

Е.В. Берлин, Н.Н. Коваль, Л.А. Сейдман

**ПЛАЗМЕННАЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ
СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ**



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ СИЛЬНОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Е.В. Берлин, Н.Н. Коваль, Л.А. Сейдман

**ПЛАЗМЕННАЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ
СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Ответственный редактор
д.ф.-м.н. Ю.Ф. Иванов

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2012

УДК 621.78
ББК 34.65
Б48

Рецензенты:

д.ф.-м.н. А.В. Колубаев, д.ф.-м.н. Ю.П. Шаркеев

Б48 Берлин Е.В., Коваль Н.Н., Сейдман Л.А.

Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей
М.: Техносфера, 2012. – 464с. ISBN: 978-5-94836-328-8

Книга представляет собой подробное справочное руководство по основам плазменной химико-термической обработки поверхности стальных деталей. В ней обобщены сведения о современном развитии этих технологических процессов, теоретические основы и методы их проведения. Детально проанализированы виды оборудования и принципы его конструирования для достижения высокой производительности, воспроизводимости и однородности обработки. Описаны варианты плазменной химико-термической обработки, отличающиеся видом элемента, насыщающего приповерхностные слои детали.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся исследованием и разработкой процессов упрочнения стальных деталей, используемых в устройствах различного назначения, совершенствованием технологии их производства и изготовлением специализированного оборудования для химико-термической обработки. Она также будет полезна в качестве учебного пособия студентам старших курсов и аспирантам соответствующих специализаций.

УДК 621.78
ББК 34.65

© 2012, Берлин Е.В., Коваль Н.Н., Сейдман Л.А.

© 2012, ЗАО «РИЦ «Техносфера», оригинал-макет, оформление

ISBN: 978-5-94836-328-8

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1.	
ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ	8
1.1. Основные фазы и фазовые превращения в системе железо—азот	8
1.2. Основные фазы и фазовые превращения при азотировании	9
ГЛАВА 2.	
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ	14
2.1 Влияние состава газовой смеси	15
2.1.1 Роль кислорода в реакторе	15
2.1.2. Влияние добавки водорода	21
2.1.3. Влияние добавки аргона	30
2.2. Влияние температуры процесса	31
2.3. Влияние длительности процесса	49
2.4. Влияние рабочего давления газовой смеси	62
2.5. Влияние энергии и плотности тока ионов азота	66
ГЛАВА 3.	
ВЛИЯНИЕ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ К ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ	81
3.1. Подготовка деталей после их изготовления до загрузки в реактор для последующего азотирования	81
3.1.1. Влияние шероховатости	82
3.1.2. Обработка деформацией	85
3.1.3. Дробеструйная (пескоструйная) обработка	94
3.1.4. Предварительная термообработка	99
3.2. Очистка поверхности деталей в реакторе непосредственно перед плазменной химико-термической обработкой	103
ГЛАВА 4.	
УСТРОЙСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	113
4.1 Способы нагрева деталей для плазменной химико-термической обработки	113
4.2. Устройства, создающие плазму в плазменных реакторах для химико-термической обработки	118
4.2.1. Ионно-лучевое азотирование	119
4.2.2. Реакторы с тлеющим разрядом	126
4.2.3 Реакторы, использующие эффект полого катода	128
4.2.4. ВЧ-источники плазмы	133
4.2.5. СВЧ-источники плазмы	134
4.2.6 Реакторы с накаливаемым катодом	139
4.2.7. Реакторы на основе вакуумно-дугового разряда с накаливаемым катодом	143

4.2.8. Реакторы с разделением объемов возбуждения плазмы и обработки детали	150
4.2.9. Реакторы с возбуждением плазмы электронным пучком.....	156
4.2.10. Классификация реакторов по виду подаваемого на детали напряжения смещения	166
4.3. Плазменно-иммерсионная ионная имплантация и ее применение в гибридных процессах химико-термической обработки.....	167
4.3.1. Плазменно-иммерсионная ионная имплантация	172
4.3.2. Гибридный процесс, состоящий из ПИИИ-процесса и обычного плазменного азотирования	183
4.3.3. Плазменно-иммерсионная ионная имплантация и нанесение слоя из ионов	186
4.4. Сравнение различных способов азотирования между собой	187
4.5. Азотирование при поверхностном нагреве деталей.....	193
4.5.1. Низкотемпературное азотирование с последующим импульсным нагревом ионами аргона	193
4.5.2. Применение для азотирования импульсных электронных пучков	195
4.6. Некоторые способы повышения производительности процесса обработки	197
4.7. Выводы из главы 4	201

ГЛАВА 5.

СПОСОБЫ ДОСТИЖЕНИЯ РАВНОМЕРНОГО АЗОТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ	202
5.1 Азотирование протяженных деталей	202
5.2. Азотирование деталей сложной формы.....	206
5.2.1. Эффект кромки	207
5.2.2. Эффект полого катода.....	214
5.3. Достижение равномерности азотирования с помощью активного экрана	222
5.3.1. Одинарный активный экран	223
5.3.2. Двухслойный активный экран	238

ГЛАВА 6.

ДРУГИЕ ВИДЫ ПЛАЗМЕННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ

ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ	243
6.1 Карбонизация и карбоазотирование	243
6.1.1. Карбонизация	243
6.1.2. Карбоазотирование	259
6.1.3. Сравнение результатов азотирования, карбонизации и карбоазотирования.....	288
6.1.4. Комбинированные процессы, состоящие из азотирования и карбонизации	297
6.2. Оксидирование и оксиазотирование	306
6.3. Сульфатирование и сульфоазотирование.....	322
6.4. Кадмирование.....	327

ГЛАВА 7.	
ОСОБЕННОСТИ (ПРИМЕРЫ) ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СТАЛЕЙ.....	329
7.1. Влияние концентрации легирующих элементов в различных сталях.....	329
7.1.1. Низкоуглеродистые стали.....	329
7.1.2. Углеродистые стали.....	336
7.1.3. Нержавеющие стали.....	340
7.2. Влияние кристаллической структуры различных нержавеющих сталей на результаты химико-термической обработки.....	358
7.2.1. Ферритные по структуре стали.....	359
7.2.2. Аустенитные стали.....	360
7.2.3. Мартенситные стали.....	380
7.2.4. Упрочненные преципитацией стали.....	389
ГЛАВА 8.	
ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА СВОЙСТВА НАНОСИМЫХ НА НИХ УПРОЧНЯЮЩИХ ИЛИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	397
8.1. Однослойные покрытия.....	398
8.2. Многослойные покрытия.....	411
8.3. Многослойные градиентные покрытия.....	431
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	438
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	442
ЛИТЕРАТУРА.....	446