

**ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ,
ПОДВЕРГНУТОЙ ЭЛЕКТРОННО-
ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ
МЕТОДАМ ОБРАБОТКИ**



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ИНСТИТУТ СИЛЬНОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ СО РАН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ЭЛЕКТРОННО-ИОННО- ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДАМ ОБРАБОТКИ

Под общей редакцией
профессора Н. Н. К о в а л я
и профессора Ю. Ф. И в а н о в а



ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2016

УДК 539.2
ББК 34.2
Э158

Эволюция структуры поверхностного слоя стали, подвергнутой электронно-ионно-плазменным методам обработки / под общ. ред. Н.Н. Ковалья и Ю.Ф. Иванова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2016. – 304 с.

ISBN 978-5-89503-577-1

В книге приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований закономерностей формирования структуры и свойств промышленных сталей, подвергнутых различным электрофизическим видам поверхностной обработки.

Для широкого круга специалистов – научных сотрудников, инженеров, работающих в области материаловедения и физики конденсированных сред (металлов и сплавов), а также преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области физического материаловедения, физики низкотемпературной плазмы и электронных пучков.

УДК 539.2

Авторский коллектив:

Денисова Ю.А., Иванов Ю.Ф., Иванова О.В.,
Иконникова И.А., Коваль Н.Н., Крысина О.В.,
Петрикова Е.А., Тересов А.Д., Шугуров В.В.

Рецензенты:

Шаркеев Ю.П. – доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. лабораторией физики наноструктурных биоконструктивов ИФПМ СО РАН;
Кривококов В.П. – доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой экспериментальной физики НИ ТПУ.

*Работа выполнена на средства гранта
Российского научного фонда (проект № 14-29-00091)*

Утверждено к печати учеными советами
Института сильноточной электроники СО РАН
и Национального исследовательского
Томского государственного университета

ISBN 978-5-89503-577-1

© Авторы, текст, 2016
© Оформление. Дизайн.
ООО «Издательство НТЛ», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Литература.....	7
Глава 1. Модификация фазового состава и структуры промышленных сталей высокоинтенсивным импульсным электронным пучком	10
1.1. Электронные источники.....	10
1.2. Моделирование температурного поля, формирующе- го в поверхностном слое железа, облученного вы- сокоинтенсивным импульсным электронным пучком	16
1.3. К вопросу о кратерообразовании на поверхности ста- ли, облученной высокоинтенсивным электронным пучком.....	23
1.4. Модификация фазового состава и структуры поверх- ностного слоя стали 20Х13	31
1.4.1. Структурно-фазовое состояние стали 20Х13 перед облучением электронным пучком.....	31
1.4.2. Структура стали 20Х13, обработанной элек- тронным пучком в режиме оплавления поверх- ности (10 Дж/см^2 , 50 мкс, $0,3 \text{ с}^{-1}$, 3 имп.).....	33
1.4.3. Структура стали 20Х13, обработанной элек- тронным пучком в режиме плавления поверх- ностного слоя (20 Дж/см^2 , 50 мкс, $0,3 \text{ с}^{-1}$, 3 имп.)	40
1.4.4. Структура стали 20Х13, обработанной элек- тронным пучком в предиспарительном режиме (30 Дж/см^2 , 50 мкс, $0,3 \text{ с}^{-1}$, 3 имп.)	47
1.4.5. Анализ зависимости параметров структуры стали от плотности энергии пучка электронов (50 мкс, $0,3 \text{ с}^{-1}$, 3 имп.)	53

1.5. Модификация фазового состава и структуры поверхностного слоя стали 20Х23Н18	60
1.5.1. Структурно-фазовое состояние стали 20Х23Н18 перед облучением электронным пучком.....	61
1.5.2. Модификация структуры поверхности стали 20Х23Н18 при облучении высокоинтенсивным электронным пучком.....	62
1.6. Модификация фазового состава и структуры поверхностного слоя стали 12Х18Н10Т высокоинтенсивным электронным пучком	68
1.6.1. Структура стали 12Х18Н10Т в исходном состоянии.....	70
1.6.2. Структурно-фазовое состояние поверхностного слоя стали, формирующегося в результате высокоинтенсивной электронно-пучковой обработки	71
1.7. Фазовый состав и дефектная субструктура стали Р6М5, обработанной интенсивным электронным пучком.....	76
1.7.1. Структура стали перед облучением	76
1.7.2. Структура поверхностного слоя стали Р6М5, облученной электронным пучком.....	77
Заключение к главе 1	86
Литература к главе 1	87
Глава 2. Эволюция фазового состава и дефектной субструктуры стали, подвергнутой обработке в изотермическом и динамическом режимах.....	97
2.1. Изотермическая обработка закаленной стали 38ХНЗМФА	97
2.1.1. Структура стали в исходном состоянии.....	99
2.1.2. Карбидные превращения, протекающие в условиях изотермического отпуска закаленной стали.....	106
2.1.3. Изотермический отпуск стали в температурном интервале 200–690 °С.....	109
2.1.4. Выделение частиц специальных карбидов.....	118
2.1.5. Карбидные превращения на внутрифазных границах в условиях изотермического отпуска.....	126

2.1.6. Взаимопревращение карбидных фаз при высокотемпературном отпуске.....	133
2.1.7. Анализ кинетики роста частиц карбидной фазы	135
2.1.8. Анализ кинетики изотермического распада твердого раствора.....	139
2.1.9. Эволюция дефектной субструктуры в условиях изотермического отпуска стали.....	145
2.2. Фазовый состав и дефектная субструктура закаленной стали 38ХНЗМФА, обработанной высокоинтенсивным электронным пучком	159
2.2.1. Структура стали в исходном состоянии.....	159
2.2.2. Моделирование температурного поля, формирующегося в поверхностном слое железа, облученного высокоинтенсивным импульсным электронным пучком	161
2.2.3. Анализ структуры поперечных шлифов и изломов стали 38ХНЗМФА, обработанной электронным пучком.....	164
2.2.4. Послойный анализ фазового состава и дефектной субструктуры стали 38ХНЗМФА, обработанной электронным пучком.....	165
2.3. Модификация поверхностного слоя сложнолегированной стали 13Х11Н2В2МФ.....	170
2.3.1. Структура стали в исходном состоянии (до обработки электронным пучком).....	171
2.3.2. Структурно-фазовое состояние стали, обработанной электронным пучком.....	173
Заключение к главе 2	180
Литература к главе 2	182
Глава 3. Комбинированная электронно-ионно-плазменная модификация поверхности стали	191
3.1. Ионно-плазменные методы формирования тонких пленок и покрытий	192
3.2. Моделирование температурного поля, формирующегося в системе пленка (металл) / (железо) подложка при ее облучении интенсивным импульсным электронным пучком.....	217

3.3. Система пленка (металл) / (сталь) подложка.....	221
3.3.1. Структура стали 40X в исходном состоянии.....	221
3.3.2. Модификация структуры стали 40X высокоинтенсивным электронным пучком.....	225
3.3.3. Система пленка (алюминий) / (сталь 40X) подложка	234
3.3.4. Система пленка (медь) / (сталь 40X) подложка.....	250
3.3.5. Система пленка (титан) / (сталь 40X) подложка	272
Заключение к главе 3	289
Литература к главе 3	290
ПОСЛЕСЛОВИЕ	298