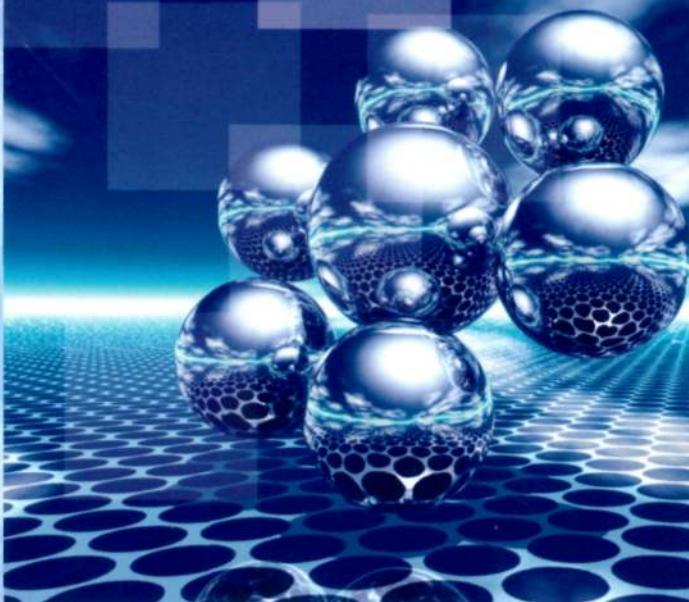


**НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО**

**В.Н. Гадалов, В.Р. Петренко,  
В.В. Пешков, С.В. Сафонов**



**ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ,  
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ,  
СПЛАВОВ И ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

**Научное сообщество**

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж  
Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Б.Н. Гадалов,  
В.Р. Петренко,  
В.В. Пешков, С.В. Сафонов

**ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ,  
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ  
ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ  
И ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

**МОНОГРАФИЯ**

Москва  
АРГАМАК-МЕДИА  
2013

УДК 621.792.3(075.4)

ББК 34.8

Г12

В.Н. Гадалов, В.Р. Петренко, В.В. Пешков, С.В. Сафонов.

Химико-термическая, электрофизическая обработка металлов, сплавов и гальванических покрытий: Монография.

--М.: АРГАМАК-МЕДИА, 2013. - 320 с. - (Научное сообщество)

ISBN 978-5-00024-002-1

Монография посвящена химико-термической (ХТО), электрофизической обработке металлов, сплавов и гальванических покрытий. Здесь изложены основы химико-термической обработки металлов и сплавов, рассмотрены покрытия, полученные различными способами химико-термической обработки.

В работе приведены сведения по электролитическим сплавам на основе железа и других металлов, рассказано о возможности их термического и химико-термического упрочнения. Приводятся сведения по ХТО сталей и электролитических покрытий.

Рассмотрены возможности повышения ресурса работы и качества поверхности деталей и инструментов машиностроительного и сельскохозяйственного профиля многофункциональными электрофизическими покрытиями с последующим выглаживанием. Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников, аспирантов и студентов вузов, работающих и обучающихся в области материаловедения, физики металлов, технологии конструкционных материалов. Книга полезна для специалистов ремонтного производства.

УДК 621.792.3(075.4)

ББК 34.8

ISBN 978-5-00024-002-1

© АРГАМАК-МЕДИА

© Коллектив авторов

## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>2</b>
<b>Глава 1. Современное состояние вопроса .....</b>	<b>3</b>
1.1 Покрытия, получаемые химико-термической обработкой (ХТО).....	7
1.1.1 Основы ХТО .....	8
1.2 Покрытия, получаемые при цементации и комплексном насыщении на основе углерода .....	13
1.2.1 Карбохромирование .....	18
1.3 Покрытия, получаемые при азотировании .....	21
1.3.1 Модифицированные способы азотирования .....	26
1.4 Анализ ХТО сталей нитроцементацией и цианированием .....	30
1.4.1 Покрытия, получаемые при одновременном насыщении углеродом и азотом .....	30
Библиографический список к главе 1. ....	48
<b>Глава 2. Электролитические сплавы на основе железа и других металлов, их термическое и химико-термическое упрочнение .....</b>	<b>49</b>
2.1 Электроосаждение бинарных сплавов на основе железа.....	50
2.1.1 Электролитическое осаждение сплавов.....	54
2.2 Электроосаждение износостойких сплавов.....	57
2.3 Технология электроосаждения металлов на токе переменной полярности .....	66
2.4 Повышение износостойкости электролитических покрытий дисперсными частицами .....	73
2.5 Схема процесса гальванического композиционного насыщения ..	75
2.6 Исследование электроосажденных бинарных сплавов на основе железа .....	76
2.6.1 Электролитические железофосфорные покрытия .....	76
2.6.2 Электроосажденные железофосфорные композитные покрытия с наполнителем из карбida вольфрама .....	81
2.7 Исследования упрочнения электроосажденных сплавов железо-молибден и железо-вольфрам до и после цианирования .....	84

2.7.1 Исследование структуры, износостойкости и процесса электроосаждения покрытий Fe-Mo и Fe-W .....	84
2.7.2 Цианирование электроосажденных сплавов Fe-Mo и Fe-W .....	87
2.8 Электрохимические композиционные покрытия с наноалмазными дисперсными частицами .....	94
2.9 Совершенствование способов нанесения гальванических и других покрытий .....	101
Библиографический список к главе 2 .....	133

<b>Глава 3. Химико-термическая обработка сталей и электролитических покрытий.....</b>	144
3.1 Нитроцементация стальных изделий в пастообразном карбюризаторе с нагревом в нейтральных соляных ваннах .....	144
3.2 Влияние хрома на морфологию карбидных частиц в цементованных сталях и в железохромистых электролитических покрытиях.....	151
3.3 Некоторые аспекты самозатачиваемости нитроцементированных лезвий ножей .....	156
3.4 Цианирование конструкционных сталей в нетоксичных соляных ваннах .....	161
Библиографический список к главе 3 .....	167

<b>4. Диффузионные боридные покрытия на железе, сталях и сплавах с альбомом фотографий .....</b>	169
4.1. Некоторые аспекты электролизного борирования железа, никеля, кобальта и сплавов на их основе .....	170
4.1.1. Борирование железа и сталей .....	170
4.1.2. Технология электролизного борирования .....	175
4.1.3. Новые способы борирования .....	184
4.1.3.1. Резюме .....	187
4.1.4. Многокомпонентные покрытия на основе бора .....	188
4.1.4.1. Боросилицирование .....	188
4.1.4.2. Боротитанирование .....	190
4.1.4.3. Борохромирование .....	191
4.1.4.4. Бороцирконирование .....	195

4.1.4.5. Борофосфатирование .....	197
4.1.4.6. Лантаноборирование .....	198
4.2. Механизм электролизного борирования металлов .....	207
4.2.1. Моделирование процессов встречной диффузии при электролизном борировании .....	214
4.2.2. Кинетика формирования центров кристаллизации на потенциальных зародышах .....	217
4.2.3. Механизм формирования новых центров кристаллизации на первичных зародышах .....	223
4.2.4. Кинетика образования центров кристаллизации с учетом дезактивации потенциальных зародышей .....	226
Альбом фотографий боридных диффузионных покрытий на железе, никеле, кобальте и сплавов на их основе .....	275
Библиографический список к главе 4 .....	303

В.Н. Гадалов, В.Р. Петренко, В.В. Пешков, С.В. Сафонов

Химико-термическая, электрофизическая обработка металлов, сплавов  
и гальванических покрытий

Монография

Редактор-корректор Косова Л.М.

Компьютерная верстка Сафонов И.В.

Подписано в печать

Формат 60x90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman

Усл. печ. л. 20. Уч.-изд. 20

Тираж 500 экз. Заказ № 962

ООО «АРГАМАК-МЕДИА»

105043, г. Москва, Измайловский бульвар,

д. 14/36, корпус 1

Тел./факс: (499) 163 27 18, (495) 363 42 70, доб. 3-86.

E-mail: argamak@infra-m.ru

---

Официальным дистрибутором Издательства «Аргамак»  
является ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»,  
127282, Москва, ул. Полярная, д.31 В, стр. 1

Отдел продаж «Инфра-М»: 127282, Москва, ул. Полярная, д.31 В, стр. 1

Тел. (495) 363 42 60; факс (495) 36392 12; e-mail books@infra.ru

Отдел «Книга-почтой», тел. (495) 363 42 60 (доб. 232, 246).

Отпечатано способом ролевой струйной печати

в ОАО «Первая Образцовая типография»

Филиал «Чеховский Печатный Двор»

142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1

Сайт: [www.chpd.ru](http://www.chpd.ru), E-mail: sales@chpk.ru, 8(495)988-63-87