

В. Е. Завьялов, И. В. Иванова



«Инфра-Инженерия»



ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

В. Е. Завьялов, И. В. Иванова

**ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ
СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ**

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2023

УДК 621.791
ББК 34.641
3-13

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, заслуженный работник сферы образования
РФ, директор ООО «Региональный Северо-Западный Межотраслевой
Аттестационный Центр», научный руководитель УНТЦ «Сварка»

А. М. Левченко;

доктор технических наук, профессор Высшей школы физики и технологий
материалов Института машиностроения, материалов и транспорта
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого,
директор Российско-Германского центра лазерных технологий

С. Г. Паршин

Завьялов, В. Е.

3-13 Технология, оборудование и материалы сварки плавлением : учебное
пособие / В. Е. Завьялов, И. В. Иванова. – Москва : Вологда ; Инфра-
Инженерия, 2023. – 548 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-1292-6

Представлены сведения по теоретическим основам сварки металлов и их сплавов, сварочным источникам тепла, тепловым и металлургическим процессам основных видов сварки, газотермического нанесения покрытий, сварке углеродистых низко- и высоколегированных сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов, использованию аддитивных технологий в сварочном производстве. Даны рекомендации по технике и расчету режимов различных способов сварки, рассмотрены причины возникновения и меры борьбы со сварочными напряжениями и деформациями. Представлены принципы проектирования сварочного оборудования, основы методов контроля качества сварных соединений и порядок проведения контрольных операций.

Для студентов, обучающихся по направлениям подготовки: «Машиностроение» (профиль «Оборудование и технология сварочного производства»), «Металлургия» (профиль «Металлургия сварочного производства» и «Теоретические основы процессов сварки»). Может быть полезно аспирантам и инженерно-техническим работникам, занятым в области сварочного производства.

УДК 621.791
ББК 34.641

ISBN 978-5-9729-1292-6

© Завьялов В. Е., Иванова И. В., 2023

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ.....	9
1.1. Физические основы процесса сварки металлов.....	9
1.2. Классификация видов сварки.....	13
1.3. Основные виды сварки металлов.....	15
2. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ.....	28
2.1. Типы сварных соединений и швов.....	29
2.2. Конструктивные элементы сварных соединений.....	34
2.3. Классификация сварных соединений и швов.....	36
2.4. Условные обозначения швов сварных соединений.....	38
3. СВАРОЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЕПЛА.....	42
3.1. Общие требования к сварочным источникам тепла.....	42
3.2. Газосварочное пламя.....	42
3.3. Электрическая сварочная дуга.....	47
3.3.1. Особенности сварочных дуг переменного тока.....	54
3.3.2. Постоянная составляющая тока.....	55
3.3.3. Трехфазная сварочная дуга.....	57
3.3.4. Сжатая дуга.....	58
3.3.5. Устойчивость сварочной дуги и требования к статическим характеристикам источников питания.....	60
3.3.6. Саморегулирование дуги при сварке плавящимся электродом.....	61
3.3.7. Перенос металла электрода в дуге и требования к динамическим характеристикам источников питания.....	66
3.3.8. Управление переносом электродного металла наложением импульсов тока на дугу при сварке плавящимся электродом.....	68
3.3.9. Технологические свойства сварочных дуг.....	74
3.3.10. Воздействие собственных магнитных полей на сварочные процессы.....	77
3.4. Электродуговой источник тепла.....	88
3.5. Электронный луч.....	89
3.6. Сравнительные характеристики различных источников тепла для сварки плавлением.....	90
4. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ.....	92
4.1. Основы тепловых расчётов при сварке.....	92
4.2. Методы исследования температурных полей при сварке.....	96
4.2.1. Метод источников.....	96
4.2.2. Численные методы.....	99
4.2.3. Метод конечных разностей.....	99
4.2.4. Метод конечных элементов.....	100
4.2.5. Экспериментальный метод определения температурных полей при сварке.....	101

5. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ	102
5.1. Общая характеристика металлургических процессов при сварке плавлением	102
5.2. Газовая фаза в зоне сварки плавлением	103
5.3. Взаимодействие металлов с кислородом при сварке сталей плавлением	107
5.4. Взаимодействие с азотом и водородом при сварке плавлением	111
5.5. Особенности взаимодействия металла и шлаков при сварке	113
5.6. Раскисление и рафинирование металла шва	116
5.7. Легирование наплавленного металла	122
6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ	125
6.1. Требования к оборудованию для сварки плавлением	125
6.2. Источники питания сварочной дуги	127
6.2.1. Сварочные трансформаторы	129
6.2.2. Серийные трансформаторы	141
6.2.3. Выпрямители для дуговой сварки	147
6.2.4. Инверторные источники питания	162
6.2.5. Оборудование для сварки неплавящимся электродом	165
6.3. Сварочные полуавтоматы	171
7. СУЩНОСТЬ И ТЕХНИКА СПОСОБОВ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ	179
7.1. Технология газовой сварки	179
7.2. Технология ручной сварки покрытыми электродами	186
7.3. Технология сварки под флюсом	195
7.3.1. Механизированная сварка под флюсом. Основные типы и конструктивные элементы	203
7.3.2. Применение ленточного электрода	208
7.4. Технология сварки в защитных газах	214
7.4.1. Защитные газовые смеси для сварки плавящимся электродом	246
7.5. Сварка порошковыми проволоками	250
7.5.1. Активированная сварочная проволока сплошного сечения	257
7.6. Технология электрошлаковой сварки	278
8. ГАЗОТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ	286
8.1. Наплавка и напыление как основные способы восстановления и упрочнения деталей машин	286
8.2. Технологические основы различных способов наплавки	289
8.3. Газотермическое напыление	331
8.3.1. Основные способы газотермического напыления и области их рационального применения	331
8.3.2. Технология напыления: подготовка изделий под напыление, применяемые материалы. Оборудование для напыления	342
9. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ СПОСОБОВ СВАРКИ	353
9.1. Расчет режимов автоматической сварки под слоем флюса	353

9.2. Расчёт режимов сварки угловых швов.....	357
9.2.1. Расчёт режимов сварки однопроходного шва.....	357
9.2.2. Расчёт режимов сварки многопроходного шва с разделкой	358
9.2.3. Расчёт режимов сварки в защитных газах плавящимся электродом	359
9.2.4. Расчет режимов сварки неплавящимся электродом.....	360
9.2.5. Расчёт режимов электрошлаковой сварки.....	361
10. ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА.....	365
10.1. Микроплазменная сварка	367
10.2. Плазменная сварка на средних токах.....	368
10.3. Плазменная сварка на больших токах.....	368
11. ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ СВАРКИ.....	371
12. СВАРКА УГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ.....	382
12.1. Сварка низкоуглеродистых конструкционных сталей.....	387
12.2. Сварка среднеуглеродистых сталей.....	388
12.3. Особенности технологии сварки низколегированных низкоуглеродистых сталей.....	390
12.4. Сварка перлитных жаропрочных сталей.....	393
12.5. Сварка высокохромистых мартенситных, мартенситно-ферритных и ферритных сталей	394
12.5.1. Сварка высокохромистых мартенситных сталей.....	395
12.5.2. Сварка мартенситно-ферритных сталей	396
12.5.3. Сварка хромистых ферритных сталей	397
13. СВАРКА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ.....	398
14. СВАРКА ЧУГУНА.....	403
15. ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ИХ ОСНОВЕ.....	413
15.1. Технология сварки алюминия и его сплавов.....	413
15.2. Технология сварки меди и ее сплавов.....	418
15.3. Сварка никеля и его сплавов.....	423
15.4. Сварка титана и его сплавов	426
15.5. Особенности сварки тугоплавких химически активных конструкционных материалов	431
16. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	436
16.1. Основные методы и материалы	436
16.2. Изготовление сопел сварочных горелок с использованием аддитивных технологий	442
17. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	445
17.1. Дефекты сварных соединений	446
17.2. Технический контроль.....	450
17.3. Методы неразрушающего контроля.....	453

17.4. Разрушающий контроль	465
17.5. Управление качеством	466
18. СВАРОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ	468
18.1. Мероприятия по уменьшению остаточных напряжений	472
18.1.1. Технологические мероприятия, выполняемые в процессе сварки.....	472
18.1.2. Технологические мероприятия, выполняемые после сварки	472
18.2. Мероприятия по уменьшению остаточных деформаций.....	473
18.2.1. Конструктивные мероприятия, выполняемые до сварки.....	473
18.2.2. Технологические мероприятия, выполняемые до сварки.....	474
18.2.3. Технологические мероприятия, выполняемые в процессе сварки двухавровой балки угловыми швами	475
18.2.4. Технологические мероприятия, выполняемые после сварки	477
19. ВОЗДЕЙСТВИЕ НАВЕДЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СВАРОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ	479
19.1. Воздействие поперечных магнитных полей на процессы сварки.....	479
19.2. Влияние продольных магнитных полей на процессы дуговой сварки	500
20. АТТЕСТАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В СИСТЕМЕ НАКС	526
21. ПРИЛОЖЕНИЕ. РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	537
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	543