

Е.В. Проскуркин В.А. Геловани А.Н. Сонк

# **Диффузионные цинковые покрытия: свойства, области применения**

---

**СПРАВОЧНИК**



**Zn  
Fe**

Е.В. Проскуркин В.А. Геловани А.Н. Сонк

# **Диффузионные цинковые покрытия: свойства, области применения**

**Zn**

Под редакцией  
канд. тех. наук Е.В. ПРОСКУРКИНА  
канд. хим. наук Д.А. СУХОМЛИНА



МОСКВА НАУКА 2017

УДК 621.7  
ББК 34.663  
П82

**Проскуркин Е.В., Геловани В.А., Сонк А.Н.**

**Диффузионные цинковые покрытия : свойства, области применения : Справочник / Е.В. Проскуркин, В.А. Геловани, А.Н. Сонк; под ред. Е.В. Проскуркина, Д.А. Сухомлина. — М. : Наука, 2017. — 311 с. — ISBN 978-5-02-039978-5.**

Справочник содержит обширную информацию по широкому кругу вопросов, связанных с проблемами антикоррозионной защиты металлических изделий и конструкций и активно используемыми на практике технологиями нанесения различных цинковых покрытий (гальванических, металлизационных, цинконаполненных, комбинированных «дуплекс-систем» и др.), включая теоретические и практические аспекты их получения. Особое внимание уделено диффузионным цинковым покрытиям, применение которых в различных отраслях промышленности в настоящее время постоянно растет.

Для инженерно-технических работников, специалистов предприятий и проектно-конструкторских организаций металлургической, машиностроительной, судостроительной, нефтяной, химической и других отраслей промышленности, а также для аспирантов и студентов вузов соответствующей специализации.

ISBN 978-5-02-039978-5

© Проскуркин Е.В., Геловани В.А., Сонк А.Н., 2017  
© ФГУП Издательство «Наука»,  
редакционно-издательское оформление, 2017

# Оглавление

|   |    |
|---|----|
| <b>Предисловие</b> .....  | 7  |
| I. Цинкование – один из основных современных способов защиты металлов от коррозии. Эволюция цинковых покрытий ..... | 9  |
| II. Международный Стандарт на диффузионные цинковые покрытия (International Standard Sherardizing) .....            | 15 |
| <br>  |    |
| Глава 1   |    |
| <b>Цинк и его свойства – цинковые покрытия</b>  |    |
| 1.1. Основные физико-химические свойства цинка .....  | 19 |
| 1.2. Диаграмма состояния системы желез–цинк .....   | 28 |
| 1.3. Коррозия и защитные свойства цинковых покрытий .....   | 31 |
| 1.3.1. Электрохимические свойства цинка и особенности поведения цинковых покрытий в различных средах .....          | 31 |
| 1.3.1.1. Коррозия цинка в атмосфере .....   | 32 |
| 1.3.1.2. Коррозия цинка в воде .....  | 34 |
| 1.3.1.3. Коррозия цинка в почве .....   | 36 |
| 1.3.2. Стойкость цинковых покрытий в условиях переменного погружения .....  | 36 |
| 1.3.3. Стойкость цинковых покрытий в движущихся водных агрессивных средах .....                                     | 41 |
| 1.3.4. Стойкость цинковых покрытий в промышленных условиях .....  | 47 |
| 1.4. Заключение .....   | 52 |
| 1.5. Литература к гл. 1 .....   | 54 |
| <br>  |    |
| Глава 2   |    |
| <b>Способы и технологии нанесения цинковых покрытий</b>   |    |
| 2.1. Введение .....   | 57 |
| 2.2. Технология нанесения гальванических цинковых покрытий .....  | 58 |
| 2.2.1. Обезжиривание .....  | 59 |
| 2.2.2. Травление .....  | 60 |

|   |     |
|---|-----|
| 2.2.3. Активация (декапирование) .....  | 62  |
| 2.2.4. Электролиты для цинкования .....   | 62  |
| 2.3. Технология нанесения горячецинковых покрытий (цинкование в расплаве цинка) .....                                       | 63  |
| 2.3.1. Взаимодействие железа (стали) с жидким цинком .....  | 63  |
| 2.3.2. Структура горячецинкового покрытия .....   | 65  |
| 2.3.3. Технология цинкования в расплаве цинка .....   | 71  |
| 2.3.4. Диффузионный отжиг цинковых покрытий .....   | 76  |
| 2.4. Технология нанесения металлизационных цинковых покрытий (газотермическое напыление цинком – металлизация цинком) ..... | 80  |
| 2.5. Технология нанесения диффузионных цинковых покрытий .....  | 84  |
| 2.6. Сопоставительный анализ основных свойств цинковых покрытий .....   | 91  |
| 2.7. Цинкнаполненные покрытия .....   | 93  |
| 2.7.1. Цинковые порошки .....   | 93  |
| 2.7.2. Неорганические цинксиликатные покрытия .....   | 95  |
| 2.7.3. Цинкнаполненные покрытия на органической основе .....  | 97  |
| 2.8. Комбинированные цинковые покрытия – дуплекс-системы .....  | 99  |
| 2.9. Заключение .....   | 105 |
| 2.10. Литература к гл. 2 .....  | 105 |

### Глава 3

#### Технология нанесения диффузионных цинковых покрытий

|   |     |
|---|-----|
| 3.1. Введение .....   | 108 |
| 3.2. Порошковые диффузионные смеси .....  | 111 |
| 3.3. Диффузионное цинкование в водороде и в атмосфере аммиака .....                                       | 115 |
| 3.4. Вакуумный метод диффузионного цинкования .....   | 118 |
| 3.5. Технология цинкования парафазным методом .....   | 119 |
| 3.5.1. Влияние химического состава сталей на толщину и структуру цинкового покрытия .....                 | 125 |
| 3.5.2. Влияние температуры и продолжительности цинкования на толщину, структуру и свойства покрытия ..... | 126 |
| 3.5.3. Влияние диффузионного цинкования на коррозионную усталость и другие свойства стали .....           | 128 |
| 3.6. Цинкование стальных труб .....   | 130 |
| 3.7. Цинкование чугунных изделий .....  | 134 |
| 3.8. Различные методы диффузионного цинкования .....  | 137 |
| 3.8.1. Парофазный и газовый методы диффузионного цинкования .....   | 138 |
| 3.8.2. Диффузионное цинкование в расплавленных солях цинка .....  | 140 |
| 3.8.3. Диффузионное цинкование способом обмазок (шликеров) .....  | 141 |
| 3.9. Заключение .....   | 141 |
| 3.10. Литература к гл. 3 .....  | 142 |

## Глава 4

**Противокоррозионная защита высокопрочного крепежа и элементов металлоконструкций методом диффузионного цинкования**

|  |     |
|--|-----|
| 4.1. Введение .....  | 144 |
| 4.2. Диффузионное цинкование крепежных изделий из стали обычной и высокой прочности .....  | 145 |
| 4.3. Технология диффузионного цинкования крепежных изделий из высокопрочной стали .....  | 147 |
| 4.3.1. Подготовка поверхности крепежных изделий .....  | 147 |
| 4.3.2. Установление параметров, приготовление диффузионной смеси .....   | 151 |
| 4.3.3. Упаковка и распаковка контейнера с крепежными изделиями, режимы охлаждения его после диффузионного цинкования, отделение диффузионной смеси от изделий .....            | 152 |
| 4.3.4. Режим химико-термической обработки и выбор оптимальных параметров диффузионного цинкования высокопрочного крепежа .....   | 153 |
| 4.3.5. Интенсификация процесса диффузионного цинкования крепежных изделий .....  | 157 |
| 4.4. Коррозионная стойкость высокопрочного диффузионно оцинкованного крепежа .....   | 159 |
| 4.4.1. Коррозионные испытания крепежных изделий .....  | 159 |
| 4.4.2. Влияние диффузионного цинкования на коррозионное растрескивание и остаточные физико-механические свойства образцов с резьбой М10 из стали 40Х .....                     | 163 |
| 4.4.3. Снижение склонности к коррозионному растрескиванию образцов с резьбой М10 из стали марок 38ХС, 40Х2Ф и 40Х в слабоагрессивной промышленной атмосфере .....              | 166 |
| 4.4.4. Результаты натурных коррозионных испытаний образцов с резьбой М10 и болтов М24 из высокопрочной стали марки 40Х .....   | 173 |
| 4.5. Электрохимические исследования поверхности высокопрочных болтов .....   | 177 |
| 4.5.1. Определение электрохимических характеристик поверхности болтов с цинковым покрытием в исходном состоянии и в процессе коррозии .....                                    | 178 |
| 4.5.2. Определение влияния приложенных напряжений на электрохимические характеристики поверхности болтов с цинковым покрытием в исходном состоянии и в процессе коррозии ..... | 180 |
| 4.6. Заключение .....  | 182 |
| 4.7. Литература к гл. 4 .....  | 183 |

## Глава 5

**Диффузионные цинковые и комбинированные покрытия в нефтегазодобывающей промышленности**

|  |     |
|--|-----|
| 5.1. Общие сведения о коррозии металлов и коррозионных процессах .....   | 185 |
| 5.2. Коррозия труб нефтяного сортамента и их резьбовых соединений .....  | 194 |
| 5.2.1. Физико-химические характеристики многокомпонентных систем, содержащих водную, органическую и газовую фазы ..... | 195 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.2.2. Оценка факторов, влияющих на вид и скорость коррозии трубного оборудования нефтегазодобывающих скважин .....                                   | 202 |
| 5.2.2.1. Сероводородная коррозия .....  | 208 |
| 5.2.2.2. Углекислотная коррозия .....   | 219 |
| 5.2.3. Характерные виды коррозии труб нефтяного сортамента .....  | 226 |
| 5.3. Диффузионные цинковые покрытия в общей системе противокоррозионной защиты труб нефтяного сортамента .....  | 228 |
| 5.3.1. Защитная способность диффузионных цинковых покрытий, обусловленная их физико-механическими, электрохимическими и структурными свойствами ..... | 228 |
| 5.3.2. Комбинированные покрытия и технологии MAJORPACK многофакторной защиты погружного оборудования .....  | 239 |
| 5.4. Диффузионные цинковые покрытия для защиты резьбовых соединений труб нефтяного сортамента .....   | 243 |
| 5.5. Заключение .....   | 247 |
| 5.6. Литература к гл. 5 .....   | 250 |

## Глава 6

### Контроль цинковых покрытий

|   |     |
|---|-----|
| 6.1. Качество диффузионных цинковых покрытий в свете требований Международного стандарта ISO/FDIS 17668:2015(E) ..... | 255 |
| 6.2. Методика оценки качества и контроль диффузионных цинковых покрытий .....   | 262 |
| 6.2.1. Контроль технологии .....  | 264 |
| 6.2.2. Контроль качества покрытия и оцинкованных изделий .....  | 264 |
| 6.3. Определение толщины покрытий .....   | 266 |
| 6.4. Металлографические исследования цинковых покрытий .....  | 273 |
| 6.5. Электрохимические исследования цинковых покрытий .....   | 277 |
| 6.6. Обработка цинковых покрытий .....  | 283 |
| 6.7. Соединение оцинкованных изделий .....  | 286 |
| 6.8. Заключение .....   | 290 |
| 6.9. Литература к гл. 6 .....   | 291 |

## Глава 7

### Рациональные области применения диффузионных цинковых покрытий

|   |     |
|---|-----|
| 7.1. Введение .....   | 293 |
| 7.2. Муфты НКТ с диффузионным цинковым покрытием .....  | 295 |
| 7.3. Новая информация по диффузионной металлизации цинком и диффузионному цинкованию труб ..... | 301 |
| 7.4. Заключение .....   | 303 |
| 7.5. Литература к гл. 7 .....   | 306 |
| Об этой книге, о настоящем и будущем диффузионного цинкования .....                             | 308 |