

**А. Г. Соколов
В. В. Иосифов
А. Г. Схиртладзе**

**Методы
инженерии поверхности,
применяемые
в машиностроении
для повышения
эксплуатационных свойств
изделий**



**А. Г. СОКОЛОВ, В. В. ИОСИФОВ,
А. Г. СХИРТЛАДЗЕ**

**МЕТОДЫ
ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ,
ПРИМЕНЯЕМЫЕ
В МАШИНОСТРОЕНИИ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ИЗДЕЛИЙ**

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию
в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ)
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств»

Старый Оскол
ТНТ
2019

УДК 621
ББК 34.663
С 594

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Ж. М. Бледнова*
заместитель директора по новой технике ОАО «Краснодарский
завод тяжёлого станкостроения» доцент *В. М. Логвин*

Соколов А. Г., Иосифов В. В., Схиртладзе А. Г.
С 594 **Методы инженерии поверхности, применяемые в
машиностроении для повышения эксплуатационных свойств
изделий : учебное пособие / А. Г. Соколов, В. В. Иосифов,
А. Г. Схиртладзе. — Старый Оскол : ТНТ, 2019. — 244 с. : ил.**

ISBN 978-5-94178-610-7

В учебном пособии рассмотрены основные методы инженерии, применяемые в машиностроении для формирования требуемых механических и физико-химических свойств поверхностных слоёв изделий, их сущность, влияние состава и структуры поверхностных слоёв изделий, а также применяемых технологий на работоспособность деталей. Даны рекомендации по выбору состава, методов и способов нанесения покрытий на конструкционные и инструментальные материалы.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», аспирантов машиностроительных направлений, а также для инженерно-технических работников предприятий машиностроительного профиля.

УДК 621
ББК 34.663

ISBN 978-5-94178-610-7

© Соколов А. Г., Иосифов В. В.,
Схиртладзе А. Г., 2019
© Оформление. ООО «ТНТ», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
Глава 1. ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ПУТЁМ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА НА ИХ ПОВЕРХНОСТИ	10
1.1. Роль поверхностных слоёв материала изделий в обеспечении их работоспособности	10
1.2. Коррозионно-стойкие покрытия	13
1.2.1. Защита от коррозии металлическими покрытиями ...	16
1.2.2. Неметаллические коррозионно-стойкие покрытия ...	21
1.3. Жаростойкие покрытия	29
1.3.1. Требования, предъявляемые к жаростойким покрытиям	31
1.3.2. Материалы для жаростойких покрытий	32
1.4. Износостойкие покрытия	38
1.4.1. Общие сведения о видах изнашивания	38
1.4.2. Материалы для износостойких и антифрикционных покрытий	42
<i>Контрольные вопросы</i>	55
Глава 2. МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ	58
2.1. Основные методы и способы инженерии поверхности, их классификация	58
2.2. Критерии оценки прогрессивности технологических процессов нанесения покрытий	66
<i>Контрольные вопросы</i>	67
Глава 3. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ, ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ	69
3.1. Электрохимические покрытия	69
3.1.1. Способы получения покрытий из водных растворов ...	70
3.1.2. Электрохимические покрытия из расплава	74

3.1.3. Способы получения покрытий из газовой фазы	75
3.1.4. Электроискровой способ формирования покрытий ...	77
3.2. Химические покрытия	78
3.2.1. Способы нанесения химических покрытий из растворов	79
3.2.2. Химическое осаждение из паровой фазы	83
3.2.3. Применение CVD-покрытия в машиностроении	87
3.3. Физические способы получения покрытий	89
3.3.1. Способы термического испарения и конденсации	90
3.3.2. Способы получения покрытий ионным распылением	100
3.3.3. Способ ионного осаждения	106
3.3.4. Способ ионной имплантации (ионного легирования)	110
3.3.5. Применение PVD-покрытий	115
<i>Контрольные вопросы</i>	117

Глава 4. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ	120
4.1. Цементация	122
4.2. Азотирование	128
4.3. Способы одновременного насыщения азотом и углеродом	134
4.4. Борирование	137
4.5. Силицирование	142
4.6. Диффузионная металлизация	146
4.6.1. Диффузионная металлизация из твёрдой фазы	150
4.6.2. Диффузионная металлизация из жидкой фазы	154
4.6.3. Диффузионная металлизация из паровой фазы	162
4.6.4. Диффузионная металлизация из газовой фазы	165
<i>Контрольные вопросы</i>	167

Глава 5. ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ	171
5.1. Напыление	171
5.1.1. Газотермическое напыление	172
5.1.2. Газопламенное напыление	173
5.1.3. Электродуговое напыление	176
5.1.4. Высокочастотное напыление	177

5.1.5. Плазменное напыление	179
5.1.6. Детонационное напыление	181
5.2. Наплавка	182
5.2.1. Газопламенная наплавка	184
5.2.2. Электродуговая наплавка	185
5.2.3. Наплавка покрытым электродом	186
5.2.4. Дуговая наплавка под слоем флюса	187
5.2.5. Электродуговая наплавка порошковой проволокой (лентой)	189
5.2.6. Наплавка в среде углекислого газа	190
5.2.7. Наплавка в среде инертного газа	191
5.2.8. Плазменная, электронно-лучевая и лазерная наплавки	193
5.3. Плакирование	198
5.3.1. Механический способ плакирования	199
5.3.2. Плакирование взрывом	201
<i>Контрольные вопросы</i>	202
Глава 6. НАНОПОКРЫТИЯ И СПОСОБЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ ...	205
6.1. Понятие нанобъекта и наноматериала	205
6.2. Нанопокрывтия	207
6.3. Способы получения нанопокровтий	211
6.3.1. Химические способы	212
6.3.2. Электрохимические способы	213
6.3.3. Способы физического осаждения PVD	215
6.3.4. Метод наноструктурирования предварительно нанесённых макропокровтий интенсивным пластическим деформированием	223
<i>Контрольные вопросы</i>	225
Глава 7. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ПОКРОВТИЙ И СПОСОБА ЕГО НАНЕСЕНИЯ	227
7.1. Выбор материала покровтия	227
7.2. Выбор способа нанесения покровтий	228
<i>Контрольные вопросы</i>	232
Заключение	233
Библиографический список	235