

# ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Учебник

В. В. Овчинников  
М. А. Гуреева



**В. В. Овчинников, М. А. Гуреева**

**ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебник

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2024

УДК 621.791  
ББК 34.641  
О-35

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Московского государственного  
технического университета гражданской авиации

*Самойленко Василий Михайлович;*

кандидат технических наук, доцент,  
заместитель директора ООО «Фреон-Сервис»

*Олефиренко Никита Андреевич*

**Овчинников, В. В.**

**О-35** Технологии упрочнения поверхности конструкционных металлических материалов : учебник / В. В. Овчинников, М. А. Гуреева. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 292 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-1733-4

Изложены основные сведения о методах упрочнения поверхности деталей машин, приводится классификация методов отделочно-упрочняющей обработки. Содержится информация о параметрах состояния поверхностного слоя, структурных несовершенствах в реальных кристаллах, образовании и размножении дислокаций. Приведены сведения об особенностях существующих технологий упрочнения и о технологическом оборудовании для их реализации.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов». Может быть полезно специалистам в области сварочного производства.

УДК 621.791  
ББК 34.641

ISBN 978-5-9729-1733-4

© Овчинников В. В., Гуреева М. А., 2024

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2024

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
<b>Глава 1. Классификация методов упрочнения поверхности материалов .....</b>	<b>5</b>
<b>Глава 2. Механические методы упрочнения поверхности конструкционных материалов.....</b>	<b>8</b>
2.1. Сущность метода упрочнения поверхности пластическим деформированием.....	8
2.2. Состояние и структура поверхностного слоя металлов.....	11
2.3. Дефекты строения реальных кристаллов.....	14
2.4. Формирование и размножение дислокаций.....	17
2.5. Основные виды обработки поверхностным пластическим деформированием.....	19
2.5.1. Алмазное выглаживание.....	19
2.5.2. Вибровыглаживание.....	22
2.5.3. Дорнование .....	23
2.5.4. Обработка роликами .....	29
2.5.5. Механические методы поверхностного упрочнения деталей машин при ударном воздействии.....	33
2.6. Термомеханическая обработка .....	38
<b>Глава 3. Упрочнение деталей поверхностной термической обработкой.....</b>	<b>47</b>
3.1. Поверхностная газопламенная закалка сталей.....	47
3.2. Поверхностная закалка в электролите .....	51
3.3. Поверхностная закалка при нагреве плазменной струей .....	52
3.4. Лазерное поверхностное упрочнение .....	57
3.5. Электронно-лучевая поверхностная обработка .....	61
3.6. Поверхностная термическая обработка токами высокой частоты.....	63
<b>Глава 4. Химико-термическая упрочняющая обработка .....</b>	<b>78</b>
4.1. Общие закономерности химико-термической обработки .....	78
4.2. Цементация .....	80
4.3. Азотирование .....	85
4.4. Методы совместного насыщения азотом и углеродом .....	88
<b>Глава 5. Вакуумное ионно-плазменное упрочнение.....</b>	<b>90</b>
5.1. Модифицирование поверхностных слоев ионно-диффузионным насыщением .....	90
5.2. Лазерная химико-термическая обработка.....	94
5.3. Ионная имплантация.....	97
5.4. Химическое осаждение в плазме тлеющего разряда из газовой фазы (CVD-метод).....	113
5.5. Физическое осаждение из газовой фазы (PVP-метод) .....	117
5.6. Контроль качества вакуумных ионно-плазменных покрытий.....	135

<b>Глава 6. Газотермическое напыление</b> .....	139
6.1. Структура покрытий при газотермическом напылении .....	139
6.2. Электродуговая металлизация (ЭДМ) .....	140
6.3. Газопламенное напыление .....	141
6.4. Плазменное напыление.....	142
6.5. Высокочастотное напыление.....	145
6.6. Детонационное напыление.....	146
6.7. Газодинамическое («холодное») напыление.....	151
<b>Глава 7. Упрочнение методами наплавки легирующими металлами</b> ..	154
7.1. Ручные методы наплавки.....	154
7.2. Механизированные методы наплавки .....	155
<b>Глава 8. Электроискровое легирование</b> .....	174
8.1. Физические процессы при электроискровом легировании .....	174
8.2. Оборудование для электроискрового легирования .....	179
<b>Глава 9. Упрочнение методами лазерного воздействия</b> .....	184
9.1. Лазерное легирование с использованием традиционных методов химико-термической обработки.....	184
9.2. Режимы лазерного легирования.....	187
9.3. Лазерная обработка покрытий, полученных методами химического или физического осаждения.....	188
9.4. Комплексные виды обработки (вакуумная закалка или вакуумная нитроцементация с последующей лазерной обработкой).....	190
9.5. Оценка несущей способности поверхностных слоев инструментальных сталей после лазерной обработки .....	191
9.6. Лазерная наплавка .....	192
<b>Глава 10. Гальваническое хромирование, никелирование, цинкование</b> .....	194
10.1. Электрохимическое осаждение покрытий.....	194
10.2. Износостойкие покрытия .....	197
10.3. Электролитическое хромирование, никелирование и цинкование .....	199
<b>Глава 11. Упрочнение методами химического осаждения из растворов</b> .....	207
11.1. Химическое осаждение из растворов.....	207
11.2. Химическое фосфатирование.....	209
11.3. Никелирование.....	216
<b>Глава 12. Ультразвуковая обработка</b> .....	221
12.1. Ультразвуковые колебания .....	221
12.2. Схема ультразвуковой обработки заготовок .....	222
12.3. Технологические показатели ультразвуковой обработки.....	225
12.4. Безабразивная ультразвуковая финишная обработка (БУФО).....	230
12.5. Ультразвуковая импульсная упрочняюще-чистовая обработка.....	231

<b>Глава 13. Упрочнение рабочих поверхностей металлических материалов фрикционной обработкой</b> .....	233
13.1. Фрикционная обработка поверхности .....	233
13.2. Синтез композиционных материалов посредством фрикционной обработки .....	236
<b>Глава 14. Магнитно-импульсная обработка материалов</b> .....	243
14.1. Физические основы магнитно-импульсной обработки материалов .....	243
14.2. Технологические схемы применения магнитно-импульсной обработки .....	246
14.3. Магнитно-импульсные технологии в заготовительно-штамповочном производстве .....	248
14.4. Оборудование для магнитно-импульсной обработки .....	253
<b>Глава 15. Магнитно-абразивная обработка</b> .....	256
15.1. Сущность процесса магнитно-абразивной обработки .....	256
15.2. Разновидности магнитно-абразивной обработки .....	257
15.3. Магнитно-электрическое шлифование .....	261
15.4. Особенности абразивного резания при магнитно-абразивном полировании .....	262
15.5. Магнитно-абразивные порошки .....	264
<b>Глава 16. Обработка поверхности металлических материалов плазмой коронного разряда</b> .....	267
16.1. Оборудование и технология обработки поверхности плазмой коронного разряда .....	267
16.2. Исследование технологических факторов формирования диффузионного дискретного оксидного слоя на поверхности режущего инструмента .....	270
16.3. Структура и химический состав поверхностного оксидного слоя на различных материалах .....	271
<b>Глава 17. Технологические принципы осаждения износостойких нанопокровтий</b> .....	275
17.1. Осаждение нанопокровтий в условиях ионного асистирования .....	275
17.2. Осаждение многослойных покровтий со слоями нанометрической толщины .....	278
17.3. Осаждение многофазных покровтий .....	279
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	287