 ₁	1 ₁	1 ₁	1 ₁	1,2 ₁	1 ₁	1,2 ₁
фрезер. контура	6 ₄	6 ₄	6 ₄	7	7			сверл. центр.отв.	2 ₂	2 ₂		2 ₂	2 ₂	2 ₂	
фрезер.вер. пов-ти		4 ₃	4 ₃	4	4			расточив. центр.отв.	3 ₂	3 ₂		3 ₂	3 ₂	3 ₂	
сверл. центр.отв.			2 ₃					точение цилиндра	4 ₂					4 ₂	3 ₂
фрезер. центр.отв			3 ₃					точение пов-ти						5 ₂	
фрезер. паза					5										

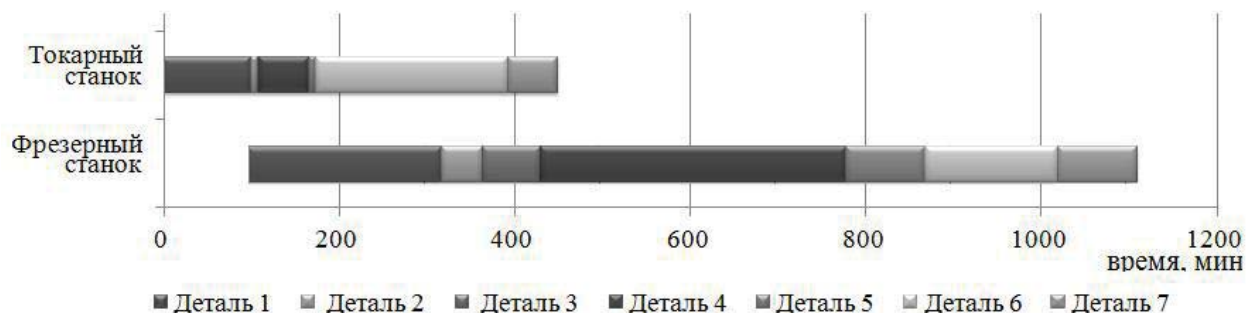


Рисунок 3 – Первоначальная последовательность обработки деталей на станках.

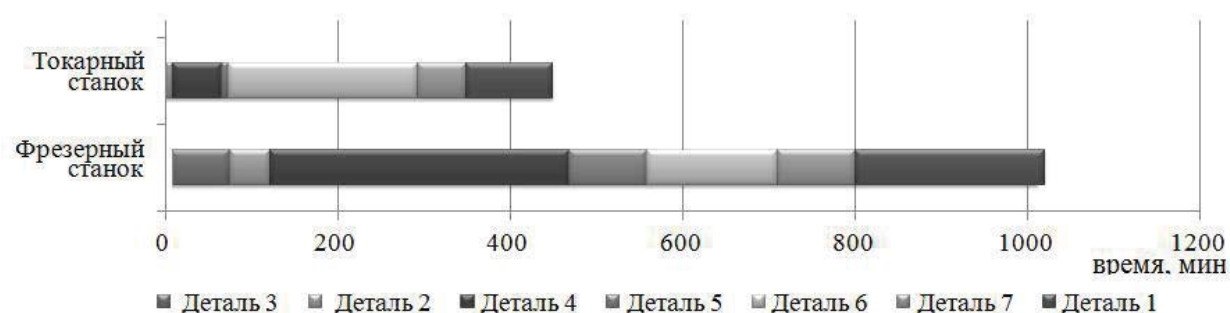


Рисунок 4 – Скорректированная последовательность обработки деталей на станках.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет группировать детали по детали-операциям и сформировать оптимальное задание на обработку для имеющегося оборудования, что обеспечивает снижение себестоимости продукции и повышает производительность труда. Данный алгоритм может быть реализован на современных предприятиях в условиях мелкосерийного и серийного

производства.

Список литературы:

1. Митрофанов С. П. Групповая технология машиностроительного производства Т 1 Организация группового производства Л.: Машиностроение, 1983. 407 с.

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРА БОРИРОВАННОЙ СТАЛИ 20Л ПОСЛЕ НОРМАЛИЗАЦИИ

Т. В. Мустафина, Г. А. Мустафин, Г. А. Околович

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Для получения максимальных показателей механических и эксплуатационных свойств борированных деталей рекомендовано проводить термообработку после борирования по режимам, соответствующим маркам сталей [1]. Для стали 20Л рекомендуется основной режим термообработки нормализация при $880\ldots 900^{\circ}\text{C}$ с последующим высокотемпературным отпуском при $630\ldots 650^{\circ}\text{C}$ [2].

Экспериментальные образцы подвергались борированию термоциклированием при температурах 970°C и 700°C [3]. При максимальной температуре цикла образцы выдерживались 40 минут, при минимальной – 15 минут. Таким образом было выполнено 4 цикла. После борирования контейнер без распаковки охлаждался на воздухе до 100°C и затем помещался в нагретую до 890°C печь и выдерживался при этой температуре 1 час. После этого контейнер вынимался из печи, охлаждался на воздухе до 300°C и помещался в печь и выдерживался при 650°C в течение 1 часа. После выдержки в печи контейнер с образцами охлаждался на воздухе до комнатной температуры.

Затем борированные и неборированные образцы подвергались воздействию многократных термических ударов путем нагрева в расплаве силумина с температурой 740°C и охлаждения в воде. Реологические исследования проводились после каждого испытания на специальной установке в температурном интервале $650\ldots 800^{\circ}\text{C}$ при действии постоянной изгибающей нагрузки. Деформации (прогиб) фиксировались с точностью 1 мкм. Металлографические исследования проводились на микроскопе ММР-4. Металлографические шлифы готовились по стандартной методике. Микротвердость образцов измеряли по методу Виккерса на приборе ПМТ-3 при нагружении индентора 100г. Смещение алмазного индентора в зоне борированного слоя проводилось с шагом 30 мкм, а в зоне основного металла – 60 мкм.

Результаты измерения деформаций

приведенные на рисунке 1 позволяют сравнить влияние на свойства образцов нормализации с отпуском. Наименьшую остаточную деформацию имеет борированный образец без термообработки. Нормализация увеличивает деформацию борированного образца, которая остается в 1,5 раза меньше деформации неборированного.

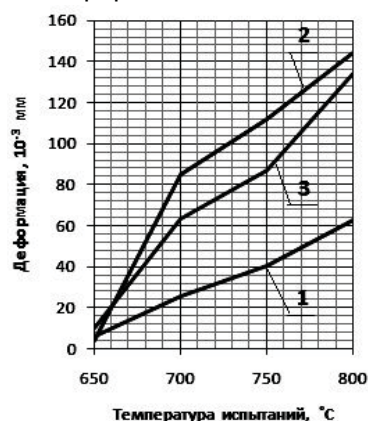


Рисунок 1 – Остаточные деформации образцов после различных режимов термообработки: 1 – образец после борирования без ТО; 2 – неборированный образец после закалки и отпуска; 3 – борированный образец после нормализации.

Результаты измерения деформаций, приведенные на рисунке 2, позволяют оценить влияние различных видов обработки на свойства образцов. Минимальную деформацию имеет борированный образец после нормализации, т.е. после режима обработки, который наиболее характерен для стали 20Л. Наихудшие показатели (наибольшие деформации) у неборированной стали после закалки и отпуска. Промежуточное положение занимает борированная сталь после закалки с 900°C и низкотемпературного отпуска.

Результаты, приведенные на рисунке 3 позволяют оценить изменения свойств при термоциклировании в жидком высокотемпературном расплаве. Прежде всего необходимо отметить, что тепловые удары повышают

склонность к образованию остаточных деформаций у всех образцов. В большей степени это относится к неборированным образцам. Меньшие деформации имеют борированные образцы. Увеличение количества теплосмен в 2 раза повышает величину остаточных деформаций также в 2 раза.

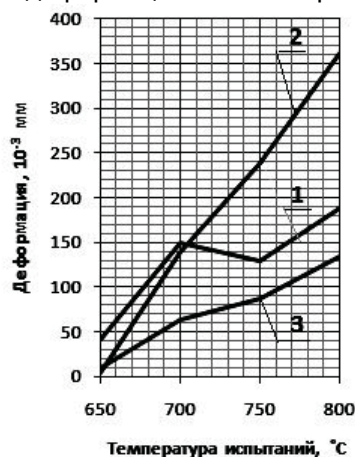


Рисунок 2 – Остаточные деформации образцов после различных режимов ТО: 1 – образец после борирования, закалки и отпуска, 2 – образец неборированный после закалки и отпуска, 3 – образец борированный после нормализации

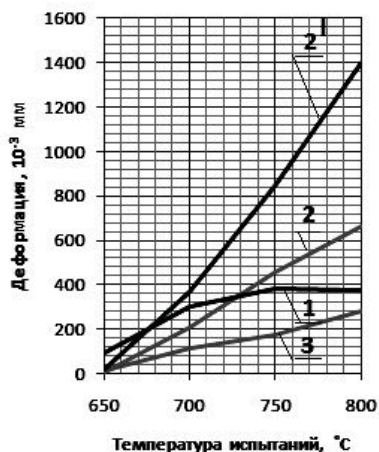


Рисунок 3 – Остаточные деформации после теплосмен: 1 – борированный и закаленный образец после 200 теплосмен, 2 – неборированный закаленный образец после 100 теплосмен, 2' – неборированный закаленный образец после 200 теплосмен, 3 – борированный образец после нормализации и 100 теплосмен

Толщина борированного слоя до испытания термоударами составляет 135-140 мкм. После 50 теплосмен толщина борированного

слоя практически не меняется. Заметное уменьшение толщины слоя до 90-105 мкм происходит после 100 теплосмен. Однако сколы и трещины отсутствуют.



Рисунок 4 – Микроструктура борированной стали после нормализации (травление 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте), $\times 200$

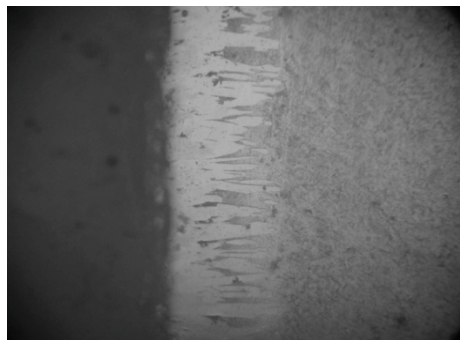


Рисунок 4 – Микроструктура борированной стали после нормализации (без травления), $\times 200$

Уменьшение толщины происходит за счет выгорания фазы FeV. Это можно предотвратить путем применения традиционных кокильных покрытий.

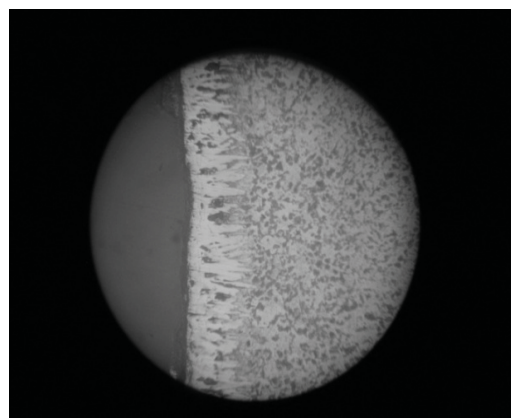


Рисунок 5 – Микроструктура борированной стали после нормализации и 50 теплосмен (травление 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте), $\times 100$

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРА БОРИРОВАННОЙ СТАЛИ 20Л ПОСЛЕ НОРМАЛИЗАЦИИ

Толщина слоя 120 – 135 мкм, при отсутствии изменений в соотношении долей феррита и перлита в основе металла.

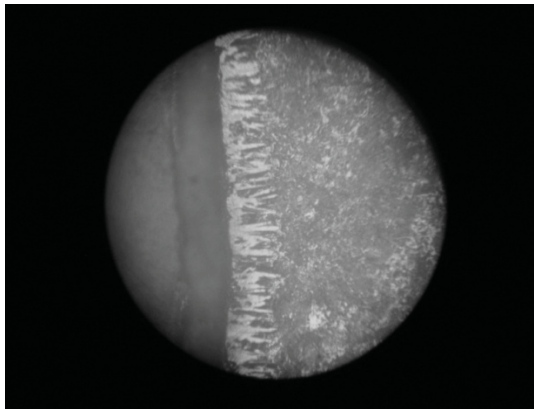


Рисунок 6 – Микроструктура борированной стали после нормализации и 100 теплосмен (цветное травление), $\times 100$

Вследствие воздействия теплосмен очертание боридных игл стало более резким и грубым, окаймленными светлыми полями с эвтектическими участками. При этом в структуре стали произошло небольшое увеличение зерна с образованием микрорельефа, что не оказало влияния на прочностные характеристики боридного слоя, и которое устраняется дополнительной термообработкой, а в реальных условиях работы кокиля предотвращается нанесением теплоизолирующих красок на его рабочую поверхность. В то время как в структуре неборированного образца произошли необратимые изменения: обезуглероживание 50% толщины образца, значительный рост ферритного зерна.

Исследование микротвердости показало, что в литом состоянии сталь 20Л имела в зоне перлитных областей микротвердость 210-220 HV_{100} , в зоне ферритных игл - 160-180 HV_{100} , а в двухфазной зоне Ф+П – 190-205 HV_{100} .

После борирования происходит уменьшение микротвердости феррито-перлитной основы до 128-160 HV_{100} . После 50 теплосмен происходит упрочнение и повышение микротвердости до 144 – 168 HV_{100} . После

100 теплосмен происходит уменьшение микротвердости до 144 – 146 HV_{100} . Средняя микротвердость боридного слоя не имела значительных изменений. До расстояния 30 мкм это 2060 HV_{100} , до 90 мкм – 1500 HV_{100} , до конца боридных игл – 700-1000 HV_{100} . Это соответствует выводам сделанным при исследовании структуры образцов.

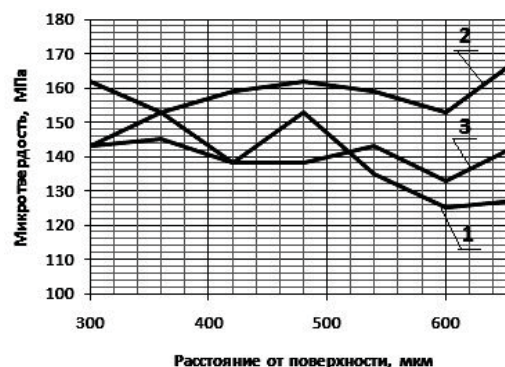


Рисунок 9 – Микротвердость основы: 1 – после борирования; 2 – после 50 теплосмен; 3 – после 100 теплосмен

Металлографические исследования боридных слоев после 100 и 200 теплосмен в алюминиевом расплаве показали их высокую стойкость как после закалки, так и после нормализации.

Список литературы:

1. Полянский Ю.В., Табаков В.П., Тамаров А.П. Технологические методы повышения износостойкости режущего инструмента и деталей машин: Учебное пособие. Ульяновск: УлГУ, 1999. 69 с.
2. Стали и сплавы. Марочник: Справ. Изд./ В.Г. Сорокин и др. Науч. С77 ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев – М.: «Интермет Инжиниринг». 2001. – 608 с. Ил.
3. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термодинамического борирования. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000, 216 с. с илл.

РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАСПЛАВЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**В. Б. Деев, С. А. Цецорина, А. В. Прохоренко,
В. Н. Алхимов, Д. В. Воробьева**
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Применение повышенного количества лома и отходов при производстве отливок из алюминиевых сплавов способствует насыщению расплавов неметаллическими включениями, газами и микронеоднородностями различных размеров и составов, приводит к увеличению содержания в сплавах нежелательных примесей, грубокристаллическому строению структуры, пористости и другим негативным явлениям. Все это значительно снижает качество литых изделий.

Исследование влияния различной шихты на свойства сплава АК7ч показало (таблица 1), что чем больше в шихте содержится лома и отходов, тем ниже уровень механических свойств в литом состоянии и повышенное содержание неметаллических включений. При этом химический состав полученных сплавов интервалов соответствовал составу АК7ч. То есть, попадание в регламентируемые ГОСТ 1583-93 интервалы содержания основных и примесных компонентов еще не гарантируют получение мелкозернистой структуры и качественного литья. Рафинирование сплавов (таблица 1) не дает достаточного эффекта при содержании в шихте вторичных материалов более 30 %.

Следует заметить, что отдельные не-

удачи по работе с вторичными материалами создали о них мнение как о нежелательных составляющих шихты. Между тем, разница в цене между чушковыми и вторичными материалами составляет, в среднем, в 2...2,5 раза. И если бы удалось увеличить их содержание в шихте до 80...100 % при гарантированном получении необходимого уровня механических свойств (не ниже требований ГОСТ 1583-93), то это позволило бы получить существенную экономию при производстве отливок.

Представляется, что для получения качественных отливок с использованием повышенного количества лома и отходов помимо тщательной организации сбора, сортировки и подготовки шихтовых материалов и учетом наследственности используемой шихты необходимо создание эффективных технологий рафинирующей и модифицирующей обработки расплавов в процессе плавки, заливки в литейные формы, кристаллизации. Из всех существующих способов обработки металлических расплавов перспективы имеют физические воздействия, которые показали [1, 2] свою эффективность в технологиях получения качественного литья.

Таблица 1 – Свойства сплава АК7ч при различном содержании лома и отходов в шихте

Используемая шихта, %	Свойства сплава (без рафинирования / с рафинированием) ¹		
	σ_B , МПа	δ , %	Al_2O_3 , %
100 чушковых материалов	202/210	4,3/5,0	0,032/0,028
70 чушковых материалов + 30 лома и отходов ²	186/197	3,6/4,2	0,044/0,034
50 чушковых материалов + 50 лома и отходов	178/190	3,2/3,5	0,052/0,043
30 чушковых материалов + 70 лома и отходов	162/170	2,3/2,7	0,061/0,054
100 лома и отходов	149/155	1,5/1,8	0,068/0,063
¹ рафинирование осуществляли флюсом «МХЗ»;			
² лом и отходы во всех вариантах составляли: 50...55 % – мелкого лома и отходов сплава АК7ч, 45...50 % – брикетированной стружки состава АК7ч			

РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАСПЛАВЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Физические (или внешние) воздействия на расплавы при плавке, заливке, кристаллизации (температурная обработка – термовременная (ТВО), термоскоростная (ТСО) и др.; ультразвук; вибрация; электрические и магнитные поля; несинусоидальные электромагнитные импульсы и т.д.) относят к технологиям физического модифицирования структуры (хотя термин этот в настоящее время еще не совсем «прижился» в производственной среде), оптимальная реализация которых позволяет использовать повышенное количество лома и отходов при плавке, нивелировать действие нежелательных примесей и получать алюминиевые сплавы с мелкозернистой структурой, заданным химическим составом, требуемым уровнем содержания газовых и неметаллических включений и комплекса свойств [3]. Физические воздействия имеют неоспоримые преимущества по сравнению с другими способами обработки расплавов – более благоприятная экологическая обстановка; не используются дорогостоящие модификаторы; не изменяется химический состав расплава во время плавки, что, в отличие от технологий с использованием элементов-модификаторов, не приводит к накоплению в сплавах при дальнейших переплавах излишнего количества примесей. Но практическое применение таких ресурсосберегающих технологий для фасонного литья из алюминиевых сплавов сдерживается из-за недостаточной изученности процессов.

На кафедре литейного производства СибГИУ за период 2001–2011 гг. проведены исследования влияния различных способов обработки расплавов физическими воздействиями: при плавке (термовременная обработка (ТВО)), заливки (магнитное поле), кристаллизация (вибрация, электрический ток), а также различные комплексные воздействия. Результаты показали, что тщательный анализ всего технологического процесса, включающий сортировку шихты с учетом наследственности, оптимизацию температурных режимов плавки (проведение ТВО), выбор рациональной технологии рафинирования (которое является обязательной операцией), использование электромагнитных воздействий, позволит заложить требуемый «резерв» в качество получаемого литья. Особую целесообразность имеет применение ТВО расплава в комплексе с электромагнитными воздействиями [4, 5] – магнитным полем при

заливке, электрическим током при кристаллизации (для этого были сконструированы специальные устройства). При этом обработка расплава электрическим током при кристаллизации должна учитывать конфигурацию и массу обрабатываемой отливки с целью рационального подвода токопроводящих элементов и равномерной обработки расплава током определенной плотности в полости формы. Как правило, оптимальные режимы обработки определяются дополнительными экспериментами в каждом конкретном случае.

Вышеперечисленные технологии способствуют снижению пористости, формированию в сплаве мелкозернистой структуры и повышению механических, технологических и эксплуатационных свойств. Количество вторичных материалов в шихте (особенно при использовании комплексной обработки с обязательной ТВО расплава) может быть повышено (в среднем) – до 70...90 %. При этом при использовании физических воздействий (как отдельно, так и в комплексе) – ТВО, магнитного поля при заливке, электрического тока при кристаллизации у сплавов АК7ч, АК5М2, АМ5 выявлено устойчивое повышение механических свойств в литом состоянии (в среднем): σ_B – на 17...35 %; δ – на 40...100 %; повышение жидкотекучести – на 10...30 %; снижение пористости (до 1-2 балла).

Список литературы:

1. Специальные способы литья: справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др.; под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
2. Ершов Г.С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. – М.: Металлургия, 1979. – 192 с.
3. Ловцов Д.П. Перспективные технологические методы управления качеством отливок / Д.П. Ловцов // Литейщик России. 2004. № 6. С. 8–10.
4. Цецорина С.А. Исследование влияния магнитного поля на свойства литейных алюминиевых сплавов и разработка ресурсосберегающей технологии их получения. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2008. 19 с.
5. Деев В.Б. Влияние электромагнитных воздействий на свойства литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев // Вестник горно-металлургической секции РАЕН: сб. науч. тр. Вып. 27 – М.: Новокузнецк: СибГИУ, 2011. С. 117–122.

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ДИФфуЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ НА РАЗМЕРЫ БОРИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ

¹Л. А. Куркина, ²А. М. Гурьев, ²С. Г. Иванов,
²С. А. Земляков, ¹А. Д. Грешилов, ¹Ю. П. Хараев

¹Восточно – Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

²Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Методы химико-термической обработки (ХТО) позволяют получать практически весь спектр известных на сегодняшний день покрытий, позволяющих повысить эксплуатационные характеристики и срок службы деталей машин и инструмента за счет поверхностного упрочнения [1, 2, 4-7].

Однако более широкое внедрение данных методов при изготовлении ответственных деталей машин и инструмента сдерживается необходимостью дополнительной финишной обработки для достижения требуемой точности качества поверхности детали. Достижение требуемых значений размерной точности после различных видов ХТО, учитывая незначительную величину диффузионного слоя в сочетании с высокими физико-механическими свойствами и проблематичность использования абразивной обработки, представляется весьма актуальной задачей, требующей более тщательного изучения.

В связи с этим в данной работе исследовалось влияние времени диффузионного насыщения на изменение размеров борированных образцов из стали 45.

В качестве активатора был использован тетрафторборат калия (KBF_4) – сложное соединение, которое при температуре насыщения практически полностью диссоциирует с образованием фторидов бора и металла.

В качестве насыщающей среды использовали составы на основе карбида бора с фракцией -100 мкм. В качестве насыщаемого материала использовали сталь 45, режим насыщения был выбран различным – время насыщения 90 и 150 мин при температуре 850°C [1, 2]. Полученные образцы после полировки были подвергнуты металлографическому анализу с помощью микроскопа «Carl Zeiss AxioObserver Z1m». Для выявления общей микроструктуры и микроструктуры диф-

фузионных слоев использовали раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Величину изменения размеров образцов фиксировали металлографическим микроскопом МЕТАМ РВ-34, с ценой деления 0,01мм.

Микроструктуры полученных образцов приведены на рисунке 1.

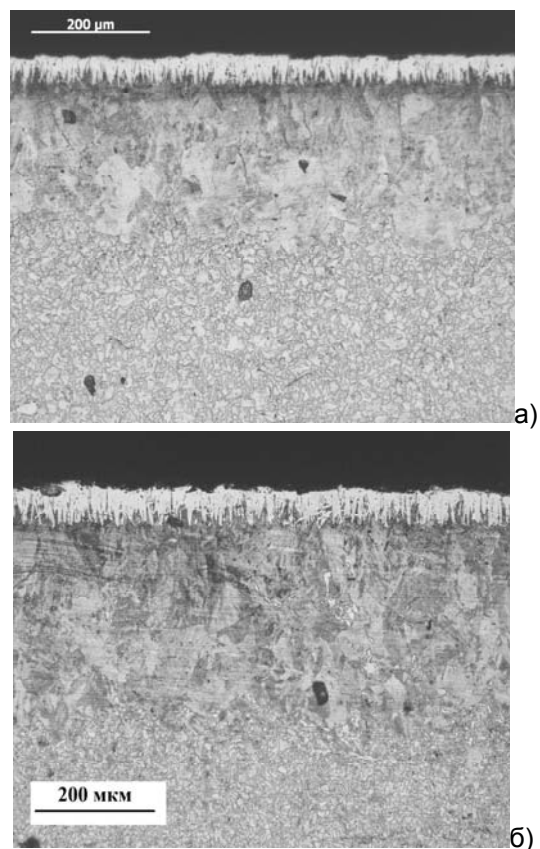


Рисунок 1 – Микроструктуры борированных образцов из стали 45:

а) – время выдержки 90 мин; б) – время выдержки 150 мин.

Полученные диффузионные слои состоят из зоны боридов и переходной зоны. За-

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ДИФфуЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ НА РАЗМЕРЫ БОРИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ

меры показали, что при времени выдержки 90 мин величина слоя составила 350 мкм, из которых 50 мкм пришлось на боридную зону. Аналогичный состав со временем выдержки 150 мин дал диффузионный слой, боридная зона которого составила 60 мкм, а переходная зона – 360 мкм. Очевидно, что при увеличении времени выдержки величина диффузионного слоя увеличивается.

Измерения образцов производились до и после процесса насыщения. Абсолютные значения толщины образцов до борирования составили 5,96 мм и 6,035 мм. Соответственно были измерены образцы после борирования, которые составили 6,28 мм и 6,32 мм.

Гистограмма, представленная на рис. 2, показывает, что при времени выдержки 90 мин размер образца увеличился на 75 мкм, при времени выдержки 150 мин размер образца увеличился на 40 мкм.

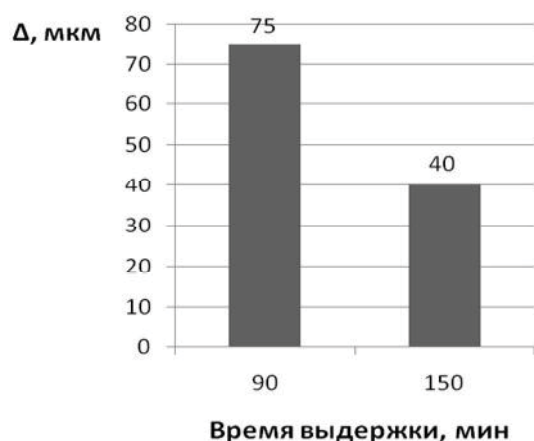


Рисунок 2 – Гистограмма приращения размеров.

На рисунке 3 наглядно представлено распределение толщины диффузионного слоя относительно линии номинального размера образца. За номинальный принят размер образца до борирования.

Рост слоя в сторону насыщающей среды обусловлен встречной по отношению к бору диффузией атомов железа. При времени насыщения 90 мин зона боридов полностью уходит в зону приращения размера, что показано на рис. 3 а.

Анализ результатов проведенных экспериментов показывает, что повышение времени насыщения с 90 до 150 мин приводит к увеличению диффузионного слоя на 200 мкм. При этом отмечено снижение величины при-

ращения размера образца на 35 мкм (рис. 2), что вероятно является следствием увеличения концентрации углерода в переходной зоне слоя.

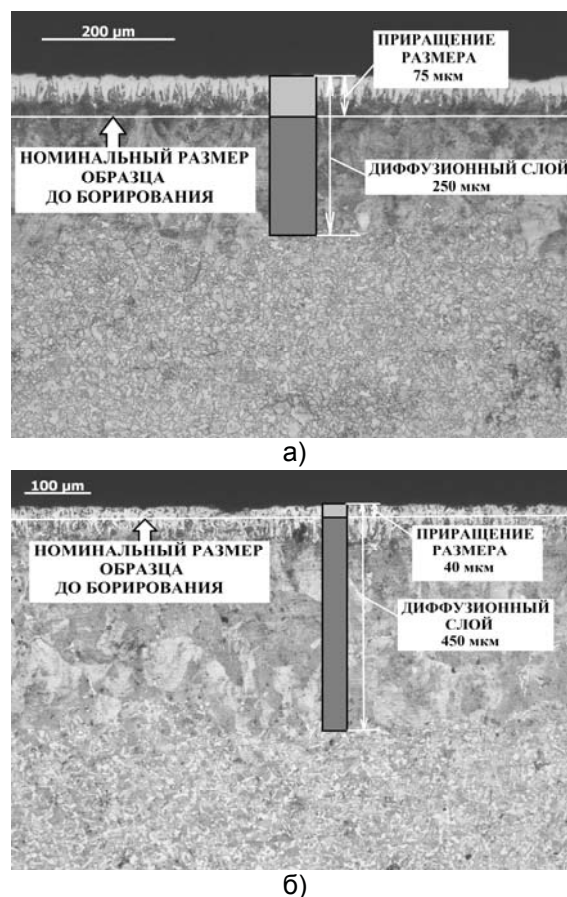


Рисунок 3 – Микроструктуры борированных образцов из стали 45:

а) – время выдержки 90 мин; б) – время выдержки 150 мин.

Список литературы:

1. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Попова Н.А., Козлов Э.В. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей. Барнаул.: Изд-во АлтГТУ, 2008. 250 с.
2. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. Мн.: Беларусь, 1981. 205 с.
3. Ситкевич М.В., Бельский Е.И. Совмещенные процессы химико-термической обработки с использованием обмазок. Мн.: Высш.шк., 1987. 156 с.
4. Guriev A.M., Kozlov E.V., Lygdenov B.D., Kirienko A.M., Chernyh E.V. Transition zone forming by different diffusion techniques in

borating process of ferrite-pearlite steels under the thermocyclic conditions // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2004. т.1. №2. С. 54-60.

5. Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М., Гармаева И.А., Мижитов А.Ц., Мосоров В.И. Особенности формирования структуры диффузионного слоя и разработка технологии упрочнения литых инструментальных сталей с учетом дендритной ликвации // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2006. т.3. №3. С. 84-86.

6. Гурьев А.М., Грешилов А.Д. Влияние циклического теплового воздействия на формирование структуры и фазового состава диффузионных боридных слоев инструментальных сталей // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2009. т.6. №3. С. 70-84.

7. Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М., Гармаева И.А. Влияние режимов борирования на

упрочнение поверхности уплотнительного кольца из стали 40ХН2МА // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2007. т.4. №2. С. 90-93.

8. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А. Интенсификация процессов химико-термической обработки металлов и сплавов // Фундаментальные исследования. 2008. № 8. С. 10.

9. Гурьев А.М., Хараев Ю.П., Гурьева О.А., Лыгденов Б.Д. Исследование процессов диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии // Современные проблемы науки и образования. 2006. №3. С. 65-66.

10. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Грешилов А.Д., Земляков С.А. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борохромировании из насыщающих обмазок // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2011. №3. С. 34-40.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Н. И. Мозговой

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Жизненный путь инновационного продукта может развиваться по одному из трех путей: накопление в организации, превращение в организацию в инновацию, продажа как товара.

Через экономические и финансовые показатели можно выразить эффективность деятельности любой организации, в которой в условиях рыночной экономики не может быть унифицированной системы показателей. Каждый инвестор самостоятельно определяет эту систему, исходя из особенностей инновационного проекта, профессионализма специалистов и менеджеров и других факторов.

К системе экономических и финансовых показателей, выражающих эффективность деятельности организации предъявляются следующие требования [1]:

- охватывать процессы на всех стадиях жизненного цикла товара;
- формироваться на перспективу, минимум на 3-5 лет, на основе ретроспективного анализа деятельности организации;
- опираться на данные по конкурентоспособности конкретных товаров на конкретных рынках за конкретный период;
- должны быть выражены абсолютными, относительными и удельными величинами;
- должны быть состыкованы со всеми разделами плана организации;
- отражать все аспекты финансовой деятельности организации;
- проектирование окончательных показателей должно осуществляться на основе многовариантных расчетов, с определением степени риска и устойчивости финансовой деятельности, с использованием достаточного и качественного объема информации, характеризующей технические, организационные, экологические, экономические и социальные аспекты де-

ятельности организации.

Одним из основных показателей эффективности и стабильности функционирования организации является ее устойчивость.

Внедрение новшеств может дать четыре вида эффекта: экономический, научно-технический, социальный и экологический.

За счет получения экономического эффекта в форме прибыли инновационная организация осуществляет комплексное развитие и повышение благосостояния сотрудников.

Остальные виды эффекта несут в себе потенциальный экономический эффект разработки, внедрения у себя (превращения в инновацию) или продажи новшеств, могут быть потенциальным или фактическим (реальным, коммерческим), а научно-технический, социальный и экологический эффекты могут иметь форму только потенциального экономического эффекта. По сути, если принимать в расчет только конечные результаты внедрения или продажи новшеств, то любой вид инновационной деятельности можно оценить в стоимостном выражении. Критериями конечной оценки здесь являются: время получения фактического экономического эффекта и степень неопределенности его получения (или уровень риска вложения инвестиций в инновации).

В настоящее время в соответствии с рекомендациями Организации Объединенных Наций по промышленному развитию (UNIDO) в зарубежной практике применяются следующие показатели оценки эффективности инновационной деятельности:

- чистый дисконтированный доход;
- внутренняя норма прибыли;
- простая норма прибыли;
- простая норма прибыли на акционерный капитал;
- коэффициент финансовой автономности проекта;

- коэффициент текущей ликвидности;
- срок окупаемости инвестиций в инновационный проект.

В качестве интегрального показателя, характеризующего эффективность инновационной деятельности организации, может быть использован коэффициент результативности работы [2]:

$$r \frac{R_c}{\sum_{i=1}^N Q_i - \sum_{i=1}^N (H_2 - H_1)},$$

где R_c – суммарные затраты по законченным работам, принятым (рекомендованным) для освоения в серийном производстве;

Q – фактические затраты на НИОКР за i -год;

N – число лет анализируемого периода;

H_1 – незавершенное производство на начало анализируемого периода в стоимостном выражении;

H_2 – это же на конец анализируемого периода.

В результате аудита эффективности инновационной деятельности организации происходит изучение ее механизма и определение отдачи вложенных инвестиций, что способствует анализу следующих задач:

- обоснованности идеи и структуры проблемы;
- рациональности структуры организации;
- профессионализма руководителя организации, руководителей инновационных проектов, их команд;
- правовой обоснованности проектов и государственной поддержки инновационной деятельности;
- финансового и материально-технического обеспечения организации;
- качества нормативно-методического обеспечения организации;
- качества информационного обеспечения организации;
- совокупности примененных при проектировании научных подходов и современных методов менеджмента;
- использования конкурентных преимуществ организации;

- структуры портфеля новшеств и инноваций;
- качества экспертизы инновационных проектов;
- качества расчетов показателей эффективности инновационной деятельности организации;
- системы мотивации и ответственности в ходе осуществления инновационной деятельности.

В результате аудита эффективности инновационной деятельности организации происходит изучение ее механизма и определение отдачи вложенных инвестиций, что способствует анализу следующих задач:

- обоснованности идеи и структуры проблемы;
- рациональности структуры организации;
- профессионализма руководителя организации, руководителей инновационных проектов, их команд;
- правовой обоснованности проектов и государственной поддержки инновационной деятельности;
- финансового и материально-технического обеспечения организации;
- качества нормативно-методического обеспечения организации;
- качества информационного обеспечения организации;
- совокупности примененных при проектировании научных подходов и современных методов менеджмента;
- использования конкурентных преимуществ организации;
- структуры портфеля новшеств и инноваций;
- качества экспертизы инновационных проектов;
- качества расчетов показателей эффективности инновационной деятельности организации;
- системы мотивации и ответственности в ходе осуществления инновационной деятельности.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

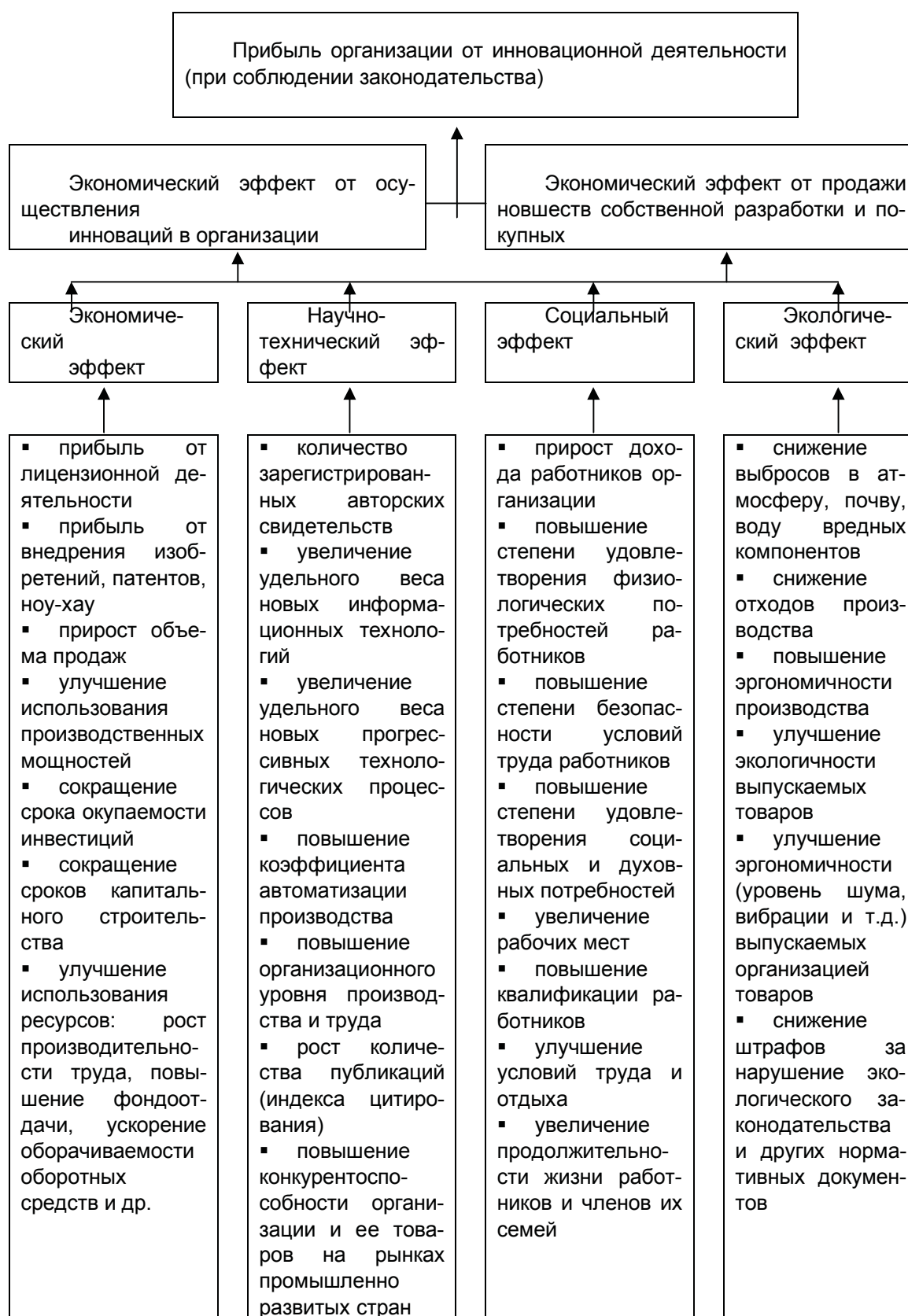


Рисунок 1 - Система показателей эффективности инновационной деятельности

Анализ заканчивается формированием основных этапов эффективности инновационной деятельности, а именно:

- выявление проблемы, формулирование целей и задач анализа;
- формирование временной творческой группе для проведения анализа;
- разработка проекта программы анализа;
- подготовка и издание приказа по организации о целях, группе, ее правах и обязанностях, программе анализа;
- выбор методов выполнения работ;
- сбор и обработка необходимой информации, документов и т.д.;
- проведение анализа по перечисленным выше задачам и системе показателей;
- подготовка, согласование и утверждение отчета о проделанной работе;
- принятие мер по результатам анализа.

В условиях рыночной экономики функционирование и развитие промышленных предприятий во многом обусловлены эффективной работой их инновационного механизма, а также эффективностью реализуемых им нововведений. Анализ хозяйственной практи-

ки свидетельствует о том, что значение инновационной деятельности для промышленных предприятий в современных условиях постоянно возрастает.

Под воздействием инновационной деятельности изменяются практически все подсистемы промышленного предприятия, выходя на качественно новый уровень. Вместе с тем современные условия экономического развития требуют от промышленных предприятий не только активизации инновационной деятельности, но и совершенствования методов ее организации, в частности, за счет анализа и использования резервов, направленных на повышение эффективности ее проведения.

Список литературы:

1. Морозов Ю.П. Инновационный менеджмент. Учебник – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2004.
2. Фатхутдинов Р.А. Инновационный менеджмент. Учебник. – М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел Синтез»», 2003.

ЛЕГИРОВАННЫЕ ШТАМПОВЫЕ СТАЛИ ШИРОКОГО ДИАПАЗОНА ПРИМЕНЕНИЯ

В. Б. Бутыгин, А. С. Демидов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Создание высокопроизводительных и стойких в эксплуатации инструментов связано, в первую очередь, с проблемой получения и обработки таких материалов, которые могли бы противостоять жестким условиям работы. Высокие механические свойства инструмента и его теплостойкость достигаются специальным легированием и термической обработкой. Таким образом, определенный интерес представляет разработка корректировки методов термической обработки.

Поскольку многие штамповые стали имеют различные размеры и конфигурации и являются металлоемкими, необходимо изучение путей легирования и в частности элементами позволяющими снизить стоимость

штамповой стали.

Трудность решения этих задач возрастает в связи с тем что при легировании требуемом для создания необходимой теплостойкости, твердости, как правило снижается ударная вязкость. Это требует изучения основных закономерностей влияния фазового и структурного состояния штамповой стали этого назначения на основные механические и технологические свойства. Для исследования выбраны стали, легированные кремнием, марганцем, вольфрамом, молибденом, хромом, никелем, ванадием, кобальтом, алюминием, медью (таблица 1). Для повышения ударной вязкости содержание углерода принято в пределах 0.1-0.35%.

Таблица 1 – Химический состав сталей

Сталь	C	Mn	Si	Ti	Mo	Cr	Ni	Cu	W	V	Co	Al
1	0,24	1,95	0,34	0,8	0,9	11,2	7,4	0,7	3,6	1,2	1,7	0,23
2	0,3	1,4	0,79	0,26	2,5	10,9	8,6		3,09	0,5	1,5	
3	0,35	0,57	0,47	0,2	1,9	8,1	11,95	2,9	1,9	0,9	0,08	>1,2
4	0,2	0,4	1,4	0,02	2,5	5,3	8,8	0,5	0,05	0,67	0,01	0,2
5	0,25	2,5	1,06	1,3	2,7	8,2	9,4	0,64	4,8	1,4	1,3	0,45
6	0,35	2,5	0,41	1,9	0,97	8,0	9,0	1,2	4,7	0,57	3,4	>0,28

Стали выплавлены в открытой индукционной печи. Слитки массой от 12кг были прокованы на прутки сечением 12х12 и 20х20 мм для лабораторных исследований и диаметром от 40 мм до 140 мм для промышленных испытаний.

Ковку выполняли по режиму, принятому для штамповых сталей теплостойкости с нагревом 1180-1200⁰С и деформацией при температурах 1180-950⁰.

Охлаждение ковок – замедленное (в песке). Ковкость всех сталей хорошая. Фазовый состав сталей послековки и отжига представлен карбидами вольфрама, хрома и марганца.

Введение в состав сплава углерода в количестве 0,20-0,30 масс.% способствует

образованию карбидных фаз, которые принимают участие в процессе дисперсного твердения, при содержании углерода более 0,30 масс.% приводит к снижению ударной вязкости

Введение в состав сплава марганца в количестве 1,0-1,40 масс.% является оптимальным, так как при таком содержании марганца увеличивается прокаливаемость и устойчивость к распаду аустенита, дальнейшее повышение содержания марганца снижает прочность и ударную вязкость.

Введение в состав сплава кремния в количестве 0,40-0,80 масс.% влияет на вторичную твердость при отпуске, повышая легированность твердого раствора. При содержании кремния менее 0,40 масс.% приводит к сни-

жению его влияния на вторичную твердость. Содержание кремния более 0,80 масс.% сопровождается уменьшением ударной вязкости.

Введение в состав сплава титана в количестве 0,20-0,30 масс.% препятствует образованию межкристаллитной коррозии одновременно несколько увеличивает количество карбидной фазы. Снижение содержания титана меньше 0,20 масс.% не оказывает влияние на межкристаллитную коррозию, а увеличение содержания титана свыше 0,30 масс.% приводит к снижению вязкости.

Введение в состав сплава молибдена в количестве 2,0-2,5 масс.% повышает температуру рекристаллизации α -твердого раствора и замедляет его разупрочнение и кроме этого способствует увеличению пластичности и прочности штампового сплава. Кроме того молибден в этих пределах участвует в образовании интерметаллидной фазы при высоких температурах повышая твердость. Содержание молибдена ниже 2,0 масс.% и выше 2,5 масс.% не целесообразно так как не оказывает влияние на повышение твердости и теплостойкости. А также совместно с молибденом, ванадием и хромом (в количествах принятых для этой стали) резко повышает окалиностойкость. При содержании вольфрама ниже 2,5 масс.% снижает количество выделения интерметаллидов при отпуске, снижая теплостойкость и твердость. Повы-

шение содержания вольфрама выше 3,0 масс.% приводит к увеличению количества интерметаллидной фазы и снижению пластичности.

Введение в состав сплава ванадия в количестве 0,20-0,30 масс.% способствует измельчению зерна и повышению окалиностойкости. При содержании ванадия ниже 0,20 масс.% влияние его на измельчение зерна проявляется незначительно. При содержании ванадия выше 0,30 масс.% приводит к ухудшению шлифуемости.

Введение в состав сплава кобальта в количестве 1,0-1,50 масс.% способствует выделению интерметаллидов при высоких температурах отпуска, повышая твердость и теплостойкость. А так же повышает прочность стали при ударных нагрузках, улучшает жаропрочность стали. Содержании кобальта менее 1,0 масс.% не приводит к повышению теплостойкости и твердости. Содержание кобальта более 1,5 масс.% приводит к увеличению количества упрочняющей фазы, что отрицательно влияет на пластичность стали.

Превращения при закалке. Температуры при закалке выбирались с условием сохранения мелкого зерна балла 10-9. Температуры закалки обеспечивали почти полное растворение карбидов. Изменение твердости в зависимости от температуры закалки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Твердость сталей в зависимости от температуры закалки

№ образца	Т закалки, °С		
	1025	1050	1075
	Твёрдость образца, HRC		
1	40,5-41,5	41-42	43-44
2	60-61	57-58	57,5-58,5
3	63-64	63,5-64,5	63,5-64,5
4	50-51	30-31	54-55
5		36-37	37-38
6	46-47	46-47	49-50

Наименьшая твердость наблюдается в образцах сталей № 1,5,6, в которых наименьшее содержание углерода. Кроме того в этих сталях повышенное содержание марганца и никеля, что приводит к образованию остаточного аустенита в структуре закаленных сталей. В сталях № 2,3,4 наблюдает-

ся более высокая твердость, что можно объяснить полным превращением при закалке и более высоким содержанием углерода.

Структура сталей №1,5,6 после закалки – легированный мартенсит и остаточный аустенит. Структура сталей №2,3,4 – легированный мартенсит.

ЛЕГИРОВАННЫЕ ШТАМПОВЫЕ СТАЛИ ШИРОКОГО ДИАПАЗОНА ПРИМЕНЕНИЯ

Превращения при отпуске. Во всех сталях процессы дисперсионного твердения вызываемые выделением специальных карбидов из мартенсита протекают качественно почти одинаково.

Превращение при отпуске рассматривались при закалке от температуры 1075⁰С, при которой величина зерна сохраняется 10-9 баллов (таблица 3).

Таблица 3 – Твердость образцов в зависимости от температуры отпуска (t_3 - 1075⁰С)

№ Образца	Т отпуска, °С								
	300	350	400	450	500	550	600	650	750
1	Т закали, °С								
2	44-45	46-47	47-48	48-49	48-49	48-49	46-47	44-45	
3	56-57	58-59	60-61	59-60	58-59	57-58	51-52	48-49	45-46
4	56-57	60-61	63-64	63-64	67-68	65-66	58-59	47-48	34-35
5	51-52	53-54	57-58	57-58	59-60	59-60	56-57	47-48	38-39
6	37-38	38-39	39-40	45-46	55-56	55-56	56-57	53-54	42-43

Интенсивность процессов характеризующиеся возрастанием твердости происходит во всех исследуемых сталях. Прирост твердости по сравнению с закаленным состоянием. Для стали №1 до температуры равной 550⁰С составляет 4 HRC для стали №2 до температуры равной 550⁰С составляет 1HRC, для стали №3 до температуры равной 550⁰С составляет 9HRC, для стали №4 до температуры равной 550⁰С составляет 8HRC, для стали №5 до температуры равной 600⁰С составляет 19HRC, для стали №6 до температуры равной 500⁰С составляет 5,5HRC.

Нагрев для отпуска до температур 600-650⁰С приводит к снижению твердости, но это снижение менее интенсивно, чем в стандартных сталях типа 4X5Ф1С, 3Х2В8Ф.

Теплостойкость исследуемых сталей (для твердости HRC45) составляет 650⁰С для сталей №1,3,4,5, а теплостойкость стали №2 составляет 750⁰С, что также выше, чем у стандартных сталей этого типа.

Выводы

1) возможности использования исследуемых сталей для штампового инструмента, работающего в пределах температур от 300 до 650⁰С,

2) сталь 3М2Х10В3К (№2) использовать до температуры 750⁰С,

3) наличие хрома, никеля, марганца, молибдена, ванадия обеспечивает высокую прокаливаемость, а следовательно изготовление из этих сталей крупногабаритного инструмента,

4) подбор для легирования указанных элементов определяет высокие механические свойства особенно ударную вязкость,

5) исследуемые стали можно рекомендовать для матриц и пуансонов при горячем и холодном деформировании легированных конструкционных сталей и жаропрочных сплавов, пресс-форм, литья под давлением, цветных сплавов.

6) меньшая стоимость из-за низкого количества легирующих элементов.

МОДИФИЦИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАСПЛАВЫ В РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В. Б. Деев, И. Ф. Селянин, К. В. Пономарева, В. Н. Алхимов, О. В. Бинас
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Физические модифицирующие воздействия (тепловые, электромагнитные, механические и др.) на алюминиевые расплавы показали [1, 2] свою эффективность в технологиях получения качественных отливок.

Тепловой обработкой расплавов на основе алюминия занимались А.Г. Спасский, Д.П. Ловцов, Г.Г. Крушенко, В.З. Кисунько, И.А. Новохатский, П.С. Попель, О.А. Чикова, Ри Хосен, Г.С. Ершов, И.В. Гаврилин, В.И. Никитин, Н.М. Кочегура, И.Г. Бродова, А.Г. Пригунова, И.Ф. Селянин, Ф.М. Котлярский и др. Ими проведены масштабные исследования по влиянию температурной обработки (ТВТО, ТВО, ТСО и их разновидности) на свойства сплавов и отливок в твердом и жидком состояниях. Показано, что использование температурной обработки при повышенном содержании лома и отходов в шихте позволяет уменьшить микронеоднородное состояние расплава и оказывает модифицирующее влияние на структуру получаемых сплавов и, соответственно, повышает служебные и механические свойства литых изделий.

Перспективными способами физического воздействия на расплав являются обработка расплавов электрическим током, магнитными полями и импульсами, теоретические и технологические основы которых развиваются в работах В.А. Ефимова, Л.А. Верте, И.Л. Повха, В.И. Дубоделова, Ри Хосена, Г.П. Борисова, В.В. Крымского, Л.Г. Знаменского, Б.А. Кулакова, В.И. Якимова, Г.Н. Миненко и др.

Теоретическое описание модифицирующего влияния физических воздействий на процессы кристаллизации и структурообразования и получение мелкозернистой структуры в сплавах является весьма дискуссионным и единого мнения по этому вопросу до сих пор нет. Между тем, понимание сущности процессов обработки и создания единого подхода к получаемым в дальнейшем явлениям позволит более глубоко подойти к со-

зданию обобщенной теории модифицирования сплавов физическими воздействиями.

Ряд исследователей считает, что после некоторых физических воздействий (например, ТВО, ТСО и т.д.) мелкозернистая структура формируется за счет изменения степени переохлаждения более гомогенного расплава, которое, в свою очередь, определяет характер кристаллизации. Другие полагают, что модифицирующий эффект после обработки физическими воздействиями (электромагнитные поля, вибрация, ультразвук и др.) проявляется в результате ускорения процесса кристаллизации за счет обламывания образующихся дендритов и замешивания их мелких обломков в расплав, что способствует интенсификации зародышеобразования. Существует также мнение, что электромагнитные воздействия уменьшают межфазовую поверхностную энергию на границе «зародыш – расплав», что способствует формированию дополнительных центров кристаллизации, блокируя при этом рост дендритных ветвей за счет интенсификации массопереноса.

Экспериментальные результаты по исследованию термоЭДС и процесса кристаллизации показали [3, 4], что применение физических воздействий (ТВО при плавке, магнитное поле при заливке, электрический ток при кристаллизации) для обработки расплавов состава АК7ч, АК5М2, АМ5 уменьшает температурный интервал кристаллизации на $6...11^{\circ}\text{C}$, а комплексная технология обработки расплавов ТВО, магнитным полем или электрическим током – на $8...15^{\circ}\text{C}$. Было выявлено увеличение полного времени затвердевания сплавов $\tau_{\text{п}}$ (которое отсчитывается от температуры заливки до окончания «стояния» температуры конца кристаллизации) после обработки расплавов ТВО в сравнении с исходным в $1,11...1,16$ раз, после комплексной обработки ТВО, магнитным полем или электрическим током – в $1,19...1,28$ раз. Увеличению $\tau_{\text{п}}$ способствует рост времени кри-

МОДИФИЦИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАСПЛАВЫ В РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

сталлизации, которое увеличивается за счет уменьшения конвективной теплопроводности, повышения вязкости кристаллизующегося расплава. Изменение параметров кристаллизации рассматриваемых сплавов способствуют формированию мелкозернистой структуры последних, что было подтверждено металлографическими исследованиями.

На основании исследования процесса кристаллизации и свойств сплавов был предложен следующий механизм влияния физических модифицирующих воздействий на кристаллизацию алюминиевых расплавов.

Физические модифицирующие воздействия (ТВО, электромагнитные поля, вибрация) на расплавы при плавке, заливке, кристаллизации способствуют их перемешиванию, увеличению турбулизации и гомогенизации. В результате в процессе кристаллизации расплава уменьшаются продольные и поперечные температурные и концентрационные градиенты (замедляется скорость разделительной диффузии компонентов), увеличивается энтропия системы, то есть – время существования жидкой фазы (увеличивается время кристаллизации и полное время затвердевания). При минимальном температурном градиенте dT/dx конвективные потоки практически отсутствуют; разделительная диффузия в ламинарной пленке на фронте кристаллизации замедляется и принимает молекулярный характер.

Таким образом, согласно предлагаемому механизму, физические воздействия гомогенизируют расплавы по концентрации и температуре, увеличивают энтропию системы и устойчивость жидкого состояния. Уменьшение температурных (dT/dx) и концентрационных (dC/dx) градиентов приводит к уменьшению конвективных и концентрационных потоков в расплавах в период кристаллизации от жидкой фазы к фронту кристаллизации или к отдельному зародышу («строительный» материал поступает неориентированно за счет концентрационных и тепловых флуктуаций). Вследствие уменьшения градиентов dT/dx , dC/dx кристаллизация переходит от стадии фронтально-дендритной к стадии объемной с образованием мелкозернистой неориентированно-дендритной структуры. При этом подавляются ликвационные процессы.

Результаты исследований [5 – 7] влияния физических воздействий (ТВО, электрического тока, магнитного поля), шихтовых за-

готовок (с эффектом ТВО) на процессы кристаллизации и структурообразования, а также на механические и технологические свойства литейных алюминиевых сплавов АК7ч, АК5М2, АМ5 позволили разработать ресурсосберегающие технологии в соответствии с рассмотренными выше положениями. Данные технологии реализованы в условиях нескольких промышленных предприятий при получении тонкостенных отливок (как в кокиль, так и в песчано-глинистую форму) различного назначения.

Использование ТВО при плавке промышленных алюминиевых сплавов позволило повысить качество отливок, полученных литьем по газифицируемым моделям.

Список литературы:

1. Специальные способы литья: справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др.; под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
2. Ершов Г.С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. – М.: Metallurgia, 1979. – 192 с.
3. Башмакова Н.В. Исследование влияния электрического тока на свойства алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. 18 с.
4. Цецорина С.А. Исследование влияния магнитного поля на свойства литейных алюминиевых сплавов и разработка ресурсосберегающей технологии их получения. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2008. 19 с.
5. Деев В.Б. Особенности использования лома и отходов при получении качественных литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, С.А. Цецорина и др. // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Теория и практика литейных процессов». – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2012. С. 83–86.
6. Деев В.Б. Получение герметичных алюминиевых сплавов из вторичных материалов / В.Б. Деев // Монография. – М.: Флинта: Наука, 2006. – 218 с.
7. Деев В.Б. Влияние электромагнитных воздействий на свойства литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев // Вестник горно-металлургической секции РАЕН: сб. науч. тр. Вып. 27. – М.: Новокузнецк: СибГИУ, 2011. С. 117–122.

ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА НАСЫЩАЮЩЕЙ СМЕСИ НА ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ОБРАЗЦОВ ПРИ БОРИРОВАНИИ

¹Л. А. Куркина, ²С. Г. Иванов, ²А. М. Гурьев,
²С. А. Земляков, ¹А. Д. Грешилов, ¹Ю. П. Хараев

¹Восточно – Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

²Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Большинство деталей машин работают в условиях, при которых эксплуатационная нагрузка (давление, нагрев, действие окружающей среды и т.п.) воспринимается главным образом их поверхностным слоем. Поэтому долговечность и работоспособность таких деталей во многом определяется физико-механическим состоянием, структурой и свойствами поверхностных слоев.

В настоящее время значительное распространение получили методы химико-термической обработки (ХТО) деталей машин и инструмента, позволяющие повысить эксплуатационные характеристики и срок службы деталей машин и инструмента за счет поверхностного упрочнения [1, 2, 4-7]. Методы ХТО, изменяя структуру и поверхностного слоя, повышают прочность износостойкость и теплостойкость материала. В то же время более широкое внедрения данных методов при изготовлении ответственных деталей машин и инструмента сдерживается необходимостью дополнительной финишной обработки для достижения требуемой точности детали. Достижение требуемых значений размерной точности после различных видов ХТО, учитывая незначительную величину диффузионного слоя в сочетании с высокими физико-механическими свойствами и проблематичность использования абразивной обработки, представляется весьма актуальной задачей, требующей дальнейшего изучения.

В связи с этим в данной работе исследовалось влияние фракции карбида бора на изменение размеров образцов при борировании из стали 45.

В качестве активатора был использован тетрафторборат калия (KBF_4) – сложное соединение, которые при температуре насыще-

ния практически полностью диссоциирует с образованием фторидов бора и металла.

В качестве насыщающей среды использовали составы на основе карбида бора, химический состав которых отличался лишь дисперсностью основного компонента – карбида бора. Фракционный состав насыщающей смеси зависел от фракции карбида бора 40 и 100 мкм. В качестве насыщаемого материала использовали сталь 45, режим насыщения был выбран для всех образцов одинаковым – время насыщения 2 часа при температуре 950°C, с последующей закалкой с температуры насыщения [1, 2]. Полученные образцы после полировки были подвергнуты металлографическому анализу с помощью микроскопа «Carl Zeiss AxioObserver Z1m». Для выявления общей микроструктуры и микроструктуры диффузионных слоев использовали раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Величину изменения размеров образцов фиксировали металлографическим микроскопом METAM PB-34, с ценой деления 0,01мм.

Микроструктуры полученных образцов приведены на рисунке 1.

Замеры диффузионного слоя показали, что при дисперсности карбида бора 40 мкм получили слой толщиной 90 мкм, состоящий преимущественно из зоны боридов. При фракции -100мкм под слоем боридов (60мкм) образуется переходная зона (720 мкм). Измерения образцов производились до и после процесса насыщения. Абсолютные значения толщины образцов до борирования составили 6,133 мм и 6,05 мм. Соответственно были измерены размеры образцов после борирования, которые составили 6,217 мм и 6,14 мм.

ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА НАСЫЩАЮЩЕЙ СМЕСИ НА ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ОБРАЗЦОВ ПРИ БОРИРОВАНИИ

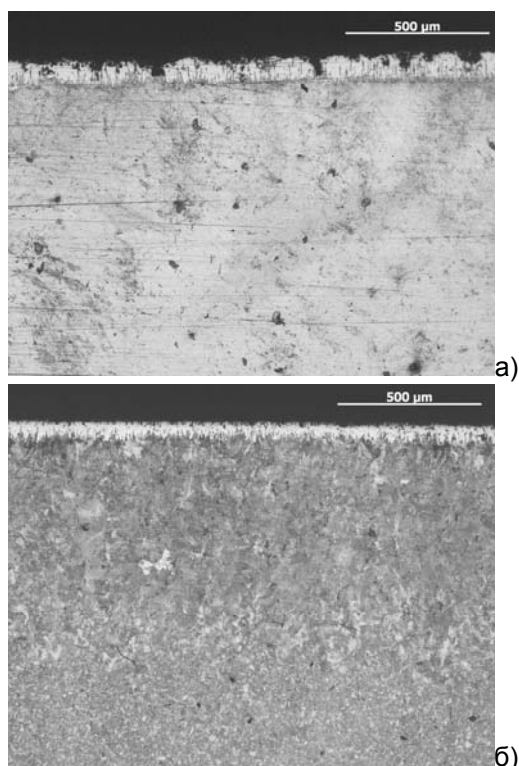


Рисунок 1 – Микроструктуры борированных образцов из стали 45: а) – фракция B_4C 40 мкм; б) – фракция B_4C -100 мкм.

Результаты приращения размеров представлены на рисунке 2.

Гистограмма, представленная на рисунке 2, показывает, что при фракции карбида бора 40 мкм размер образца увеличился на 84 мкм, при дисперсности -100 мкм приращение размера составило 90 мкм.

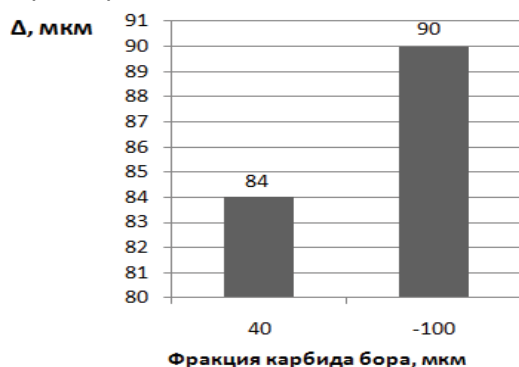


Рисунок 2 – Гистограмма приращения размеров образцов

Рост слоя в сторону насыщающей среды обусловлен встречной по отношению к бору диффузией атомов железа.

На рисунке 3 наглядно представлено

распределение толщины диффузионного слоя относительно линии номинального размера образца. За номинальный принят размер образца до борирования.

При фракции карбида бора -100 мкм зона боридов полностью уходит в зону приращения размера (рисунке 3 б).

Анализ результатов проведенных экспериментов показывает, что диффузионные процессы, протекающие при борировании образцов из стали 45 приводят к увеличению их размеров. При этом дисперсность основного насыщающего компонента – карбида бора влияет не только на величину изменения размеров, но и на образование, структуру величину и переходной зоны.

С увеличением дисперсности карбида бора происходит увеличение диффузионного слоя, при этом также увеличивается и размер образца.

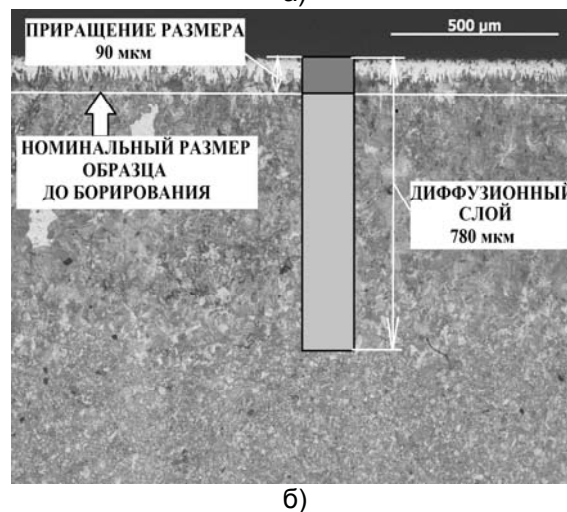
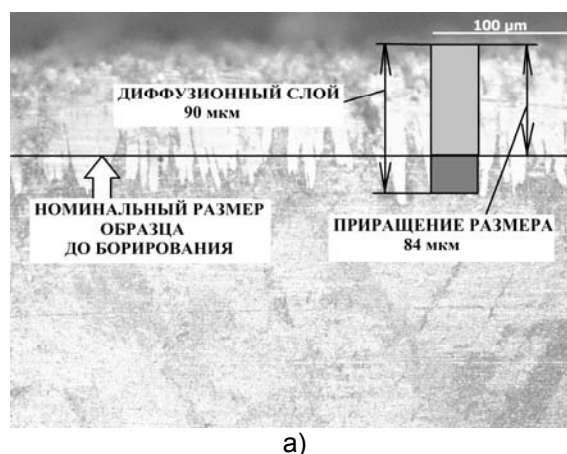


Рисунок 3 – Микроструктуры борированных образцов: а) – B_4C с фракцией 40 мкм; б) – B_4C с фракцией -100 мкм.

Список литературы:

1. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Попова Н.А., Козлов Э.В. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей. Барнаул.: Изд-во АлтГТУ, 2008. 250 с.
2. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. Мн.: Беларусь, 1981. 205 с.
3. Ситкевич М.В., Бельский Е.И. Совмещенные процессы химико-термической обработки с использованием обмазок. Мн.: Высш.шк., 1987. 156 с.
4. Guriev A.M., Kozlov E.V., Lygdenov B.D., Kirienko A.M., Chernyh E.V. Transition zone forming by different diffusion techniques in borating process of ferrite-pearlite steels under the thermocyclic conditions // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2004. т.1. №2. С. 54-60.
5. Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М., Гармаева И.А., Мижитов А.Ц., Мосоров В.И. Особенности формирования структуры диффузионного слоя и разработка технологии упрочнения литых инструментальных сталей с учетом дендритной ликвации // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2006. т.3. №3. С. 84-86.
6. Гурьев А.М., Грешилов А.Д. Влияние циклического теплового воздействия на формирование структуры и фазового состава диффузионных боридных слоев инструментальных сталей // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2009. т.6. №3. С. 70-84.
7. Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М., Гармаева И.А. Влияние режимов борирования на упрочнение поверхности уплотнительного кольца из стали 40ХН2МА // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2007. т.4. №2. С. 90-93.
8. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А. Интенсификация процессов химико-термической обработки металлов и сплавов // Фундаментальные исследования. 2008. № 8. С. 10.
9. Гурьев А.М., Хараев Ю.П., Гурьева О.А., Лыгденов Б.Д. Исследование процессов диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии // Современные проблемы науки и образования. 2006. №3. С. 65-66.
10. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Грешилов А.Д., Земляков С.А. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борохромировании из насыщающих обмазок // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2011. №3. С. 34-40.
11. Гурьев А.М., Иванов С.Г. Механизм диффузии бора, хрома и титана при одновременном многокомпонентном насыщении поверхности железоуглеродистых сплавов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2011. т.8. №3. С. 92-96.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ИНСТРУМЕНТА

В. В. Зобнев, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, А. М. Марков,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Развитие технологий создания новых материалов предъявляет все более жесткие требования как к технологиям их обработки, так и к обрабатываемому инструменту. Учитывая то, что практически весь имеющийся в распоряжении промышленных предприятий инструмент работает в условиях поверхностного износа, для повышения эксплуатационных характеристик и ресурса работы необходимо поверхностное упрочнение. На рынке на сегодняшний день представлено достаточно большое количество различных технологий изготовления и упрочнения инструмента.

Наиболее удобным в этом случае классифицировать эти технологии по типу физико-химического воздействия и его глубине. Согласно этой классификации можно выделить следующие классы технологических основ изготовления износостойкого инструмента:

- объемное и поверхностное легирование;
- нанесение различных покрытий;
- температурная обработка с целью формирования необходимой структуры материала;
- механическая обработка;
- электрическая обработка.

При этом каждый класс содержит различные способы и технологические приемы, позволяющие реализовать тот или иной механизм повышения эксплуатационных свойств и отличающиеся как сложностью реализации, так и экономическими параметрами как самого процесса изготовления, так и себестоимости готового изделия.

Объемное легирование подразумевает создание материала, имеющего сложный химический состав и содержащего большое количество специально вводимых в железо примесей с целью повышения его эксплуатационных свойств: коррозионной стойкости, жаро- и износостойкости, твердости, пластичности и т.д. Учитывая возрастающие потребности в железоуглеродистых сплавах с высо-

кими эксплуатационными свойствами и растущий в связи с этим дефицит легирующих элементов, данный путь повышения эксплуатационных свойств инструмента из железоуглеродистых сплавов надо признать неэффективным с экономической точки зрения.

Более экономичными и предпочтительными как с технологической, так и с экономической точки зрения являются способы поверхностной обработки, не затрагивающие основной материал.

Нанесение покрытий – специальные процессы, позволяющие наплавлять либо напылять на поверхность инструмента различные материалы принципиально иного химического состава. Однако, при наплавке в большинстве случаев впоследствии необходима механическая обработка для придания поверхности упрочненного изделия требуемой геометрической формы. Напыленные же покрытия имеют низкие показатели адгезионной прочности, в результате чего упрочненные напылением изделия не рекомендуется использовать при значительных касательных напряжениях и ударах, так как это может привести к отслаиванию упрочняющего покрытия.

Механическая обработка позволяет получать упрочненные поверхности путем их значительной деформации, в результате чего возрастают показатели твердости и износостойкости. Однако данному способу упрочнения не получится подвергать изделия сложной формы.

Электрическая обработка сочетает механическую обработку в условиях пропуска мощных электрических импульсов через контакт «накатной инструмент – изделие», что приводит к быстрому разогреву пятна контакта вплоть до плавления и в совокупности с деформирующим воздействием инструмента способствует формированию упрочненной поверхности, обладающей более высокими показателями, чем в случае механической обработки.

Термическая обработка – один из древнейших способов повышения эксплуатационных свойств изделий из железоуглеродистых сплавов, основан на упрочнении материалов при помощи полиморфных превращений, испытываемых материалом в ходе нагрева и последующего охлаждения. Однако, в современных условиях улучшения эксплуатационных свойств только лишь с помощью термической обработки явно недостаточно.

В современных условиях наиболее простым и эффективным способом повышения ресурса деталей и рабочих органов машин и инструмента является химико-термическая обработка. Традиционно используются, как правило, лишь два однокомпонентных процесса: цементация и азотирование, однако с точки зрения повышения ресурса наилучшими являются процессы борирования, а также совмещенные процессы борохромирования, боросилицирования, боротитанирования. Комплексные многокомпонентные диффузионные покрытия на основе бора в 3–5 раз превосходят цементированные по износостойкости, в 20–500 раз – по коррозионной стойкости и т.д.

Методы диффузионного насыщения бором совместно с другими элементами позволяет сократить процесс насыщения по сравнению с однокомпонентным насыщением, таким образом снижая трудо- и энергозатраты. Кроме того, для диффузионного многокомпонентного насыщения бором и другими элементами достаточно наличия на предприятии термических печей, способных работать в интервале 900–1000°C. Однако, несмотря на вышеперечисленные преимущества, метод химико-термической обработки все равно значительно проигрывает по длительности методам нанесения покрытий наплавкой и напылением.

Поэтому логичным продолжением метода диффузионного насыщения является насыщение в режиме высокоскоростного нагрева стального изделия с незначительной временной выдержкой в диффузионно-активной среде. В случае скоростного нагрева и последующей непродолжительной выдержки без использования защитной атмосферы, процессы диффузионного насыщения поверхности значительно активизируются. Так, например, в случае скоростного нагрева газовым пламенем, удается получать диффу-

зионные боридные покрытия толщиной до 115 мкм на стали Ст3 при выдержке 15–30 минут.

Применение газового пламени для нанесения диффузионных покрытий на железоуглеродистые сплавы в массовом производстве сопряжено с некоторыми трудностями: высокой пожаро- и взрывоопасностью, необходимостью хранения значительных объемов газов, низкой экологичностью процесса, обусловленной выбросом значительного количества CO₂, образующегося в результате сгорания горючих газов. Наиболее оптимальным в условиях массового промышленного производства будет замена газопламенной обработки на обработку ТВЧ, лишенную всех вышеперечисленных недостатков.

В случае нагрева поверхности упрочняемого изделия и насыщающей среды ТВЧ, возможно нанесение покрытий как твердофазным способом, когда реализован сугубо диффузионный механизм формирования покрытия, так и с оплавлением поверхности насыщаемого изделия и формирования покрытия из жидкой фазы, что характерно для процессов наплавки. Сформированные таким образом покрытия могут иметь весьма широкий спектр физико-механических и эксплуатационных свойств. Исследования в данном направлении являются перспективными, так как необходимо установление законов изменения температуры на границе контакта «упрочняемое изделие – насыщающая среда» из-за особенностей тепло- и массообмена, накладываемых на условия нагрева ТВЧ диффузионно-активной средой с целью оптимального управления процессом нагрева для реализации того либо иного механизма насыщения. Кроме того, необходима разработка новых составов насыщающих сред, которые бы позволили производить четко заданные процессы насыщения либо наплавки, не допуская их взаимных переходов.

В ходе работы по изучению химико-термической обработки в условиях ТВЧ нагрева разработаны составы насыщающих сред, позволяющие реализовать как процесс твердофазного насыщения бором и хромом, так и процесс наплавки бор-хромовых композиций, как формируемых в процессе наплавки, так и заранее сформированных. Разработанные составы охраняются в режиме «ноу-хау», на технологию нанесения покрытий на

основе бора с применением нагрева ТВЧ подана заявка на выдачу патента на изобретение РФ.

Список литературы:

1. Фазовые превращения и структура комплексных боридных покрытий Иванов С.Г., Гармаева И.А., Андросов А.П., Зобнев В.В., Гурьев А.М., Марков В.А. Ползуновский вестник. 2012. № 1-1. С. 106-108.

2. Особенности процесса нанесения упрочняющего покрытия из паст при газопламенном нагреве стальных деталей Гурьев А.М., Иванов А.Г., Околович Г.А., Марков В.А. Ползуновский вестник. 2012. № 1-1. С. 69-72.

3. Оценка скорости диффузии бора и хрома при различных режимах диффузионного упрочнения поверхности стали ст3 Иванов С.Г., Гармаева И.А., Гурьев А.М. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. Т. 9. № 2. С. 248-251.

4. Комплексное диффузионное упрочнение тяжело нагруженных деталей машин и инструмента Гурьев М.А., Иванов С.Г., Кошелева Е.А., Иванов А.Г., Грешилов А.Д., Гурьев

А.М., Лыгденов Б.Д., Околович Г.А. Ползуновский вестник. 2010. № 1. С. 114-121.

5. Упрочнение литых сталей поверхностным легированием из борсодержащих обмазок Гурьев М.А., Иванов А.Г., Иванов С.Г., Гурьев А.М. Успехи современного естествознания. 2010. № 3. С. 123-123.

6. Интенсификация процессов поверхностного легирования изделий из железоуглеродистых сплавов Иванов С.Г., Гурьев М.А., Гурьев А.М., Земляков С.А., Иванов А.Г. Современные наукоемкие технологии. 2010. Т. 9. С. 101-102.

7. Повышение эксплуатационных свойств стальных изделий в полевых условиях Гурьев А.М., Иванов А.Г., Марков П.А., Иванов С.Г. Ползуновский альманах. 2010. № 1. С. 205.

8. Повышение износо- и коррозионной стойкости стальных деталей методами комплексного бороникелирования и борвольфрамирания Иванов С.Г., Гурьев М.А., Земляков С.А., Иванов А.Г., Гурьев А.М. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2010. Т. 7. № 4. С. 108-111.

ЛИТЫЕ ДЕТАЛИ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ С УПРОЧНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

М. А. Гурьев, Д. С. Фильчаков, С. Г. Иванов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Среди возможных методов получения отливок с упрочненной поверхностью наиболее перспективным является метод получения отливок по газифицируемым моделям. Такой метод позволяет получать отливку наиболее высокой размерной точностью и с достаточно хорошей частотой поверхности, так как насыщающая смесь наносится непосредственно на модель. Нанесение же насыщающей смеси на внутреннюю поверхность литейной формы при других методах требует корректировки размеров модельной оснастки, что значительно усложняет технологический процесс изготовления форм и снижает размерную точность отливки.

Литье по газифицируемым моделям можно отнести к способам получения отливок с помощью литья в разовые неразъемные формы. Но в отличие от этих способов, модель удаляется (газифицируется) не до, а в процессе заливки формы металлом, который как бы вытесняет «испаряющуюся» модель из формы и замещает освободившееся пространство полости формы.

Современные варианты технологического процесса заключаются в получении разовых пенополистироловых моделей либо в специальных металлических пресс-формах (массовое и крупносерийное производство) с использованием суспензионного полистирола в виде подвешенных гранул, либо путем механической обработки нормализованных пенополистироловых плит (мелкосерийное и единичное производство).

Для изготовления отливки «нож» с упрочненным слоем использовался второй метод получения модели. Модель изготовлена на станке СРП-3223 с числовым программным управлением, где в качестве режущего инструмента применяется нагретая до 450-500°C проволока из нихрома диаметром 0,5-0,8 мм.

Приготовленную на основе карбида бора легирующую обмазку наносили на упрочняемую поверхность в виде сметанообразной

пасты толщиной от 0,2 мм до 1,0 мм. До сметанообразного состояния обмазка доводилась при помощи воды и жидкого стекла. Обмазку просушивали на воздухе (рисунок 1). После полного высыхания насыщающей обмазки к модели с помощью пайки крепили литниковую систему и произвели сборку моделей в блок.

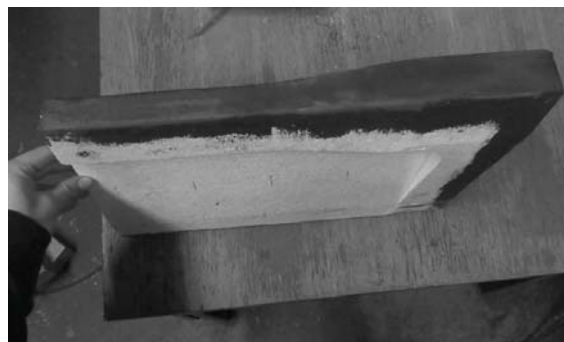


Рисунок 1 – Модель ножа с нанесенной на рабочую поверхность обмазкой

Готовые модельные блоки окрашивались в специальную противопопригарную краску (использовалась краска POLYTOP FS 3), которая предохраняет отливку от пригара, улучшает чистоту поверхности и повышает прочность модельного блока. Вязкость краски составляла 16-17 сек. (определяется экспериментально) по вязкозиметру ВЗ-Ф с диаметром выходного отверстия 6,0 мм. Далее модельный блок прошел сушку в два этапа: 1

ЛИТЫЕ ДЕТАЛИ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ С УПРОЧНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

– подвяливание на воздухе в течение 2-х часов; 2 – в сушиле в потоке горячего воздуха при температуре 45-50°C в течение 4-5 часов.

Первый этап сушки очень важен, так ес-

ли пренебречь им, то часть упрочняющего покрытия вздувается и растрескивается (рисунок 2). Тоже можно сказать и о сушке насыщающей обмазки.



Рисунок 2 – Результат нарушение технологии сушки противопопригарного покрытия

Для изготовления форм в работе применен сухой кварцевый песок марки 2K₂O₂03 без связующего. Процесс формовки осуществлялся следующим образом. На дно опоки-контейнера засыпают постель из сухого песка, уплотняют вибрацией (опока-контейнер устанавливается на вибростол перед формовкой) и затем в заданном положении устанавливают модельные блоки. После установки моделей опоку заполняют песком до верхнего края опоки при одновременной вибрации. Время заполнения опоки-контейнера объемом 1м³ составляет в среднем 4-5мин. Далее верхнюю часть контейнера закрывается полиэтиленом и сверху присыпается кварцевый песок толщиной 15-25мм, что предотвращает возможность нарушения работы вакуума при заливке жидким сплавом.

Непосредственно перед заливкой готовую форму подключали к вакуумному насосу и создавали при помощи вакуумного ресивера разрежение в форме 0,05 МПа, выполняли заливку расплавом с температурой 1560°C из поворотного ковша чайникового типа, предварительного разогретого в печи до t=950°C. После кристаллизации отливки и ее выдержки форму выбивали. Далее отливки отделялись от литниковой системы при помощи образивного круга, обрабатывали в дробеметной камере, проходили необходимую термическую обработку. На рис.3 представлена

готовая отливка ножа для дорожной техники.

В настоящее время упрочненные ножи уже показали в два раза большую эксплуатационную стойкость по сравнению с ранее применяемыми. Производственные испытания продолжаются, окончательные данные по износостойкости будут установлены после завершения испытаний.



Рисунок 3 – Готовая отливка с упрочненной рабочей поверхностью

Список литературы:

1. Гини Э.Ч. Специальные технологии литья/ Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 367 с.
2. Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Иванов

С.Г. Оптимизация состава многокомпонентной насыщающей смеси на основе бора и хрома для поверхностного легирования сталей // Ползуновский альманах №1.- 2010.- С.131-135.

3. Гурьев М.А., Околович Г.А. Поверхностное упрочнение стальных деталей при литье по газифицируемым моделям // Ползуновский альманах №1.- 2010.- С.102-106.

4. Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Гармаева И.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Околович Г.А. Технология нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на стальные детали // Ползуновский вестник №1/1-2012, С 73-77.

5. Гурьев М. А. Разработка нового метода поверхностного упрочнения деталей машин и инструмента / Проблемы повышения

эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе // Материалы 9-й Всероссийской научно-практической конференции. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. - С.35-37.

6. Гурьев М.А., Фильчаков Д.С. Упрочнение деталей машин и инструмента поверхностным легированием при производстве литых изделий // Ползуновский альманах №4 - 2011.-С.142-147.

7. Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Гармаева И.А. Изготовление упрочненных стальных деталей методами точного литья// Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации). Межвузовский сб. науч. тр. / под ред. С.А. Зайдеса. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. С. 137-144..

СТРУКТУРА СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО БОРИРОВАНИЯ

И. А. Гармаева, О. А. Власова, А. М. Гурьев, Н. Ю. Малькова
Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Диффузионное насыщение поверхности стали, чаще всего, производят при высокотемпературной изотермической или изотермически-ступенчатой выдержке с полной перекристаллизацией стали в аустенитное состояние. Это приводит к перегреву – структура и механические свойства, кроме твердости и износостойкости, ухудшаются. Есть и другие недостатки в технологии ХТО с высокотемпературной выдержкой в процессе насыщения: коробление от обычной ползучести, высокая энергоёмкость и т.д. Указанные недостатки можно устранить при диффузионном насыщении поверхности сплава в режиме термоциклирования (ТЦО).

Исследовали структуру борированных из насыщающей обмазки сталей. Борирование углеродистых и легированных инструментальных сталей У8, Х12М, 5ХНВ и 5ХНВЛ проводили по традиционной технологии и в режиме термоциклирования из обмазки толщиной 2–5 мм (состав, %: В4С -75, графит-14, NaF -4, бентонит -7) нанесенной на поверхность цилиндрических образцов (длина - 30мм, диаметр-15 мм) по двум схемам. В первом случае проводили борирование при температуре 980⁰С с выдержкой в течение 2 часов. Во втором случае схема обработки состояла из четырех циклов 980 ⇔ 730⁰С. Время циклирования составляло 2 часа.

Исследования показали, что ТЦО во время борирования приводит к увеличению толщины слоя до 80% на углеродистой стали (сталь У8), с увеличением степени легированности эффект снижается с 70% (литая сталь 5ХНВ) до 20% (сталь Х12М). С увеличением содержания углерода в стали снижается глубина борированного слоя, как после изотермического высокотемпературного борирования, так и после термоциклического борирования.

Как показали исследования, проведенные методами рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии, фазовый состав

и объемная доля фаз по мере продвижения в глубь образца меняется. Бориды Fe₂B и FeB образуются путем реакционной диффузии вслед за движущейся межфазной границей, которая смещается в глубь α-Fe.

Направленная кристаллизация привела к существенным качественным изменениям в структуре стали. Бор более активно проникает при таком строении на большую глубину и в больших количествах. В частности, фазовый состав на глубине 2,5мм в первом образце содержит один карбоборид железа Me₂₃(C,B)₆, в то время как во втором образце присутствуют два карбоборида - Me₃(C,B) и Me₂₃(C,B)₆. Установлен следующий фазовый состав:

- на поверхности : α + Me₂B + MeB + В4С + Me₃(C,B) + Me₂₃(C,B)₆
- на расстоянии от поверхности образца 100 мкм: α + Me₃(C,B) + Me₂₃(C,B)₆
- на расстоянии - 500 мкм: α + Me₃C + Me₃(C,B) + Me₂₃(C,B)₆
- на расстоянии – 2500мкм: α + Me₃C + Me₂₃(C,B)₆

Чистого (не борированного) цементита даже на глубине 2,5мм после борирования литой стали нет, в то время как в первом образце он начал появляться на глубине 500мкм. Кроме того, о более активной диффузии бора в объем материала во втором случае свидетельствует несколько повышенная суммарная плотность границ зерен, как исходных, так и возникающих в процессе борирования. Эти границы служат основными каналами проникновения бора в глубь стали. Проведенные исследования позволили детально изучить кинетику образования борированного слоя и выявить механизм его формирования.

Исследования структуры борированной стали в литом (5ХНВЛ) и деформированном состоянии (5ХНВ) показали, что фазовый состав обоих образцов одинаков. Термоциклирование привело только к увеличению боридной зоны. Боридная зона в термоцикли-

рованном образце более плотная, иглы более разветвленные, плотность малоугловых границ, образованных в переходной зоне в результате диффузии бора и вытеснения углерода с поверхности образца оказалась выше. Глубина переходного слоя возросла (в 1,5 раза). Полученные результаты свидетельствуют о значительно более высокой скорости диффузии углерода и бора при химико-термической обработке сталей в литом состоянии по сравнению с деформированными сталями аналогичного химического состава.

Исследованы структуры диффузионных слоев инструментальных сталей, полученных в условиях изотермического насыщения и в условиях, когда насыщение велось при циклическом изменении температуры. Показано, что циклический нагрев и охлаждение значительно ускоряют кинетику процесса ХТО железоуглеродистых сплавов, как в литом так и в деформированном состоянии. Установлено, что диффузия по границам зерен является главным механизмом борирования за исключением наружного слоя, где решающим фактором является реакционная диффузия.

Таким образом, химико-термическая обработка сталей при некоторых циклически изменяющихся температурных режимах (ХТЦО) более эффективна, чем при постоянной температуре насыщения. ХТЦО позволяет получить упрочнённый диффузионный слой необходимой толщины за более короткое время, а разработанные нами новые способы ТЦО и ХТЦО, позволяют реализовывать их на стандартном оборудовании любого термического участка.

Список литературы

1. Бондарь Б.С. Влияние термоциклирования при борировании на ударную вязкость углеродистых сталей // Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Минск, 1977. С. 185 – 186.
2. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термоциклического борирования.- Барнаул, Изд-во АлтГТУ.- 2000.-216 с.
3. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Попова Н.А. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом карбоборировании феррито-перлитной стали // Известия высших

учебных заведений. Физика. 2000. Т. 43. № 11. С. 60.

4. Лыгденов Б.Д., Обунеев И.Б., Гурьев А.М. Повышение износостойкости углеродистой феррито-перлитной стали // Ползуновский альманах. 2003. № 3-4. С. 100.

5. Лыгденов Б.Д., Грешилов А.Д., Хараев Ю.П., Гурьев А.М. Оптимизация состава смеси для химико-термической обработки цанг токарных полуавтоматов и кондукторных втулок // Ползуновский альманах. 2003. № 3-4. С. 105-107.

6. Раднаев А.Р., Мосоров В.И., Гурьев А.М. Термоциклическая обработка стали 3Х2В8Ф // Ползуновский альманах. 2003. № 3-4. С. 126-127.

7. Раднаев А.Р., Мосоров В.И., Гурьев А.М. Термоциклическая обработка изделий из высокопрочного чугуна с наплавленным слоем стали // Ползуновский альманах. 2003. № 3-4. С. 140.

8. Transition zone forming By different diffusion techniques in borating process of ferrite - pearlite steels Under the thermocyclic conditions A.M. Guriev, E.V. Kozlov, B.D. Lygdenov, A.M. Kirienko, E.V. Chernykh // Фундаментальные проблемы современно-го материаловедения, №2.- 2004.- С.54 – 60.

9. Гурьев А.М., Ворошнин Л.Г., Хараев Ю.П., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Гурьева О.А., Колядин А.А., Попова О.В Термоциклическое и химико-термоциклическое упрочнение инструментальных сталей. // Ползуновский вестник. 2005. № 2. С. 36

10. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А., Иванов С.Г., Козлов Э.В., Гармаева И.А. Фазовый состав и механизм образования диффузионного слоя при борировании сталей в условиях циклического теплового воздействия // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 1. С. 20-27

11. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Земляков С.А. Новый способ диффузионного термоциклического упрочнения поверхностей железоуглеродистых сплавов // Ползуновский альманах. 2008. № 3. С. 10-16.

12. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А. Совершенствование технологии химико-термической обработки инструментальных сталей // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2009. № 1. С. 14-15.

РАСЧЕТ РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА АБРАЗИВНЫХ ЗЕРЕН ПРИ НАРУЖНОМ КРУГЛОМ ШЛИФОВАНИИ

В. Б. Богущкий, Ю. К. Новосёлов, С. М. Братан

Севастопольский национальный технический университет,
г.Севастополь, Украина

Для управления процессом шлифования в условиях автоматизированного производства необходимо располагать информацией о закономерностях размерного износа инструмента. В настоящее время в работах Т.Н. Лопадзе, Г.В. Бокучавы, Н.И. Богомолова и ряда других исследователей [1,2,3] наиболее изучены механизмы износа единичных абразивных зерен и явления, возникающие при контакте зерна с материалом. В тоже время кинетика процесса износа единичных абразивных зерен в большинстве работ не рассматривалась, что не позволяет прогнозировать работу единичного зерна и, как следствие, прогнозировать работоспособность шлифовального круга.

Целью работы является изучение закономерностей износа абразивных зерен и их связь с износом шлифовального круга для условий круглого шлифования.

Зона контакта при круглом шлифовании представляет собой, в геометрическом изображении, форму двух сегментов (рисунок 1, а), в тоже время, действительная форма зоны контакта отличается от её геометрического изображения. Это происходит из-за того, что в результате контакта абразивных зерен с материалом обрабатываемой детали её радиус изменяется на величину радиального съема, радиус шлифовального круга — на величину его радиального износа, а на поверхности остается слой шероховатости поверхности. Упругие и температурные деформации элементов технологической системы изменяют глубину микрорезания, под действием возникающих сил абразивные зерна утапливаются в связку инструмента и линия, ограничивающая зону контакта со стороны материала, будет смещаться к центру вращения круга.

Абразивные зерна на рабочей поверхности круга расположены на различной глубине от условной наружной поверхности инстру-

мента, их работа зависит от длины траекторий движения в зоне контакта и условий контакта с обрабатываемым материалом. До входа в зону контакта детали с кругом обрабатываемая поверхность имеет микрорельеф, образовавшийся на предыдущей операции или при выполняемом процессе шлифования. Единичное зерно при шлифовании, проходя зону контакта детали с кругом, может срезать материал, если попадает на один из выступов шероховатости поверхности, или не срезать его, если попадет в одну из впадин шероховатости. При встрече зерна с выступом возрастает доля удаленной части материала, а если зерно попадает во впадину — материал не снимается. В каждой точке зоны контакта абразивного зерна с материалом детали условия контакта отличаются. Активная работа зерна проявляется после того, как оно начнет проходить через зону контакта. Глубина резания единичным абразивным зерном, которое расположено на расстоянии от условной наружной поверхности инструмента (рисунок 1, а), в основной плоскости, проходящей через центр детали и центр шлифовального круга, для любого — того контакта инструмента с заготовкой равна

$$t_{g_i} = t_{f_i} - u_{g_i} \quad (1)$$

При движении в зоне контакта, глубина микрорезания определяется из соотношения [5]

$$t_{g_i}(z) = t_{g_i} - \frac{z^2}{D_3} \quad (2)$$

где D_3 — эквивалентный диаметр,

$$D_3 = \frac{D_{кр} \cdot d_\delta}{D_{кр} + d_\delta}$$

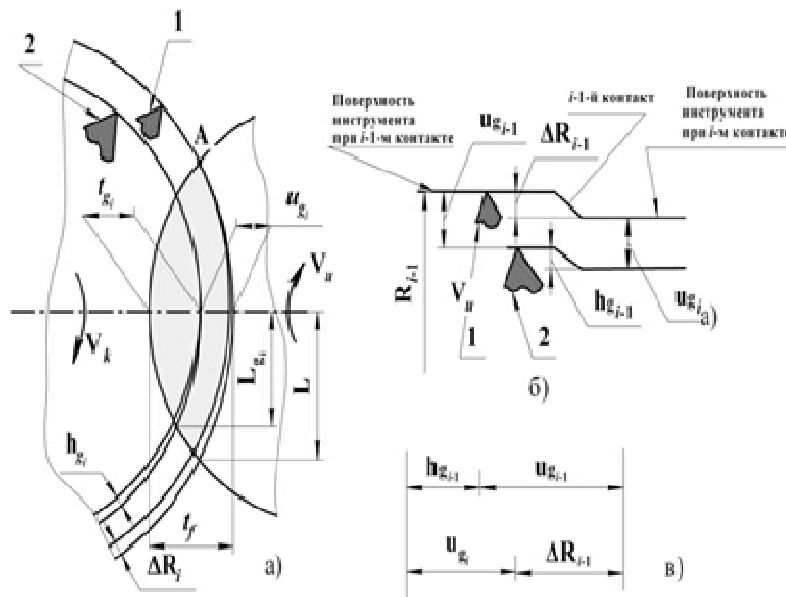


Рисунок 1 – Схема к расчету пути резания единичного абразивного зерна

Контактируя с деталью, зерно пересекает разные уровни её поверхности y_j и в зависимости от её состояния, соотношение удаленного и не удаленного материала различено. При движении в зоне контакта величина y_j может увеличиваться от 0 до t_{gi} и затем снижаться до 0 соответственно различна и вероятность контакта P_k . Величина y_j для $j - i - 1$ -го контакта определена как $y_{j-i-1} = y_j + \sum_{k=j-1}^i \Delta R_k$ [6].

Проанализируем работу двух абразивных зерен при $i - 1$ -вом контакте круга с заготовкой, вершина первого из них находится на условной рабочей поверхности инструмента, а вершина второго расположена на расстоянии u_{gi} по глубине инструмента (рисунок 1, а). Вполне очевидно, что при одном контакте износ первого зерна h_{g1} будет больше износа второго h_{g2} , так как длина его траектории движения $2L_{g1}$ и глубина микрорезания t_{gi} в зоне контакта больше и, кроме того, вероятность контакта его вершины с материалом так же больше.

На рисунке 1, б показана развертка условной наружной поверхности инструмента. Условная наружная поверхность инстру-

мента до $i - 1$ -го контакта описывается радиусом R_{i-1} и, соответственно, расстояние между первым и вторым зернами равно u_{gi-1} . После $i - 1$ -го контакта, с учетом радиального износа инструмента ΔR_{i-1} , условная наружная поверхность описывается радиусом R_i . Расстояние между первым и вторым зернами уменьшилось на величину износа зерна h_{gi-1} и теперь равно u_{gi} . Согласно рисунку 1, б можно построить размерную цепь, показанную на рисунке 1, в.

Для i -го контакта, как следует из размерной цепи (рисунок 1, в)

$$u_{gi} = u_{gi-1} + h_{gi-1} - \Delta R_{i-1} \quad (3)$$

где u_{gi-1} и u_{gi} – координаты вершины зерна до $i - 1$ -го и i -го контактов; ΔR_{i-1} и h_{gi-1} – радиальный износ круга и износ вершины зерна при выполнении $i - 1$ -го (до начала i -го) контакта.

Подставив значение u_{gi} из уравнения (3) в уравнение (1) и учитывая, что глубину микрорезания t_{fi} при $i - m$ контакте можно определить как $t_{fi} = t_{fi-1} + \Delta t_{fi}$ (Δt_{fi} изменение глубины микрорезания при $i - m$ контакте)

получим разностное уравнение, устанавливающее связь износа абразивного инструмента ΔR_{i-1} с износом единичных абразивных зерен $h_{g_{i-1}}$ при различных режимах обработки (параметры $t_{g_{i-1}}$ и Δt_{f_i}).

$$t_{g_i} = t_{g_{i-1}} + \Delta t_{f_i} - h_{g_{i-1}} + \Delta R_{i-1} \quad (4)$$

В стадии установившегося износа обычно принимается, что размерный износ инструмента пропорционален величине относительного износа h_0 и пути резания L_{pez} .

Величина относительного износа h_0 зависит от марок инструментального материала и обрабатываемой детали и по данным работы [4] пропорциональна глубине микрорезания $h_{g0} = K_h t_{g_i}$, где K_h – коэффициент пропорциональности. Соответственно, величину размерного износа единичного абразивного зерна можно записать как

$$h_{g_i} = K_h t_{g_i} L_{pez}. \quad (5)$$

Длина пути резания единичным абразивным зерном L_{pez} не равна длине траектории его движения и может быть установлена только на основе анализа вероятности контакта вершин зерен с материалом. Вероятность контакта вершины абразивного зерна с материалом P_k в любой точке зоны контакта определяется вероятностью неудаления материала [4]

$$P_k = 1 - P(M) = P(\bar{M}),$$

Суммарная длина пути резания зави-

$$P_k = P(\bar{M}) = \exp \left\{ - \frac{\pi K_c \sqrt{2\rho_g} (V_k \pm V_u) n_g}{V_u H_u^{3/2}} \times \left[\frac{2}{5} \sqrt{D_s} \sum_{i=2}^n (t_f - y_j - i\Delta r)^{5/2} + \frac{3}{8} (t_f - y_j - \Delta r)^2 \times \right. \right. \\ \left. \left. \left(z - \frac{2z^3}{3L_{y_j}^2} + \frac{z^5}{5L_{y_j}^4} + \frac{8}{15} L_{y_j} \right) \right] \right\} \quad (9)$$

где: K_c – коэффициент стружкообразования, который учитывает, что не весь материал удаляется из объема риски, а часть его вытесняется и образует по краям риски навалы; V_k – скорость круга; V_u – скорость детали; n_g – количество вершин зерен на единицу поверхности рабочего слоя круга; ρ_g – радиус округления при вершине зерна; H_u – вели-

сит от длины траектории движения абразивных зерен в зоне контакта и вероятности контакта и на $i - M$ обороте круга определяется по зависимости

$$L_{pez} = \int_{-L_{g_i}}^{L_{g_i}} P_k dz, \quad (6)$$

а зависимость для расчета износа абразивного зерна будет иметь вид

$$h_{g_i} = \int_{-L_{g_i}}^{L_{g_i}} K_h t_{g_i} P(\bar{M}) dz, \quad (7)$$

где L_{g_i} – расстояние от основной плоскости до точек входа в зону и выхода из зоны абразивного зерна при i -ом контакте круга с деталью, определяется по ниже приведенной зависимости

$$L_{g_i} = \sqrt{t_{g_i} D_s}.$$

Как показано в работе [4], вероятность неудаления материала на уровне y (рис.1,в) рассчитывается по зависимости

$$P(\bar{M}) = e^{-a_0 - a_1 - a_2 - \dots - a_{j-1} - a_j(y)}, \quad (8)$$

где j – номер контакта материала детали с абразивным зерном, a_0 – показатель, определяющий исходное состояние поверхности, $a_1, a_2, \dots, a_{j-1}, a_j(y)$ – показатели, характеризующие изменение вероятности удаления материала с рассматриваемого участка поверхности после первого, второго и т.д. касаний детали с кругом.

Согласно [6] вероятность контакта абразивных зерен с обрабатываемым материалом определяется по зависимости

на слоя рабочей поверхности круга по глубине, в пределах которого подсчитывается число абразивных зерен n_g ; L_{y_j} – расстояние от основной плоскости до пересечения уровня y_j с условной наружной поверхностью инструмента, $L_{y_j} = \sqrt{(t_f - y_j) D_s}$.

Обрабатываемый материал на уровне y_j будет удаляться только при выполнении

тех касаний, для которых глубина микрорезания больше расстояния до уровня y_{j-i-1} , т.е. соблюдается условие $t_{fj-i} \geq y_{j-i-1}$. Если $t_{fj-i} < y_{j-i-1}$, то материал на наблюдаемом уровне не удаляется и слагаемое $\sum_{i=2}^n (t_f - y_j - i\Delta r)^{5/2}$ при вычислениях уравнения (9) приравняется к нулю.

На рисунке 2 приведены результаты расчетов вероятности контакта абразивных зерен с обрабатываемым материалом образцов из закаленной стали диаметром 50 мм кругами из электрокорунда белого зернистостью 25 при скорости круга $V_k = 35 \text{ м/с}$, скорости детали $V_u = 0.2 \text{ м/с}$.

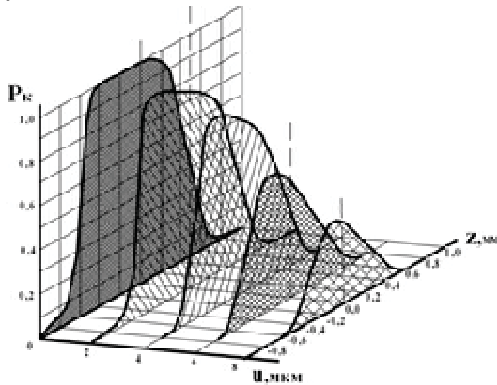


Рисунок 2 – Вероятность контакта вершины зерна с обрабатываемым материалом

Анализ вероятности контакта вершины абразивного зерна с материалом показывает, что для наиболее удаленного от центра круга зерна при движении от точки входа в зону к основной плоскости, проходящей через центр детали и центр шлифовального круга, наблюдается увеличение вероятности контакта. В основной плоскости она становится равной единице. При движении от основной плоскости к точке выхода вероятность снижается от единицы до нуля. Для зерен, расположенных на расстоянии u_g от условной наружной поверхности инструмента, кривые имеют более плавный характер, у них нет столь выраженного линейного участка в области основной плоскости, при всех значениях z вероятность меньше единицы. Все кривые расположены внутри кривой $u_g = 0$ и имеют меньшую протяженность, максимум

всех кривых смещен в сторону отрицательных значений z и уменьшается по величине с увеличением u_{g_i} .

Для численного решения интеграла (6) и разностного уравнения (4) по методу Симпсона на ПК разработана блок-схема алгоритма расчета (рисунок 3). Результаты расчетов по приведенному алгоритму представлены на рисунках 4 и 5 для случая шлифования образцов из закаленной стали диаметром 50 мм кругами 1-300x20x127 24A 25-Н СМ2 Б.

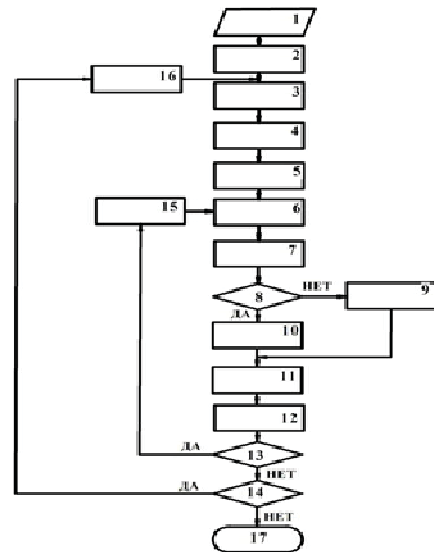


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма расчета износа абразивных зерен: 1. Ввод исходных данных $(D_k, d_o, K_c, V_k, V_u, \rho, n_g, \Delta z, K_h, \Delta R)$; 2. Расчет $D_g, \Delta r, H_u$; 3. Задание номера оборота детали j ; 4. Расчет значения t_{g_i} ; 5. Расчет значений z и L_{g_i} ; 6. Расчет величины $t_{g_i}(z)$ и текущего значения y_{j-i} ; 7. Расчет количества съемов за один контакт n ; 8. Проверка условия удаления материала $t_f \geq y_{j-i}$; 9. Расчет показателя степени a_j при $t_f \geq y_{j-i}$; 10. Расчет показателя степени a_j при $t_f < y_{j-i}$; 11. Расчет вероятности контакта P_k ; 12. Расчет величины износа зерна $h_{g_{j-1}}$; 13. Проверка условия $-\sqrt{t_{g_i} D_g} \leq z$; 14. Проверка условия окончания цикла обработки $t_g \leq 0,99 t_f$; 15. Изменение координаты z ; 16. Изменение номера контакта детали $(j = j + 1)$.

Приведенные трехмерные графики позволяют получить основные параметры работы абразивных зерен в зоне контакта. Длина пути резания, с увеличением числа контактов поверхности инструмента с обрабатываемой деталью увеличивается. Кривые отображают динамику работы зерна в круге, начиная с момента его активизации. При первых 100...200 касаниях вероятность контакта абразивного зерна с металлом и длина пути резания практически равны нулю, вершина зерна не изнашивается, глубина микрорезания увеличивается почти пропорционально $i = v_k \tau$. С увеличением глубины микрорезания абразивное зерно все дальше проникает в зону резания, увеличивается вероятность его контакта с обрабатываемым материалом и длина пути резания.

Вершина зерна начинает более интенсивно изнашиваться, её продвижение по глубине замедляется. При дальнейшем увеличении времени работы инструмента размерный износ вершины зерна на i -м касании все более приближается к величине радиального износа круга, а приращение глубины микрорезания стремится к нулю.

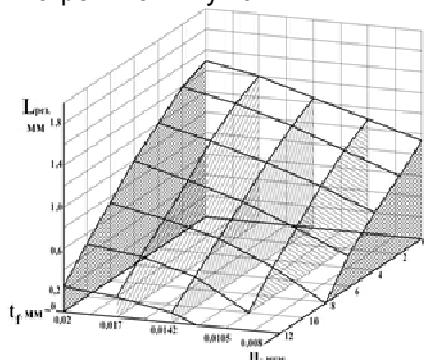


Рисунок 4 – Длина пути резания единичным абразивным зерном

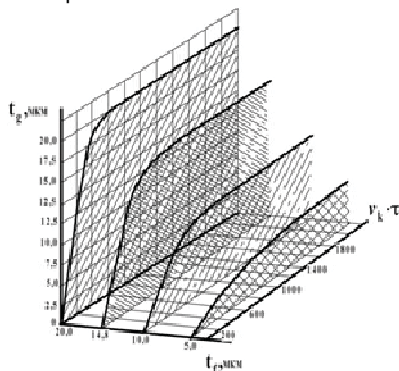


Рисунок 5 – Влияние числа контактов круга с деталью на глубину микрорезания абразивным зерном при шлифовании закаленной стали

Цикл активной работы зерна заканчивается при его разрушении под действием сил и температур, возникающих при микрорезании.

Выводы. Полученные зависимости описывают динамику износа единичных абразивных зерен в условиях работы инструмента в режиме затупления. Износ зерен непрерывно увеличивается, затупившиеся вершины перестают резать, что приводит к снижению производительности процесса. Для дальнейшего развития необходимо обеспечить самозатачиваемость шлифовального круга, что является задачей дальнейших исследований.

Список литературы:

1. Износ алмазов и алмазных кругов / Т.Н. Лопадзе, Г.В. Бокучава. – М.: Машиностроение, 1967. – 113 с.
2. Багдасарян К.А. О работоспособности шлифовальных кругов и работе шлифования. – В кн.: Основные вопросы высокопроизводительного шлифования. М., Машгиз, 1960, С.161-170.
3. Богомолов Н.И. Роль прочности абразива и механизм саморегулирования в процессах абразивной обработки / Н.И. Богомолов // Физико-химические явления при шлифовании. Киев: АН УССР, 1976. С.32-40.
4. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1979. – 232с.
5. Братан С.М. Взаимосвязь перемещений в технологической системе при чистовом и тонком шлифовании / С.М. Братан, Ю.К. Новоселов, Д.Е. Сидоров // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр. – Вып.8 - Изд-во СевНТУ Севастополь, 2005 С.79-85.
6. Ю.К. Новоселов Износ абразивных зерен в круге при шлифовании заготовок / Ю.К. Новоселов, В.Б. Богуцкий, // Резание и инструмент в технологических системах: Международн. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – Вып. 81. – С.228-237

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

Ю. К. Новоселов, С. М. Братан, Ю. О. Стреляная, Д. А. Каинов

Севастопольский национальный технический университет,
г. Севастополь, Украина

Повышение точности обработки изделий на тяжелых станках, ввиду больших габаритов узлов станка, участвующих в формообразовании, погрешностей сборки, упругих, тепловых деформаций, является актуальной проблемой и на сегодняшний день.

При разработке и модернизации существующих тяжелых станков, с целью расширения возможностей диапазона их эксплуатационных параметров, широкие перспективы получают гидростатические подшипники (ГСП), которые обеспечивают снижение или устранение нелинейностей и нестабильности характеристик

При инженерных расчетах ГСП принимают упрощенную модель: изотермическое ламинарное течение вязкой несжимаемой жидкости между двумя эксцентрически расположенными жесткими телами, одно из которых неподвижно (опора), а другое движется с некоторой скоростью (цапфа). При смещении цапфы вниз и в сторону вращения между рабочими поверхностями вала и подшипника, ниже линии центров OO_1 образуется клинообразный сужающийся в направлении движения слой смазки. При этом считают, что частицы жидкости перемещаются только вследствие действия постоянной силы трения.[1] Такая модель характеризует задачу Рейнольдса и может быть использована для расчета широкого класса гидростатических подшипников.

При расчете ГСП, особое внимание следует уделять профилю карманов подшипника, в существенной степени определяющих характеристики нагрузочной способности опоры.

На рисунке 1 представлены расчетные модели четырехкамерных ГСП с отдельным подводом масла в каждый из карманов.

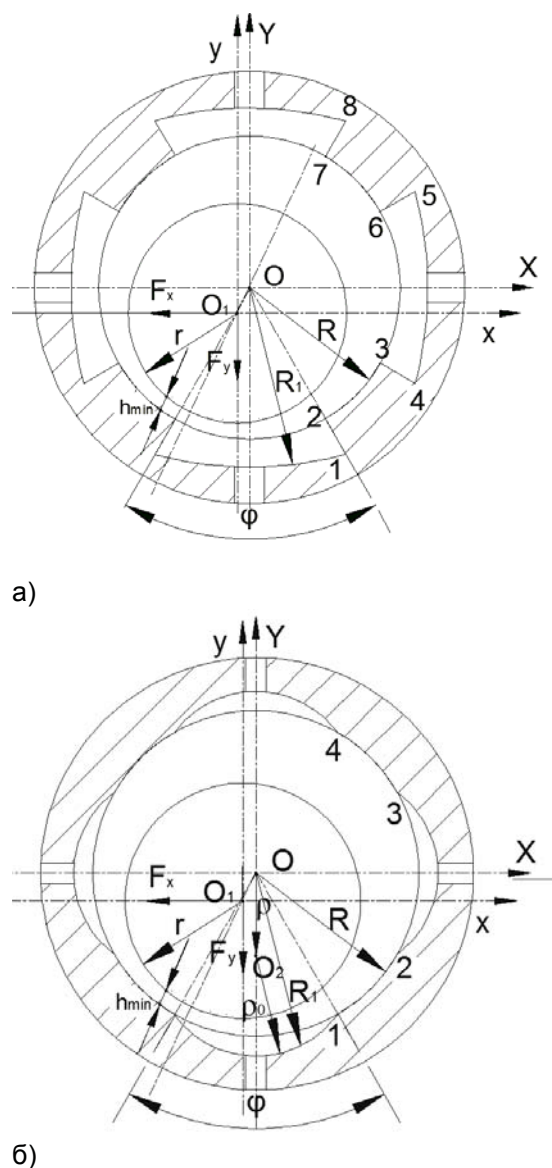


Рисунок 1 – Схематическое изображение ГСП

Согласно рисунку 1–а [2], в сечение ГСП профиль опоры правой полуплоскости для цилиндрической системы координат запишется при R, R_1 – соответствующие постоянные, так:

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

$$\begin{cases} \varphi_{1,2} \leq R \leq \varphi_{3,4}, \\ \varphi_{3,4} \leq R_1 \leq \varphi_{5,6}, \\ \varphi_{5,6} \leq R \leq \varphi_{7,8} \end{cases} \quad (1)$$

Однако, такая функция профиля(1) является негладкой, неоднозначной с разрывами первого рода в точках $\varphi = \varphi_1 = \varphi_2$ и т.п., и недифференцируемой. Наличие неоднозначности, в частности, определяет негладкость [3] и не позволяет использовать классические методы анализа для определения минимума, но может быть решена численными методами.

Вполне логичным является использование описания дна кармана и перехода от перемычки к профилю кармана функциями с устранимым разрывом.[4]

Учитывая схему рисунка1–а, необходимо ввести некоторую липшицевую функцию описания ГСП без разрывов в точках 1,2,3,4. Например рисунок 1–б. Тогда граничные условия, с учетом смещения центра О на О₂ при $R_1(\varphi)$, запишутся так:

$$\begin{cases} \varphi_1 \leq R \leq \varphi_2, \\ \varphi_2 \leq R_1(\varphi) \leq \varphi_3, \\ \varphi_3 \leq R \leq \varphi_4 \end{cases} \quad (2)$$

Для того чтобы получить зависимости, определяющие значение подъемной силы, рассматривается равновесие элементарного объема жидкости единичной толщины (рисунок 2).

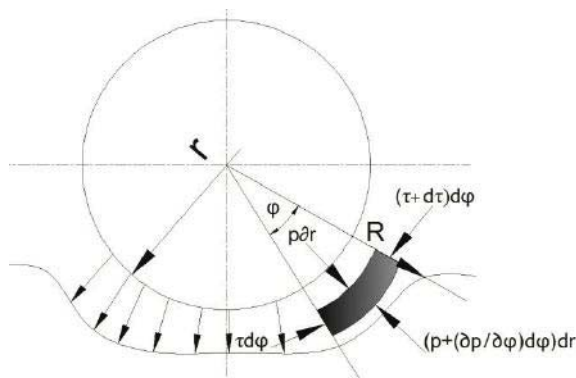


Рисунок 2 – Расчетная модель

При перемещении этого объема жидкости в направлении φ с окружной скоростью v на него действует подъемная сила, вызван-

ная разностью давлений

$$p \frac{dr}{r} - (p + \frac{\partial p}{\partial \varphi} d\varphi) dr$$

Интегрирование этого выражения с учетом (2) по φ позволяет проанализировать влияние профиля $R(\varphi)$ на несущую способность ГСП. Ввиду сложности непосредственного решения вариационной задачи выбора функции $R(\varphi)$ по критерию оптимальной несущей способности ГСП, предложено осуществить конечномерную параметризацию и решать такую задачу методами численной оптимизации.

Учитывая то, что движение частиц жидкости происходит не по самой стенке, а по тонкому слою молекул жидкости, удерживаемых молекулярными силами на стенке и, воспользовавшись законом Ньютона, можно записать удельную силу трения τ :

$$\tau = \mu \frac{dv}{dr}$$

Уравнение равновесия записывается в виде

$$p \frac{dr}{r} - \left(\frac{p + \partial p}{r \partial \varphi} d\varphi \right) dr = -(\tau + d\tau) d\varphi + \tau d\varphi$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} p dr - \frac{1}{r} p dr - \frac{1}{r} \left(\frac{\partial p}{\partial \varphi} \right) dr &= \\ = -\mu \frac{\partial v}{\partial r} d\varphi - \frac{\partial}{\partial r} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial r} dr \right) d\varphi + \mu \frac{\partial v}{\partial r} d\varphi \end{aligned}$$

или

$$\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} = \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} \quad (3)$$

Так как в уравнении (3) r изменяется в пределах от r_0 до $r_0 + \delta$, причем δ – величина малая в сравнении с r_0 , то в этом уравнении r можно заменить на r_0 , а так же введем вместо r новую независимую переменную y и положив $r = r_0 + y$, получим

$$\frac{1}{r_0} \frac{\partial p}{\partial \varphi} = \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \quad (4)$$

Величину скорости течения жидкости v можно получить двукратным интегрированием уравнения (4), в виде

$$V = \frac{1}{2r_0\mu} \frac{\partial p}{\partial \varphi} y^2 + Ay + B$$

Произвольные постоянные А и В находятся из следующих граничных условий:

$$V|_{y=0} = U$$

$$V|_{y=h} = 0$$

Для скоростей течения в слое смазки:

$$V = \frac{1}{2r_0\mu} \frac{\partial p}{\partial \varphi} y(y - h(\varphi)) + \frac{U}{h(\varphi)} \quad (5)$$

С учетом (5), расход жидкости Q через зазор h(φ) равен

$$Q = \int_0^{h(\varphi)} V dy = \frac{Uh(\varphi)}{2} - \frac{h^3(\varphi)}{12\mu r_0} \frac{\partial p}{\partial \varphi}$$

Если зазор, координате которого соответствует наибольшая величина давления, обозначить через h_m , условие неразрывности потока можно представить как равенство объемов жидкости, проходящих через поперечные сечения с зазорами h(φ) и h_m в единицу времени:

$$\frac{Uh(\varphi)}{2} - \frac{h^3(\varphi)}{12\mu r_0} \frac{\partial p}{\partial \varphi} = \frac{Uh_m}{2} - \frac{h_m^3}{12\mu r_0} \left[\frac{\partial p}{\partial \varphi} \right]_{p=p_{\max}} \quad (6)$$

$$\text{где } h_m = R - r_0 - e(\cos \phi),$$

e - относительный эксцентриситет ОО₁ (рис.1).

Угол φ, при котором достигается максимум удельного давления $p=p_{\max}$, определяется

$$\frac{\partial p}{\partial \varphi} = 0$$

известным условием экстремума. Тогда уравнение неразрывности потока (6) принимает вид:

$$\frac{Uh(\varphi)}{2} - \frac{h^3(\varphi)}{12\mu r_0} \frac{\partial p}{\partial \varphi} = \frac{Uh_m}{2} \quad (7)$$

Из уравнения (7), можно получить дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными

$$\frac{\partial p}{\partial \varphi} = 6\mu U r_0 \frac{(h(\varphi) - h_m)}{h^3(\varphi)},$$

после интегрирования левой и правой частей позволяет построить

$$p(\varphi) = p(0) + 6r_0\mu U \left[\int_0^\varphi \frac{\partial \varphi}{h(\varphi)^2} - h_m(\varphi) \int_0^\varphi \frac{\partial \varphi}{h(\varphi)^3} \right]$$

В предположении, что смещение цапфы в подшипнике происходит плоскопараллельно (отсутствие перекоса) можно записать силы F_x и F_y как результат интегрирования векторной функции удельных давлений (см. рис.1)

$$\begin{cases} F_x = L \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} p(\varphi_i) \sin(\varphi_i) d\varphi_i \\ F_y = L \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} p(\varphi_i) \cos(\varphi_i) d\varphi_i \end{cases}$$

где L – ширина подшипника;
Несущая способность подшипника

$$W = \frac{L d_0 \omega \mu}{\delta^2} K_w,$$

где $\delta = R - r_0$ - радиальный зазор,

ω - угловая скорость вращения вала

$K_w = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ - коэффициент, характеризующий несущую способность опоры.

Влияние эффекта «негладкости» описания профиля опоры не только не позволяет использовать классические методы анализа и оптимизации, но и не гарантирует выполнение базовой гипотезы о ламинарности течения смазочной жидкости в элементах опоры.

Выбору профиля подшипника необходимо уделять особое внимание вследствие определяющего влияния на нагрузочную способность опоры и на динамические характеристики станка в целом.

Список литературы:

1. Кочин Н.Е. Теоретическая гидромеханика: В 2 ч. Ч.2 / Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. – М: Физматгиз, 1963. – 728с.
2. Ковалев В.Д. Опоры и передачи жидкостного трения станочного оборудования: составление и анализ / Ковалев В.Д., Бабин О.Ф. Учебное пособие. – Краматорск: ДГМА, 2005. – 188с.
3. Смирнов В.И. Курс высшей математики: В4-х т. Т.2 / Смирнов В.И. – М: Наука, 1974. – 656с.
4. Кларк Ф. Оптимизация и негладкий анализ / Кларк Ф. – М: Физмат, 1988. – 280с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА ОСТЕКЛЕНИЯ ФОНАРЯ КАБИНЫ ВЕРТОЛЕТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Л. А. Бохоева, К. А. Филиппова, ¹В. Е. Рогов

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
¹Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН
г. Улан-Удэ, Россия

Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях вертолета открывает широкие возможности, как для совершенствования существующих конструкций, самого разнообразного назначения, так и для разработки новых конструктивных решений и технологических процессов [1]. Конструктивные особенности агрегатов вертолета определяются служебным назначением и жесткими требованиями по их увязке в конструкции агрегата. Применение ПКМ в конструкции каркаса остекления носовой части вертолета, предполагает, что конструкция должна удовлетворять конструктивно-эксплуатационным требованиям, обладать повышенными жесткостными характеристиками, отличаться высокой технологичностью изготовления и невысокой себестоимостью.

Фонарь кабины, изображенный на рисунке 1, состоит из каркаса и остекления. Каркас собран из специальных дюралюминиевых профилей, штамповочных жесткостей, литых рам и облицовочных рамок, скрепленных между собой винтами и заклепками. Литые рамы из магниевого сплава и штампованные жесткости образуют рамы проемов для сдвижных блистеров. Сдвижной блистер конструктивно выполнен из литой из магниевого сплава рамы с вставленным выпуклым ориентированным органическим стеклом. Фонарь остеклен ориентированным органическим стеклом. Стекла устанавливаются в литые из магниевого сплава рамки на резиновых профилях и поджимаются облицовочными рамками на винтах с герметизацией по внешней и внутренней поверхностям кромок рамки [2].

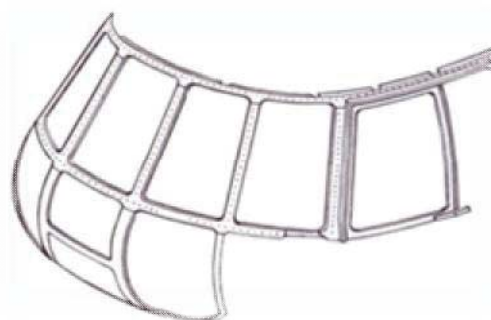
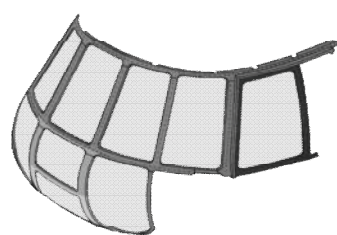


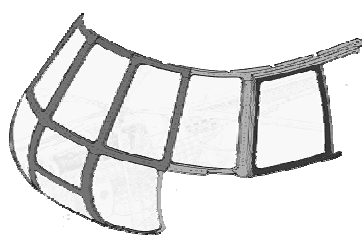
Рисунок 1 – Каркас фонаря кабины вертолета Ми-8

В процессе изготовления рам методом литья из магниевого сплава, в них возникают неоднородности, проблема увязки форм и размеров. Модернизация технологии, в том числе увязка, взаимозаменяемость деталей остекления для вертолета является перспективным направлением.

В рамках данной работы разработаны модели рам остекления Ми-8 из ПКМ. Рассмотрено несколько вариантов схем конструкций остекления носовой части вертолета из ПКМ. Стандартная схема - конструкция состоит из отдельных рам из ПКМ скрепленных между собой, на рисунке 2(а) рамы отмечены разным цветом. Альтернативная схема каркаса №1 из ПКМ представляет собой цельную конструкцию, показанную на рисунке 2(б) зеленым цветом. Альтернативная схема каркаса №2 из ПКМ, состоящая из двух основных элементов, показана на рисунке 2 (в) зеленым и оранжевым цветами.



а - Стандартная схема



б – Альтернативная схема №1



в – Альтернативная схема №2

Рисунок 2 – Схемы рам остекления

Проведены экспериментальные работы с образцами из стекло- и углепластика, которые соответствуют размерам стоек рам, идеализированной формы. Образцы изготавливались с различными углами армирования волокон: $[0,90]$, $[45,-45]$, $[0,45]$, $[45,90]$ с разным количеством слоев (от 10 до 30 слоев).

Применение ПКМ требует учета новых факторов, таких как: нелинейный характер деформирования, опасность разрушения вдоль поверхности раздела слоев, определяющих несущую способность конструкции. Межслойные дефекты существенно влияют на прочность и жесткость элементов конструкции из слоистых композитов [3]. Для экспериментальных работ изготавливались образцы без дефектов и с заложенными технологическими дефектами на разной глубине, в виде непроклеев, показанные на рисунках 3, 4. Границы дефектов на образцах очерчены рисками. Испытания проводились в производственных условиях на гидравлической машине ИР5057-50 мощностью 20 т. Для проведения испытаний была разработана установка, изготовлены специальные захваты, показанные на рисунке 5. Процесс нагружения, деформации и разрушения фиксировался на видеокамеру.

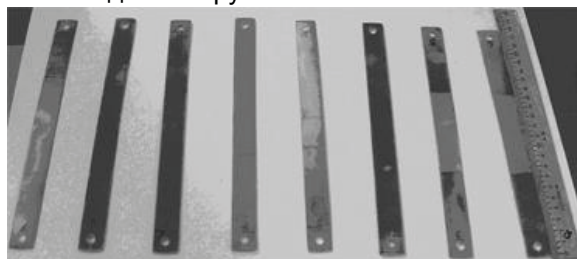


Рисунок 3 – Образцы стоек рам, идеализированной формы, из стеклопластика со сквозными дефектами



Рисунок 4 – Образцы стоек рам, идеализированной формы, из углепластика со сквозными дефектами

Образцы закреплялись в зажимах машины по установочным меткам так, чтобы ось образца совпадала с направлением сжатия. В ходе непрерывного сжатия образца фиксировалась сила. После потери устойчивости дефекта типа отслоения записывалось значение текущей нагрузки. Далее продолжалось непрерывное сжатие образца до полной деформации или полного отслоения дефекта, как показано на рисунке 6. С увеличением нагрузки происходит выпучивание тонкого слоя, разрушение клеевого соединения. Процесс разрушения сопровождался падением нагрузки и изгибом верхней, дефектной, нижней части и основной части пластины. На этом этапе деформирования процесс разрушения сопровождается звуками растрескивания волокон. С увеличением нагрузки деформации происходили во всех частях пластины. Полученные результаты эксперимента обработаны программным комплексом (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007610099), определена критическая сила, скорость подрастания дефектов, получена динамика роста длины трещины отслоения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА ОСТЕКЛЕНИЯ ФОНАРЯ КАБИНЫ ВЕРТОЛЕТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

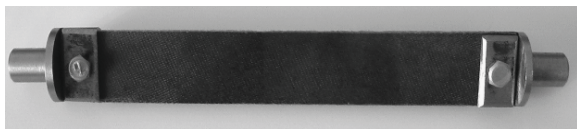


Рисунок 5 – Образец - пластина со сквозным дефектом из стеклопластика, защемленный в специальные захваты



Рисунок 6 – Экспериментальный образец из

стеклопластика при полном отслоении заложенного технологического дефекта

Данные проведения экспериментальных работ представлены в таблице 1. При достижении критической нагрузки возможны три вида потери устойчивости элементов конструкций из ПКМ с дефектами типа отслоений. Первый вид потери устойчивости – глобальное выпучивание всей пластины, потеря устойчивости композиционной пластины как единого целого. Оно наблюдается при дефектах малой длины. Второй вид потери устойчивости - локальное выпучивание лишь отслоившейся верхней части, когда нижняя и основная части пластины остаются плоскими. Локальная потеря устойчивости является основным видом разрушения при сжатии слоистых ПКМ с дефектами типа тонких отслоений.

Таблица 1 – Данные для образцов – пластина со сквозным дефектом

№образца	L(мм)	H(мм)	Кол.слоёв		h (мм)	Кол.слоёв		l (мм)
			Стеклп	Углепл		Стеклп	Углепл	
1	200	2	20 толщина слоя 1,15 мм	15 толщина слоя 1,53 мм	2	2	5	40
2					2	2	3	40
3					6	5	4	60
4					2	3	2	60
5					6	5	4	70
6					2	2	2	70
7					6	5	4	90
8					2	3	2	90

Подобное выпучивание обусловлено высокой концентрацией межслойного напряжения на фронте дефекта (вершине трещины) - «отслоение тонкого слоя». Третий вид потери устойчивости называется «смешанным», при

котором возможно одновременно локальное и глобальное выпучивание, когда изгибаются верхняя, нижняя и основная части пластины. В таблице 2 представлены полученные результаты пластины со сквозным дефектом.

Таблица 2 – Результаты испытаний пластин

№ экс.	№ обр.	Кол-во слоев	Кол-во слоев д/дефекта	Укладка препрега	Мат-л	L(мм) образца	Дефект типа отслоение	
							Наличие отслоения	P(кН)
1	1	20	2	90	Т-25	200	-	20,3
2	2	20	2	90	Т-25	200	-	19,6
3	5	20	5	90	ЛУ-П/0,2-А	200	+	22,2

4	3	20	2	90	Т-25	200	-	20,5
5	4	20	5	90	ЛУ- П/0,2-А	200	+	18,5
6	8	15	3	90	ЛУ- П/0,2-А	200	+	19,1
7	10	15	5	90	ЛУ- П/0,2-А	200	+	21,8
8	7	15	3	90	Т-25	200	-	18,2
9	6	15	5	90	Т-25	200	-	17,9
10	9	15	5	45,-45	ЛУ- П/0,2-А	200	-	-
11	11	20	4	45, -45	Т-25	200	-	21,5
12	12	20	4	45, -45	Т-25	200	+	24,8
13	14	20	5	45, -45	ЛУ- П/0,2-А	200	+	25,4
14	13	20	4	45, -45	Т-25	200	-	19,7
15	15	20	5	45, -45	ЛУ- П/0,2-А	200	+	25,2
16	16	15	4	45, -45	ЛУ- П/0,2-А	200	+	29,6
17	17	15	5	45, -45	ЛУ- П/0,2-А	200	+	25, 1
18	18	15	4	45, -45	Т-25	200	+	26,1
19	19	15	5	45, -45	Т-25	200	-	25,8
20	20	15	4	45, -45	ЛУ- П/0,2-А	200	-	19,8

Проведены расчеты на прочность отдельных рам и цельной конструкции из литого магния и композиционного материала в системах ANSYS и NX, результаты показаны на рисунках 7-9.

Композиционные материалы, в частности стеклопластик, не уступает по удельной прочности при действующих одинаковых нагрузках (аэродинамические нагрузки – скоростной напор 3 кН/м^2 , массовые нагрузки – $73,6 \text{ Н}$) магниевому сплаву. Полученные результаты расчетов показали расхождение по прочности на изгиб рам из литого магния и композиционного материала 3-5%.



Рисунок 7 – Расчет на прочность при равномерном давлении отдельной рамы из композиционного материала в системе ANSYS

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА ОСТЕКЛЕНИЯ ФОНАРЯ КАБИНЫ ВЕРТОЛЕТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

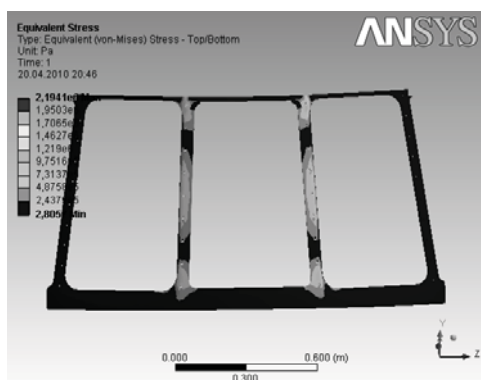


Рисунок 8 – Расчет на прочность при равномерном давлении части цельной рамы из композиционного материала в системе ANSYS

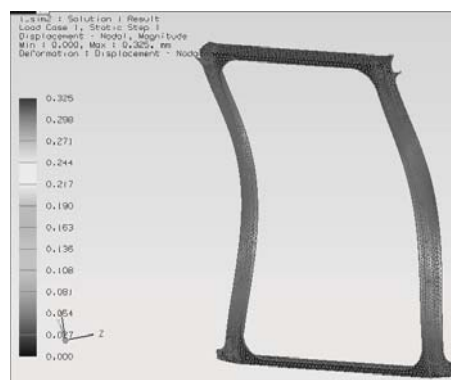


Рисунок 9. Расчет на прочность при равномерном давлении отдельной рамы из литого магния в системе NX (перемещения)

Таблица 3 – Результаты расчета и испытаний

Кол-во слоев	Кол-во слоев д/дефекта	Укладка препрега	Длина образца, мм	Критическая сила потери устойчивости дефекта типа отслоение (кН)	
				$P_{\text{экспер}}$	P_{ANSYS}
20	5	90,0	200	19,1	18,6
		45,-45		25,2	24,1
15	3	45,-45		25,1	21,42
		90,0		19,1	18,4
10	1	90,0		20,3	21,69

При потере устойчивости пластины наблюдался «смешанный» вид потери устойчивости (51%). В остальных случаях происходило либо полное разрушение, либо имело место глобальный тип потери устойчивости. Полученные расчеты критической силы дефекта типа отслоение в системе ANSYS сопоставимы со значениями, которые были определены в ходе опытов. Расхождение в полученных данных составляет не более 7 - 9%. Результаты проведенных экспериментальных работ показали, что наилучшим материалом для рам остекления вертолета является стеклопластик, с укладкой волокон под углом $[0,90]$. Определение оптимальной схемы каркаса остекления вертолета Ми-8 и выбор композиционного материала для вышеуказанной конструкции, далеко от своего завершения. Для дальнейшего успешного изучения данной проблемы необходимо учитывать факторы такие, как: особенность кон-

струкции; сложность изготовления экспериментальных образцов по заявленным схемам каркаса, представленных на рисунке 2, дороговизны материалов и отсутствия необходимых технологических и производственных мощностей для изготовления цельной конструкции.

Список литературы:

1. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
2. Данилов В.А. Вертолет Ми-8. Устройство и техническое обслуживание. - М.: Транспорт, 1988. – 278 с.
3. Бохоева Л.А. Особенности расчета на прочность элементов конструкции из изотропных и композиционных материалов с допустимыми дефектами// - Изд. ВСГТУ. – Улан-Удэ, 2007.- 192с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗУБЬЕВ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НАПЛАВКОЙ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

А. М. Кириенко, А. П. Андросов, В. А. Быков

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Попытки разработки технологии восстановления зубчатых колес привода шаровых мельниц для помола угля предпринимались неоднократно. Причиной этого является относительно малый срок службы колес, работающих в агрессивно абразивной среде и высокая стоимость и трудоемкость их изготовления.

Теоретически при таком большом числе зубьев (200...220) изношенные колеса можно "перенарезать" с отрицательным смещением инструмента не получив подреза зуба. Однако, учитывая, что при реальной работе с учетом реверса зуб изнашивается значительно и с обеих сторон, смещение должно составлять около 40 мм, что недопустимо уменьшит сечение и прочность основания венца.

Восстановление зубьев наплавкой под слоем флюса нетехнологично из-за малой длины наплавляемых валиков и необходимости после наложения каждого валика тщательной зачистки его от шлака. Применение электрошлаковой наплавки зубьев с использованием плавящегося мундштука по свидетельству самих разработчиков технологии для крупногабаритных колес проблематично из-за их существенной деформации.

Авторами предложено наплавлять изношенные зубья в среде углекислого газа с последующей механической обработкой.

По факту венцовые колеса изготавливают из литой среднеуглеродистой стали с содержанием углерода (0,4...0,5)%. При таком содержании углерода из-за быстрого нагрева и охлаждения и неомогенности аустенита в зоне термического влияния при наложении первого валика возможно появление зака-

лочных структур с высокой твердостью и низкой пластичностью. При наложении последующих валиков температура нагрева этой зоны не выше критической, поэтому перекристаллизации не происходит, а эффект отпуска проявляется слабо. Исследование микроструктуры и микротвердости в процессе экспериментального подбора режима наплавки подтвердило, что при неоптимальных режимах в зоне термического влияния могут появляться участки толщиной до 0,3 мм и длиной до 5 мм с твердостью свыше 1000Н500.

Режим наплавки первого валика и время наложения следующего подбирались так чтобы появление закалочных структур исключить. Обеспечить это условие можно если перед наложением второго валика температура участка зоны термического влияния рядом с линией сплавления не будет ниже температуры начала мартенситного превращения. Нагрев последующими валиками обеспечивает распад аустенита с образованием феррито-перлитной структуры.

Наплавку производили полуавтоматом А 537 с источником питания ВДУ 505. Использовалась проволока Св 08Г2С диаметром 1,6 мм. Режим наплавки: напряжение 26 В; сварочный ток (250-300)А; скорость наплавки около 230 м/ч.

После наплавки зубья обрабатывали переносным станком, устанавливаемом на колесе. По данной технологии было восстановлено двадцать девять зубчатых колес шаровых мельниц диаметром более четырех метров. Эксплуатация показала что срок службы восстановленных колес в условиях реального производства того же порядка что и новых.

Данный номер содержит материалы, представленные на **ХIII Международной научно-практической конференции «ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛИТЕЙНОГО, СВАРОЧНОГО И КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВ»** (2012, г.Барнаул) и **III Международной научно-практической конференции «ИННОВАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»** (2012, г. Барнаул)

Статьи опубликованы в авторской редакции

*Компьютерная верстка, макет: Н. Ю. Малькова
Дизайн обложки: Е. А. Кошелева*

Издательство Алтайского государственного
технического университета им. И. И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 020822 от 21.09.98 г.

Подписано в печать 6.12.2012. Формат 60×84 1/8.
Усл. п. л. 33,94. Тираж 100 экз. Заказ 2012 – 603

Отпечатано в типографии АлтГТУ
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46
тел. (8-3852) 36-84-61

Лицензия на полиграфическую деятельность
ПЛД №28-35 от 15.07.97 г.