



Ю. С. ВОЛКОВ

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ



Ю. С. ВОЛКОВ

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ · МОСКВА · КРАСНОДАР
2021

ББК 34.55я73

В 67

Волков Ю. С.

В 67 Электрофизические и электрохимические процессы обработки материалов: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2021. — 396с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-2174-9

Приведены общая классификация процессов и их основные показатели. Рассмотрены процессы обработки материалов: съем, разделение, формоизменение, соединение, наращивание. Большое внимание уделено комбинированным процессам и неразмерной обработке.

Содержание и построение пособия способствуют повышению эффективности самостоятельного изучения учебного предмета.

Пособие предназначено для бакалавров, магистров, специалистов и аспирантов машиностроительных и энергетических направлений и специальностей. Также может представлять интерес и для инженерно-технических работников соответствующих организаций.

ББК 34.55я73

Рецензенты:

О. Ф. ВЯЧЕСЛАВОВА — доктор технических наук, профессор кафедры «СМиС» Московского государственного машиностроительного университета;

Б. П. САУШКИН — доктор технических наук, профессор, начальник отдела физико-химических и вакуумных технологий ФГУП «НПО «ГТехномах»».

Обложка

Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2021

© Ю. С. Волков, 2021

© Издательство «Лань»,

художественное оформление, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|---|
| <i>Предисловие</i> | 5 |
| <i>Условные обозначения величин</i> | 6 |
| <i>Введение</i> | 8 |

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ СВОЙСТВА ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ.

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. 11

| | |
|---|----|
| 1.1. Три вида материи как участники технологических процессов. | 11 |
| 1.2. Агрегатные состояния вещества | 14 |
| 1.3. Основные понятия процессов обработки материалов | 16 |
| 1.4. Физико-химические методы размерной обработки | 19 |
| 1.5. Геометрические классы размерной обработки | 23 |
| 1.6. Целевое назначение и показатели процессов обработки | 25 |
| 1.7. Особенности размерной обработки съемом материала | 30 |
| 1.8. Электрофизические и электрохимические процессы обработки | 33 |
| 1.9. Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 37 |

ГЛАВА 2

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА

| | |
|--|----|
| 2.1. Электрический пробой и разновидности разряда | 41 |
| 2.2. Тепловое воздействие разряда на электроды | 43 |
| 2.3. Принцип электроэрозионной обработки | 45 |
| 2.4. Тепловая задача. Технологические модели процесса | 46 |
| 2.5. Технологические особенности процесса | 50 |
| 2.6. Режимы и схемы электроэрозионной обработки | 53 |
| 2.7. Формообразование объемным копированием | 56 |
| 2.8. Технологические показатели объемного копирования | 58 |
| 2.9. Копировально-прошивочные станки и инструменты | 63 |
| 2.10. Копировально-прошивочные операции | 66 |
| 2.11. Технологическая подготовка процесса | 67 |
| 2.12. Электроэрозионное проволочное вырезание | 70 |
| 2.13. Вырезные станки и возможности процесса | 73 |
| 2.14. Другие применения электроэрозионного процесса | 75 |
| 2.15. Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 77 |

ГЛАВА 3

РАЗМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

| | |
|--|----|
| 3.1. Понятие об электродных процессах | 83 |
| 3.2. Закономерности электродных процессов | 86 |
| 3.3. Принцип размерной электрохимической обработки | 89 |
| 3.4. Технологические особенности процесса | 91 |
| 3.5. Кинематические схемы и разновидности процесса | 96 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.6. | Технологические особенности объемного копирования | 98 |
| 3.7. | Копировально-прошивочные станки и инструменты | 103 |
| 3.8. | Подготовка процесса объемного копирования, типовые операции | 107 |
| 3.9. | Другие схемы размерной электрохимической обработки | 110 |
| 3.10. | Удаление заусенцев и маркирование | 112 |
| 3.11. | Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 114 |

ГЛАВА 4

| | | |
|---------------------------------------|---|------------|
| АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА | | 120 |
| 4.1. | Магнитно-абразивная обработка: основные подпроцессы. | 120 |
| 4.2. | Технологические особенности магнитно-абразивной обработки | 123 |
| 4.3. | Ультразвуковые колебания, их получение | 127 |
| 4.4. | Принцип размерной ультразвуковой абразивной обработки | 132 |
| 4.5. | Технологические особенности ультразвуковой абразивной обработки | 137 |
| 4.6. | Схемы обработки, ультразвуковые станки, инструменты | 138 |
| 4.7. | Колебательная система | 141 |
| 4.8. | Показатели и типовые операции размерной ультразвуковой абразивной обработки | 144 |
| 4.9. | Подготовка процесса | 147 |
| 4.10. | Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 149 |

ГЛАВА 5

| | | |
|--|--|------------|
| КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ. | | 153 |
| 5.1. | Особенности комбинированных процессов. | 153 |
| 5.2. | Электроэрозионно-химическая обработка: основные явления | 154 |
| 5.3. | Технологические особенности электроэрозионно-химической обработки. | 158 |
| 5.4. | Абразивно-электроэрозионные процессы. | 160 |
| 5.5. | Анодно-механическая обработка | 162 |
| 5.6. | Комбинированные анодные процессы | 166 |
| 5.7. | Процессы с чередованием абразивного и анодного воздействий. | 169 |
| 5.8. | Комбинированная обработка с подачей ультразвука. | 171 |
| 5.9. | Комбинированные процессы при свободном абразиве. | 172 |
| 5.10. | Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 176 |

ГЛАВА 6

| | | |
|---|--|------------|
| ЛАЗЕРНАЯ, ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА СЪЕМОМ МАТЕРИАЛА | | 181 |
| 6.1. | Источники лазерного излучения | 181 |
| 6.2. | Установки для лазерной обработки | 187 |
| 6.3. | Воздействие излучения на поверхность металла. | |
| | Применение лазерной обработки | 190 |
| 6.4. | Лазерное прошивание отверстий в металлах | 194 |
| 6.5. | Лазерная резка металлов | 197 |
| 6.6. | Лазерная обработка неметаллических материалов | 201 |
| 6.7. | Принцип электронно-лучевой обработки | 203 |
| 6.8. | Взаимодействие электронов с веществом заготовки | 205 |
| 6.9. | Оборудование и операции электронно-лучевой обработки | 208 |
| 6.10. | Принцип размерной обработки плазменной струей | 211 |
| 6.11. | Резка плазменной струей | 214 |
| 6.12. | Комбинированные процессы | 218 |
| 6.13. | Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 219 |

ГЛАВА 7

| | | |
|---|---|------------|
| ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ | | 225 |
| 7.1. | Явления, сопровождающие взрывное преобразование энергии | 225 |
| 7.2. | Принцип действия электрогидравлического штампования | 227 |
| 7.3. | Процессы в разрядной цепи, порождающие ударные волны | 228 |
| 7.4. | Особенности обработки при взрывающихся проводниках | 230 |
| 7.5. | Технологические особенности электрогидравлического штампования | 231 |
| 7.6. | Оборудование и показатели электрогидравлического штампования | 233 |
| 7.7. | Подготовка процесса электрогидравлического штампования, основные операции | 236 |
| 7.8. | Принцип магнитно-импульсного штампования | 240 |
| 7.9. | Оборудование и особенности магнитно-импульсного штампования | 245 |
| 7.10. | Подготовка процесса и основные операции магнитно-импульсной обработки | 246 |
| 7.11. | Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 249 |

| | |
|--|------------|
| ГЛАВА 8 | |
| СВАРКА И ПАЯНИЕ | 254 |
| 8.1. Принцип ультразвуковой сварки | 254 |
| 8.2. Оборудование и технологические особенности ультразвуковой сварки. | 256 |
| 8.3. Подготовка ультразвуковой сварки, основные операции | 258 |
| 8.4. Особенности плазменной сварки. | 260 |
| 8.5. Оборудование для плазменной сварки | 263 |
| 8.6. Лазерная сварка. | 265 |
| 8.7. Электронно-лучевая сварка. | 269 |
| 8.8. Электровзрывная сварка | 273 |
| 8.9. Ультразвуковое паяние | 276 |
| 8.10. Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 279 |
| ГЛАВА 9 | |
| ПРОЦЕССЫ СОЗДАНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАРАЩИВАНИЯ | 284 |
| 9.1. Классификация процессов | 284 |
| 9.2. Особенности процессов наращивания материала на исходное тело | 286 |
| 9.3. Лазерная и электронно-лучевая наплавка | 288 |
| 9.4. Плазменная наплавка | 292 |
| 9.5. Принцип катодного осаждения | 294 |
| 9.6. Процессы управляемого наращивания. | 297 |
| 9.7. Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 301 |
| ГЛАВА 10 | |
| НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ | 305 |
| 10.1. Назначение и виды покрытий | 305 |
| 10.2. Анодное нанесение покрытий | 307 |
| 10.3. Микродуговое оксидирование, электрофоретическое осаждение. | 310 |
| 10.4. Электроискровое нанесение покрытий | 312 |
| 10.5. Вакуумное осаждение из паров | 315 |
| 10.6. Вакуумное осаждение ионов | 319 |
| 10.7. Реактивное осаждение | 321 |
| 10.8. Процессы газотермического нанесения покрытий | 323 |
| 10.9. Прочие процессы нанесения покрытий | 326 |
| 10.10. Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 328 |
| ГЛАВА 11 | |
| НЕРАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА | 333 |
| 11.1. Общие сведения о неразмерной обработке | 333 |
| 11.2. Процессы полирования | 335 |
| 11.3. Процессы термического упрочнения | 339 |
| 11.4. Лазерная и электронно-лучевая термообработка | 340 |
| 11.5. Процессы механического упрочнения | 342 |
| 11.6. Лазерное легирование | 345 |
| 11.7. Электрохимические процессы поверхностного легирования | 347 |
| 11.8. Ионная обработка поверхности | 349 |
| 11.9. Очистка, сушка | 352 |
| 11.10. Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 355 |
| <i>Заключение</i> | 360 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | |
| ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА | 361 |
| Приложение 1. Электростатическое и электрическое поля | 361 |
| Приложение 2. Законы электролиза | 364 |
| Приложение 3. Законы электрических цепей | 365 |
| Приложение 4. Магнитные поля и цепи | 368 |
| Приложение 5. Электромагнитное поле | 373 |
| Приложение 6. Материалы для углубления усвоения и самопроверки | 375 |
| <i>Основные понятия и термины</i> | 380 |
| <i>Список рекомендуемой литературы</i> | 391 |