

НАУЧНАЯ МЫСЛЬ



*С.В. Карцев, И.Н. Кравченко*

**ТЕХНОЛОГИИ  
РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕГО  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА  
ДЕТАЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**



Данная книга доступна  
в цветном исполнении  
в электронно-библиотечной  
системе Znanium



**НАУЧНАЯ МЫСЛЬ**

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

**С.В. КАРЦЕВ  
И.Н. КРАВЧЕНКО**

**ТЕХНОЛОГИИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

МОНОГРАФИЯ

**znanium**  
электронно-библиотечная система

Москва  
ИНФРА-М  
2025

**УДК 621+669(075.4)**  
**ББК 34.4:34.5**  
**К27**

Рецензенты:

*Лялякин В.П.*, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией электроискровых и термодиффузионных процессов Федерального научного агроинженерного центра ВИМ;

*Бульчев В.В.*, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой колесных машин и прикладной механики Калужского филиала Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета)

**Карцев С.В.**

**К27** Технологии ресурсосберегающего восстановления и ремонта деталей промышленного оборудования : монография / С.В. Карцев, И.Н. Кравченко. — Москва : ИНФРА-М, 2025. — 357 с. — (Научная мысль). — DOI 10.12737/2098998.

ISBN 978-5-16-019232-1 (print)

ISBN 978-5-16-111942-6 (online)

В монографии изложены теоретические основы и практика использования плазменного метода нанесения высокоресурсных покрытий как одного из наиболее эффективных, упрочняющих и ремонтных технологий, позволяющих повысить долговечность восстановленных деталей промышленного оборудования. Описаны средства технологического оснащения, оборудование и материалы для плазменного нанесения износостойких покрытий. Обобщены экспериментальные данные и результаты теоретических исследований. Рассмотрены различные методы испытаний и свойств покрытий, нанесенных плазменным методом.

Для научных работников, аспирантов и студентов, изучающих различные отрасли техники, а также инженерно-технических работников машиностроительной, металлургической, энергетической и других отраслей промышленности.

**УДК 621+669(075.4)**  
**ББК 34.4:34.5**



Данная книга доступна в цветном исполнении в электронно-библиотечной системе Znanium

ISBN 978-5-16-019232-1 (print)  
ISBN 978-5-16-111942-6 (online)

© Карцев С.В.,  
Кравченко И.Н., 2024

# Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Состояние, проблемы и перспективы развития технологий восстановления изношенных деталей промышленного оборудования .....</b>	<b>8</b>
1.1. Анализ условий функционирования системы технического обслуживания и ремонта оборудования свеклосахарного производства .....	8
1.2. Анализ условий эксплуатации и причин потери работоспособности оборудования свеклосахарного производства .....	12
1.3. Направления совершенствования методов и средств восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей промышленного оборудования .....	42
1.4. Формирование цели и задач исследований .....	50
<b>Глава 2. Теоретические исследования эффективности плазменного метода нанесения износостойких покрытий .....</b>	<b>53</b>
2.1. Теоретические исследования толщины проплавления основного металла при плазменной наплавке износостойких покрытий .....	53
2.2. Оценка тепловой эффективности плазменной наплавки порошковыми материалами .....	62
2.3. Оценка теплового баланса и эффективной мощности при плазменном напылении с оплавлением .....	69
2.4. Обоснование применения горячих углеводородов при работе плазменных установок .....	73
2.5. Математическая модель формирования остаточных напряжений в покрытиях при плазменном оплавлении .....	82
2.6. Математическая модель оценки способа термоабразивной подготовки поверхности для нанесения покрытий плазменным методом .....	94
<b>Выводы .....</b>	<b>102</b>
<b>Глава 3. Методология экспериментальных исследований свойств и структуры плазменных покрытий .....</b>	<b>104</b>
3.1. Программа исследований .....	104
3.2. Методика получения композиционных плазменных покрытий .....	111
3.3. Методика определения параметров и режимов нанесения покрытий плазменным методом .....	131
3.4. Методика выбора способа подготовки поверхности для нанесения покрытий и его влияние на прочность сцепления с основой .....	134
3.5. Методика определения физико-механических и эксплуатационных свойств полученных покрытий .....	137

3.6. Методики определения модуля упругости и остаточных напряжений в покрытиях, нанесенных плазменным методом .....	145
<i>Выводы</i> .....	150

#### **Глава 4. Результаты и анализ экспериментальных исследований .....**

**151**

4.1. Результаты натурного эксперимента для определения режимов плазменной наплавки износостойких покрытий .....	151
4.2. Моделирование зависимости толщины покрытий от факторов, определяющих ее значение при плазменном напылении .....	159
4.3. Определение рациональных режимов плазменного напыления и плазменного оплавления покрытий.....	165
4.4. Оценка влияния подготовки поверхности детали на адгезионные свойства покрытий при плазменном напылении .....	176
4.5. Оценка влияния струйно-абразивной обработки поверхностей на образование точечно-язвенной коррозии .....	187
4.6. Определение скорости истечения газа и полета частиц порошка в газопорошковой защитной среде.....	198
4.7. Определение рационального состава нанесенных порошковых композиций в различных защитных газовых средах.....	209
4.8. Оценка качества покрытий, полученных плазменным методом.....	219
4.9. Экспериментальная проверка распределения остаточных напряжений в покрытиях и оценка их влияния на прочность сцепления .....	235
4.10. Эксплуатационные испытания деталей промышленного оборудования, упрочненных плазменными покрытиями.....	247
<i>Выводы</i> .....	249

#### **Глава 5. Рекомендации по повышению износостойкости деталей промышленного оборудования плазменным методом.....**

**254**

5.1. Методика выбора материалов, оборудования и режимов нанесения износостойких покрытий.....	254
5.2. Разработка высокоэффективных плазменных технологий восстановления и упрочнения деталей оборудования .....	266
5.3. Рекомендации по подготовке поверхности деталей для нанесения плазменных покрытий термоабразивным инструментом .....	280
5.4. Оценка экономической эффективности восстановления и упрочнения деталей оборудования плазменным методом.....	283
<i>Выводы</i> .....	291

#### **Заключение.....**

**292**

#### **Список использованной литературы .....**

**296**

#### **Приложения.....**

**322**

#### **Приложение А. Состав свеклосахарного производства агропромышленного комплекса Российской Федерации .....**

**322**

<b>Приложение Б. Структура ОАО «Ольховатский сахарный комбинат» (группа компаний «Продимекс»).....</b>	<b>325</b>
<b>Приложение В. Техническое описание и инструкция по эксплуатации разработанного плазмотрона для плазменной наплавки .....</b>	<b>326</b>
<b>Приложение Г. Рабочие чертежи основных узлов плазмотрона.....</b>	<b>329</b>
<b>Приложение Д. Результаты лабораторных испытаний образцов с покрытиями.....</b>	<b>338</b>
<b>Приложение Е. Рекомендации по организации эксплуатации термоабразивного инструмента при подготовке поверхностей под плазменное напыление .....</b>	<b>344</b>