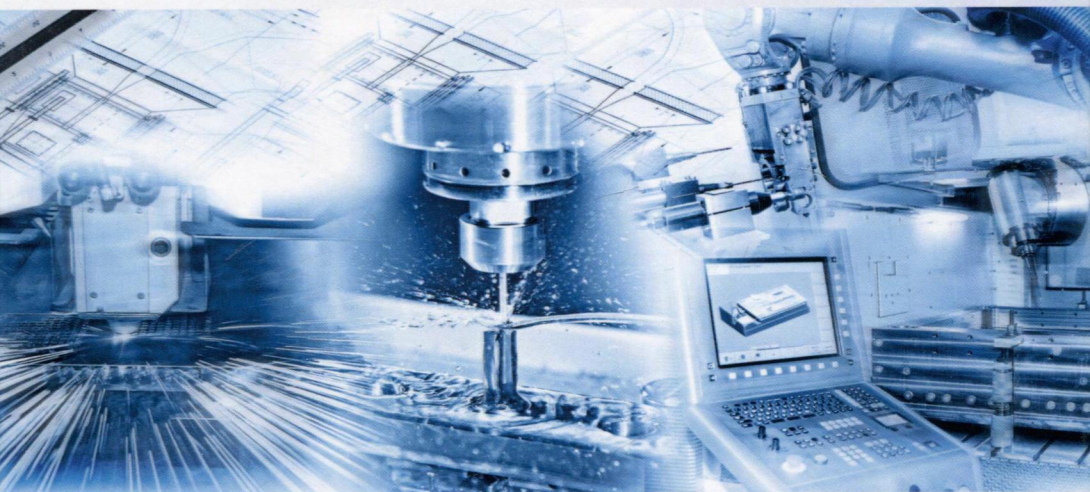


М. М. Радкевич, В. И. Никифоров, Ю. М. Барон,
В. С. Кобчиков, М. Т. Коротких



ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Под общей редакцией М. М. Радкевича, В. И. Никифорова

Гриф «Учебник»
Федерального учебно-методического объединения
в системе высшего образования по укрупненным группам
специальностей и направлений подготовки
15.00.00 «Машиностроение»

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2022

УДК 621
ББК 34.5
Э45

Авторы:

Радкевич М. М., Никифоров В. И., Барон Ю. М.,
Кобчиков В. С., Коротких М. Т.

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Балтийского государственного
технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

Д. В. Васильков;

доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского
политехнического университета Петра Великого *В. Я. Фролов*

Э45 **Электрофизические и электрохимические методы обработки в машиностроении** : учебник / [Радкевич М. М. и др.] ; под ред. М. М. Радкевича, В. И. Никифорова. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 532 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-0955-1

Представлена классификация и физико-химические основы электрофизических и электрохимических методов обработки. Приведены схемы работ, режимы обработки и оборудование, применяемые при реализации методов электроэрозионной, химической, электрохимической, светолучевой, электронно-лучевой, ионно-вакуумной, плазменной, ультразвуковой обработки и некоторых комбинированных методов обработки. Даны сведения по технологиям нанесения покрытий на заготовки, выполняемым на основе использования методов этих групп.

Для студентов образовательных учреждений высшего образования, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и специальностям укрупненной группы 15.00.00 «Машиностроение». Может быть использовано при подготовке студентов по другим направлениям и специальностям в области техники и технологий.

УДК 621
ББК 34.5

ISBN 978-5-9729-0955-1

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Список сокращений	10
Общие условные обозначения	11
Введение	14
1. Классификация технологических методов обработки	17
2. Технологические методы электроэрозионной обработки	28
2.1. Физические основы электроэрозионной обработки	28
2.2. Виды и схемы реализации электроэрозионных методов обработки	30
2.2.1. Формообразование поверхностей изделий электроэрозионной обработкой	31
2.2.2. Электроискровое упрочнение поверхностного слоя заготовки	35
2.3. Технологические параметры режима электроэрозионной обработки	37
2.3.1. Электрические параметры режима электроэрозионной обработки	37
2.3.2. Гидрокинематические параметры режима электроэрозионной обработки	41
2.3.3. Механические параметры электроэрозионной обработки	43
2.4. Техничко-экономические показатели электроэрозионной обработки	44
2.4.1. Качество поверхностного слоя после электроэрозионной обработки	44
2.4.2. Точность электроэрозионной обработки	47
2.4.3. Основное время электроэрозионной обработки	55
2.4.4. Производительность электроэрозионной обработки	58
2.4.5. Выбор параметров режима электроэрозионной обработки	64
2.4.6. Режимы и технико-экономические показатели видов электроэрозионной обработки	67
2.5. Оборудование для электроэрозионной обработки	70
3. Химические методы обработки	87
3.1. Химическое травление	87
3.1.1. Химическое поверхностное травление	87
3.1.2. Химическое глубинное травление	90
3.1.3. Химическое полирование	91
3.2. Химико-механическая обработка	92
3.3. Химические методы нанесения покрытий	93
3.3.1. Химические методы нанесения покрытий из водных растворов	94
3.3.2. Химические методы нанесения покрытий из газовой среды	97
4. Электрохимические методы обработки	102
4.1. Физико-химические основы электрохимической обработки	102
4.2. Основные законы, описывающие процесс электролиза	109
4.3. Классификация электрохимических методов обработки	112
4.4. Электрохимические размерные и отделочные методы обработки	114
4.4.1. Методы электрохимической размерной обработки	114
4.4.2. Методы электрохимической отделочной обработки	121
4.4.3. Электролиты для электрохимической обработки и их характеристики	126
4.4.4. Электрические параметры режима электрохимической обработки и скорость анодного растворения материала	131
4.4.5. Схемы реализации электрохимической размерной обработки, анодное растворение и межэлектродный зазор	137
4.4.6. Техничко-экономические параметры электрохимической обработки	141

4.4.7. Основы проектирования электрода-инструмента.....	154
4.4.8. Оборудование для электрохимической размерной обработки	161
4.5. Электрохимические методы нанесения покрытий.....	171
4.5.1. Нанесение покрытий осаждением металлов из растворов солей.....	172
4.5.2. Нанесение электрохимических покрытий оксидированием и фосфатированием анода	178
4.5.3. Оборудование для нанесения электрохимических покрытий	180
4.6. Электролитно-плазменная обработка.....	182
4.6.1. Физико-химические основы и виды электролитно-плазменной обработки	182
4.6.2. Электролитно-плазменное оксидирование.....	185
4.6.3. Электролитно-плазменное полирование.....	187
4.6.4. Оборудование для электролитно-плазменной обработки.....	191
5. Технологические методы электронно-лучевой обработки	193
5.1. Физические основы электронно-лучевой обработки	193
5.2. Технологические методы электронно-лучевой обработки.....	201
5.2.1. Электронно-лучевая плавка	203
5.2.2. Электронно-лучевая сварка.....	204
5.2.3. Электронно-лучевая термообработка	206
5.2.4. Размерная электронно-лучевая обработка.....	207
5.2.5. Электронно-лучевое напыление покрытий	214
5.3. Оборудование электронно-лучевой обработки	216
6. Технологические методы светолучевой обработки	226
6.1. Физические основы светолучевой обработки.....	226
6.1.1. Полихроматический свет и его технологические возможности	226
6.1.2. Физические основы работы лазеров.....	227
6.1.3. Режимы и параметры лазерного излучения	233
6.1.4. Взаимодействие лазерного излучения с веществом	235
6.1.5. Основные типы лазеров.....	238
6.2. Технологические методы светолучевой обработки и их технико-технологические характеристики	245
6.2.1. Поверхностные методы лазерной обработки	247
6.2.2. Лазерная сварка	249
6.2.3. Лазерная наплавка	251
6.2.4. Лазерное поверхностное легирование	254
6.2.5. Лазерная резка	255
6.2.6. Лазерное прошивание и вырезание отверстий по контуру	262
6.2.7. Лазерное напыление тонкопленочных покрытий	265
6.3. Оборудование для лазерной обработки	267
7. Технологические методы плазменной обработки	282
7.1. Основные характеристики низкотемпературной плазмы.....	282
7.2. Методы и источники получения низкотемпературной плазмы.....	285
7.2.1. Методы получения низкотемпературной плазмы.....	285
7.2.2. Виды источников плазмы.....	286
7.2.3. Характеристики плазменного источника.....	290
7.3. Технологические методы плазменной обработки и их технико-технологические характеристики	292
7.3.1. Плазменная сварка	292
7.3.2. Плазменная наплавка.....	296
7.3.3. Плазменное напыление покрытий.....	302
7.3.4. Плазменная резка	305

7.4. Оборудование для плазменной обработки.....	314
8. Технологические методы ионно-вакуумной обработки.....	324
8.1. Физические основы ионно-вакуумной обработки	324
8.2. Технологические параметры ионно-вакуумной обработки	332
8.3. Технологические методы ионно-вакуумной обработки	333
8.3.1. Ионно-вакуумное распыление поверхности твердого тела	334
8.3.2. Ионно-вакуумное легирование	339
8.3.3. Оборудование для ионно-вакуумной имплантации	346
8.3.4. Ионно-вакуумные методы нанесения покрытий.....	354
9. Технологические методы ультразвуковой обработки.....	366
9.1. Общие сведения об ультразвуковой обработке и областях ее применения	366
9.2. Физические основы ультразвуковых технологий	368
9.3. Источники ультразвуковых колебаний	376
9.3.1. Ультразвуковой генератор	376
9.3.2. Ультразвуковая колебательная система.....	376
9.4. Ультразвуковая сварка и пайка изделий	385
9.4.1. Ультразвуковая сварка.....	385
9.4.2. Методы ультразвуковой пайки и нанесения покрытий.....	388
9.5. Классификация технологических методов обработки заготовок с наложением ультразвуковых колебаний	390
9.6. Ультразвуковая размерная обработка	392
9.6.1. Основы ультразвуковой размерной обработки незакрепленными абразивными зёрнами	392
9.6.2. Методы и типовые схемы ультразвуковой размерной обработки	393
9.6.3. Технологические и технико-экономические характеристики ультразвуковой размерной обработки	395
9.6.4. Инструмент для ультразвуковой размерной обработки.....	405
9.6.5. Оборудование для ультразвуковой размерной обработки	406
9.7. Ультразвуковая очистка.....	408
10. Комбинированные методы обработки.....	411
10.1. Технологические методы плазменно-механической обработки.....	411
10.1.1. Физические основы и классификация методов плазменно-механической обработки.....	411
10.1.2. Технологические методы плазменно-механической обработки и их технико-технологические характеристики.....	419
10.1.3. Технологическая оснастка плазменно-механической обработки.....	429
10.2. Технологические методы магнитно-абразивной обработки	435
10.2.1. Метод магнитно-абразивной обработки, его разновидности и области применения	436
10.2.2. Магнитно-абразивное полирование	437
10.2.3. Интенсификация технологических процессов на основе применения магнитно-абразивной обработки	475
10.3. Комбинированные методы ультразвуковой обработки	478
10.3.1. Методы обработки давлением с наложением ультразвуковых колебаний	478
10.3.2. Методы обработки резанием лезвийным инструментом с наложением колебаний	483
10.3.3. Методы обработки резанием абразивными инструментами с наложением ультразвуковых колебаний.....	492
10.3.4. Термоультразвуковая обработка.....	496

10.4. Технологии термомеханической обработки	497
10.4.1. Методы упрочнения материалов	497
10.4.2. Физические основы и классификация технологических методов термомеханической обработки	498
10.4.3. Программная термомеханическая обработка	506
10.4.4. Технологии программной термомеханической обработки штампованных поковок	512
10.4.5. Оборудование для термомеханической обработки.....	522
Список литературы	524