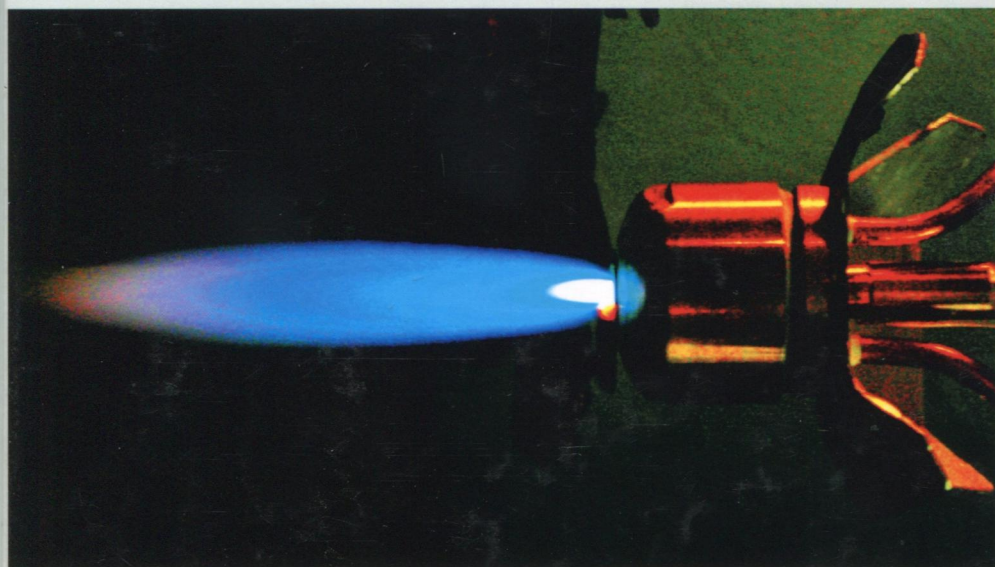


М. В. РАДЧЕНКО, Т. Б. РАДЧЕНКО, В. С. КИСЕЛЁВ

СВЕРХЗВУКОВАЯ ГАЗОПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА



«Инфра-Инженерия»

М. В. Радченко, Т. Б. Радченко, В. С. Киселёв

СВЕРХЗВУКОВАЯ ГАЗОПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА

Учебник

Под общей редакцией доктора технических наук, профессора
М. В. Радченко

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2023

УДК 621.791.7
ББК 34.641
P15

Рецензенты:

д. т. н., профессор, зав. кафедрой современных методов сварки и контроля конструкций Уфимского государственного авиационного технического университета *Валерий Владимирович Атрощенко*;
к. т. н., с. н. с., руководитель Аттестационного центра лабораторий неразрушающего контроля Головного аттестационного центра Алтайского региона НАКС *Вольферц Геннадий Анатольевич*

Радченко, М. В.

P15 Сверхзвуковая газопорошковая наплавка : учебник / М. В. Радченко, Т. Б. Радченко, В. С. Киселёв ; под общ. ред. д. т. н., проф. М. В. Радченко. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 464 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1121-9

Изложены материалы сравнительного анализа дозвуковых способов напыления и наплавки и принципиально нового авторского способа сверхзвуковой газопорошковой наплавки. Рассмотрены базовые основы конструирования сверхзвуковых сопел Лавала для газопорошковой наплавки, вопросы технологии наплавки, методов исследования технологических параметров процесса наплавки и прочностных характеристик наплавленных покрытий, а также принципы автоматизации процесса сверхзвуковой газопорошковой наплавки, диагностирования сверхзвуковых газопорошковых струй и оптимизации процесса наплавки с использованием методов математического моделирования.

Для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение», направленности (профиля) «Оборудование и технология сварочного производства», а также слушателей факультетов повышения квалификации и переподготовки кадров в области сварочного производства.

УДК 621.791.7
ББК 34.641

ISBN 978-5-9729-1121-9

© Радченко М. В., Радченко Т. Б., Киселёв В. С., 2023
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ	13
1.1 Способы напыления защитных покрытий	20
1.2 Способы наплавки защитных покрытий.....	41
1.3 Комбинированные способы создания защитных покрытий.....	65
1.4 Выбор способа нанесения защитного покрытия.....	72
1.5 Материалы для создания защитных покрытий	79
1.5.1 Напыляемые материалы.....	81
1.5.2 Наплавочные материалы	88
1.5.3 Выбор материала для наплавки защитных покрытий.....	90
2 УСТАНОВКИ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ	91
2.1 Дозвуковые газопламенные установки	96
2.2 Сверхзвуковые газопламенные установки	102
2.3 Горелочные устройства сверхзвуковых газопламенных установок	113
2.4 Порошковые питатели	120
3 ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ УСТАНОВОК ДЛЯ ГАЗОПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ	138
3.1 Расчет сверхзвукового сопла Лавалья	141
3.2 Сверхзвуковые и дозвуковые газопламенные наплавочные сопла.....	148
3.2.1 Конструкция первого опытного сверхзвукового наплавочного сопла.....	148
3.2.2 Дозвуковые наплавочные сопла	149
3.2.3 Технические характеристики газопламенных наплавочных сопел	151
3.3 Схемы подачи наплавочного порошка для СГП наплавки	166
3.4 Конструирование сверхзвуковых газопорошковых сопел для СГП наплавки.....	170
3.4.1 Определение длины цилиндрического участка сопла Лавалья	170
3.4.2 Конструкция пистолета с соплом М5 и радиальным подводом порошка.....	171
3.4.3 Защита основных узлов сверхзвуковой газопорошковой наплавочной установки	173
3.5 Автоматизация установки СГП наплавки.....	177
3.6 Конструкция универсальной сверхзвуковой наплавочной газопорошковой установки.....	180
4 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ ДОЗВУКОВОЙ И СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОПОРОШКОВЫХ НАПЛАВОК	187
4.1 Технологические параметры дозвуковой и сверхзвуковой газопорошковых наплавок.....	187
4.2 Оценка качества свойств защитных покрытий, выполненных до- и сверхзвуковой газопорошковыми наплавками	192

4.3	Механические и эксплуатационные свойства защитных покрытий, выполненных дозвуковой газопорошковой наплавкой	199
4.3.1	Структура металлов основного и защитного покрытия.....	202
4.3.2	Фазовый состав защитного покрытия.....	205
4.3.3	Механические свойства наплавленных покрытий.....	206
4.3.4	Износостойкость защитных покрытий, наплавленных способом дозвуковой ГПН	209
4.4	Механические и эксплуатационные свойства защитных покрытий, выполненных сверхзвуковой газопорошковой наплавкой	213
4.4.1	Микроструктура защитных покрытий	216
4.4.2	Фазовый состав защитных покрытий.....	219
4.4.3	Микротвердость защитных покрытий	221
4.4.4	Износостойкость защитных покрытий, наплавленных способом сверхзвуковой ГПН.....	228
4.5	Сравнительный анализ свойств защитных покрытий при дозвуковой и сверхзвуковой газопорошковой наплавке	230
4.6	Формирование свойств защитных покрытий сверхзвуковой газопорошковой наплавкой	235
5	АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СГП-НАПЛАВКИ	241
5.1	Принципы построения систем управления газопламенных установок	241
5.2	Параметры управления СГП-наплавкой	251
5.3	Автоматическое управление СГП-наплавкой	264
5.3.1	Алгоритм САУ параметрами расхода рабочих газов.....	266
5.3.2	Структурная схема САУ параметрами расхода газов	269
5.3.3	Программное управление газорегулирующей системой СГП-наплавки.....	276
5.4	Система автоматического управления СГП наплавкой	291
5.4.1	Средства измерения технологических параметров СГП-наплавки ..	291
5.4.2	Определение рабочих диапазонов горючих газов	298
5.4.3	Взаимосвязь диапазона рабочих газов и мощности газопламенной струи	301
6	ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВЫХ СТРУЙ НА КАЧЕСТВО НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ	307
6.1	Техническое обеспечение измерений технологических параметров СГП-наплавки	307
6.1.1	Измерение расхода рабочих газов	307
6.1.2	Измерение температуры СГП струи	309
6.1.3	Регистрация спектра СГП струи.....	310
6.1.4	Измерение скорости пролёта порошковых материалов в СГП струе.....	312
6.2	Обеспечение достоверности результатов измерений.....	320

6.3 Влияние технологических параметров газовых струй на качество наплавленных покрытий.....	324
6.3.1 Соотношение рабочих газов при наплавке газовыми струями	324
6.3.2 Распределение температуры нагрева по длине сверхзвуковой газовой струи.....	328
6.3.3 Распределение температуры по длине сверхзвуковой газопорошковой струи.....	344
6.3.4 Распределение частиц порошкового сплава в СГП струе	349
7 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ СПОСОБОМ СГП-НАПЛАВКИ.....	353
7.1. Планирование эксперимента.....	353
7.2 Программные средства обобщения характеристик наплавленных покрытий, определяющих их качественные параметры	357
7.2.1 Программные продукты для моделирования и прогнозирования свойств сварных соединений	359
7.2.2 Программные продукты для моделирования и прогнозирования свойств защитных покрытий.....	371
7.3 Безразмерные критерии оценки качества процесса СГП-наплавки.....	376
7.4 Прогнозирование эксплуатационных свойств покрытий, наплавленных СГП струей	388
7.4.1 Основные факторы, определяющие качество наплавленного защитного покрытия	388
7.4.2 Регрессионный анализ в процессах СГП наплавки защитных покрытий.....	391
7.4.3 Термические циклы при нагреве газовыми струями.....	399
7.5 Структуры и свойства защитных покрытий, наплавленных СГП наплавкой.....	401
7.5.1 Выбор режимов наплавки	401
7.5.2. Исследование структуры наплавленного слоя.....	402
7.5.3 Аппаратура, материалы и методики экспериментальных исследований процесса СГП-наплавки.....	409
8 ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ СГП НАПЛАВКИ	412
8.1 Первая отечественная технологическая аппаратура для СГП наплавки.....	412
8.2 Насосное оборудование	415
8.3 Теплоэнергетические установки.....	424
8.4 Метод прогнозирования качества покрытий при СГПН.....	428
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	432
ПРИЛОЖЕНИЕ А	
Сравнение устройств термического напыления	444

ПРИЛОЖЕНИЕ Б	
Основные схемы электрошлаковой наплавки	447
ПРИЛОЖЕНИЕ С	
Патент на полезную модель №60410	448
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	
Типы программируемых логических контроллеров.....	450
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	
Акты внедрения СГП-наплавки	457