

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»

Руководитель ВКР

к.т.н., доцент А.О. Кривенков

подпись

« 30 » декабря 2018 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 15МТ1 Факультета машиностроения и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Лазаревой Ольге Дмитриевне.

Тема работы: Исследование влияния технологических параметров сварки взрывом на механические свойства и структуру композиционного металлического материала Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13.

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1 Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению ВКР.	30.12.2018	31.12.2018	<i>выполнено</i>
2 Подбор и изучение рекомендованной литературы.	31.12.2018	20.01.2019	<i>выполнено</i>
3 Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	21.01.2019	31.01.2019	<i>выполнено</i>
4 Литературный и патентный поиск по теме исследования. Теоретический анализ метода обработки изделий, физических основ метода ударно-волнового нагружения.	01.02.2019	14.02.2019	<i>выполнено</i>
5 Обоснование применяемых методов исследования, оборудование и методика планируемых экспериментов. Разработка программы эксперимента и его осуществление. Написание второго раздела работы.	15.02.2019	15.03.2019	<i>выполнено</i>
6 Экспериментальный раздел – описание результатов исследования и выявленных зави-	16.03.2019	17.04.2019	<i>выполнено</i>

7 Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	18.04.2019	12.05.2019	Выполнено
8 Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	13.05.2019	03.06.2019	Выполнено
9 Представление ВКР руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	04.06.2019	06.06.2019	Выполнено
10 Предварительная защита ВКР	07.06.2019	07.06.2019	Выполнено
11 Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с графической частью, протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	08.06.2019	20.06.2019	Выполнено
12 Защита выпускной квалификационной работы	21.06.2019	21.06.2019	Выполнено

Прохождение каждого этапа подготовки ВКР подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 15MT1 О.Д. Лазарева
«30» декабря 2018 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пензенский государственный университет»

ОТЗЫВ

**РУКОВОДИТЕЛЯ О ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
БАКАЛАВРА**

Студентка группы 15MT1: Лазарева Ольга Дмитриевна

Тема: «Исследование влияния технологических параметров сварки взрывом на механические свойства и структуру композиционного металлического материала Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13».

Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов», профиль подготовки – «Материаловедение и технология материалов».

Выпускная квалификационная работа содержит 57 страниц, презентацию.

Объектом исследования является композиционный материал на основе Сталь 20Х13 и Сталь 65Х13, полученный методом ударно-волнового нагружения.

Предметом исследования являются механические свойства полученных материалов.

Целью ВКР является исследование структуры и механических свойств композиционного материала на основе Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13, полученного сваркой взрывом.

Задачи ВКР: провести анализ способов получения композиционных материалов, обосновать выбор метода получения, изучить технологические основы ударно-волнового нагружения, обосновать выбор материала для дальнейших исследований, изучить методики исследования механических свойств композиционных материалов, исследовать влияние параметров сварки взрывом на микроструктуру и механические свойства разработанных материалов.

Пояснительная записка и презентация выполнены в соответствии с ГОСТ и ЕСКД. В презентации ВКР автор приводит: цели и задачи ВКР; анализ способов получения КМ; особенности процесса сварки взрывом; обоснование выбора исходного материала; примеры параметров и принципиальной схемы сварки взрывом; методики и результаты исследования микроструктуры и механических свойств композиционных металлических материалов на основе стали.

Лазарева О.Д. относится к числу инициативных студентов, умеющих планировать время выполнения работы и способных самостоятельно принимать рациональные решения. Адекватна, убеждаема, с коллегами поддерживает

хорошие отношения. Задание по календарному плану выполняла в срок, на достаточно хорошем теоретическом и практическом уровне.

За время выполнения выпускной квалификационной работы Лазарева О.Д. показала себя технически грамотным студентом, обладающим современными методами решения профессиональных задач и навыками проведения научных исследований.

Выполненная работа соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам.

Считаю, что выпускная квалификационная работа заслуживает оценки «отлично», а ее автор Лазарева О.Д. присвоения квалификации бакалавр по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов» и профилю подготовки «Материаловедение и технология материалов».

Отзыв составил
доцент каф. «СЛПиМ»
ФГБОУ ВО «ПГУ»
к.т.н., доцент

 Кривенков А.О.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет

Кафедра

машиностроения и транспорта
(наименование)

Сварочное, литейное производство
и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

22.03.01 «Материаловедение и технология
материалов»
(код и наименование)

«Материаловедение и технология
материалов»
(наименование)

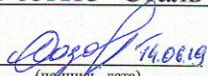
Профиль

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

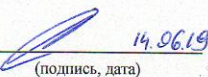
«Исследование влияния технологических параметров сварки
взрывом на механические свойства и структуру
композиционного металлического материала Сталь
20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13»

Студент


(подпись, дата)

Лазарева Ольга Дмитриевна
(ф.и.о. полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент


(подпись, дата)

Кривенков А.О.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент


(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 06.06.19 № 13)

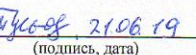
Заведующий кафедрой


(подпись, дата)

Розен А.Е.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 21.06.19 № 3)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент


(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Исследование влияния технологических параметров сварки взрывом на механические свойства и структуру композиционного металлического материала Сталь 20Х13+ Сталь 65Х13+ Сталь 20Х13».

студентки 4 курса Лазаревой Ольги Дмитриевны

(И.О. Фамилия)

направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»,
профиль «Материаловедение и технология новых материалов».

Руководитель ВКР Кривенков Алексей Олегович, к.т.н., доцент каф. «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Результат проверки на плагиат бакалаврской работы Лазаревой Ольги Дмитриевны составляет 73 % оригинальности, что соответствует существующим требованиям стандарта СТО ПГУ 3.12-2018. Выпускная квалификационная работа может быть рекомендована к защите.

СКРИНШОТ

отчета о проверке



Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Акимова Ольга Борисовна metat@pnzgu.ru / ID: 254
Проверяющий: Акимова Ольга Борисовна (metat@pnzgu.ru / ID: 254)
Организация: Пензенский государственный университет
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://pnzgu.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 452
Начало загрузки: 14.06.2019 11:50:28
Длительность загрузки: 00:00:14
Имя исходного файла: ВКР_Лазарева_15MT1
Размер текста: 3254 кБ
Тип документа: Выпускная квалификационная работа
Символов в тексте: 75528
Слов в тексте: 8886
Число предложений: 689

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
Начало проверки: 14.06.2019 11:50:43
Длительность проверки: 00:03:05

Комментарий: не указано

Модули поиска: Модуль поиска ИПС "Адилет", Модуль выделения библиографических записей, Сводная коллекция ЭБС, Коллекция РГБ, Цитирование, Модуль поиска переводных заимствований, Коллекция eLIBRARY.RU, Коллекция ГАРАНТ, Модуль поиска Интернет, Коллекция Медицина, Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU, Модуль поиска перефразирований Интернет, Коллекция Патенты, Модуль поиска "ПГУ", Модуль поиска общепотребительных выражений, Кольцо вузов



ЗАИМСТВОВАНИЯ	ЦИТИРОВАНИЯ	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
18,51%	8,44%	73,05%

14.06.2019.
(дата)

А.О. Кривенков
(И.О. Фамилия руководителя ВКР)

Ректору Пензенского государственного
университета
А. Д. Гулякову
студентки 4 курса ФМТ очной формы
обучения

Лазаревой Ольги Дмитриевны
(фамилия, имя, отчество)

ЗАЯВЛЕНИЕ

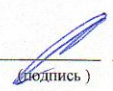
Я, Лазарева Ольга Дмитриевна, студентка 4 курса очной формы обучения направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», бакалаврская программа «Материаловедение и технологии материалов», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» выпускной квалификационной работы на тему – «Исследование влияния технологических параметров сварки взрывом на механические свойства и структуру композиционного металлического материала Сталь 20Х13+ Сталь 65Х13+ Сталь 20Х13», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлена с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.


(подпись студента)
14.06.2019
(дата)

ВКР представлена на проверку 14.06.2019г.
(дата)

Руководитель ВКР  А.О. Кривенко
(подпись) (И.О.Фамилия)

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «СВАРОЧНОЕ, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПиМ
д.т.н., профессор А.Е. Розен

подпись
«30» декабря 2018 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 15МТ1 Факультета машиностроения и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Лазаревой Ольге Дмитриевне.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Кривенков А.О.

Время выполнения ВКР: с 30.12.2018 г. по 06.06.2019 г.

Место преддипломной практики: кафедра «Материаловедение и технология материалов» ПГУ.

Тема работы: *Исследование влияния технологических параметров сварки взрывом на механические свойства и структуру композиционного металлического материала Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13*

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 1273/0 от 29.12.2018 г.

Техническое задание на работу (назначение устройства, условия применения, внешние воздействия, специальные требования и т.п.): *выполнить исследование влияния режимов метода сварки взрывом на структуру и механические свойства металлического композиционного материала.*

Объём и содержание основной части работы

Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):

- введение с обоснованием актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;
- теоретический анализ – методы обработки изделий и физические основы метода сварки взрывом;
- исследовательский раздел – методы оценки механических свойств металлических композиционных материалов;
- экспериментальный раздел – описание результатов исследования и выявленных зависимостей;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результа-

Презентация бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- цели и задачи выпускной работы 1л А4;
- обоснование материала для создания металлического КМ 1л А4;
- характеристика и область применения композиционных материалов, полученных сваркой взрывом; 1л А4;
- обоснование выбора параметров и принципиальной схемы сварки взрывом 1л А4;
- технологические параметры сварки взрывом образцов исследуемого композиционного материала; 1л А4;
- оборудование для термической обработки композита; 1л А4;
- оборудование для исследования микроструктуры КМ на основе стали; 1л А4;
- оборудование для испытаний композиционных материалов на одноосное растяжение; 1л А4;
- оценка качества экспериментальных образцов композиционных металлических материалов, полученных сваркой взрывом; 1л А4;
- исследование микроструктуры экспериментальных образцов композиционного металлического материала; 1л А4;
- результаты испытаний на одноосное растяжение (прочность на растяжение) экспериментальных образцов; 1л А4;
- основные выводы 1л А4.

Рекомендуемая литература:

1. Достижения в области композиционных материалов [Текст]: сборник научн.тр. / под ред. Дж. Пиатти.- М.: Металлургия, 1982. - 304 с.
2. Сварка и резка материалов [Текст]: учеб. пособие для нач. проф. образования / М.Д. Банов [и др.]; под ред. Ю.В. Казакова. - М.: Издательский центр «Академия», 2010. - 400 с.
3. Металлы. Методы испытаний на растяжение [Текст]: ГОСТ 1497-84. - Введ. 1986-01-01.- М.: Стандартиформ, 1984.- 22с.: ил.

Руководитель ВКР:

к.т.н, доцент

 А.О. Кривенков

Задание к исполнению принял студент

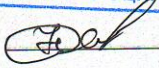
гр. 15MT1

30 декабря 2018 г.

 О.Д. Лазарева

Выпускную квалификационную работу к защите
Декан факультета машиностроения и транспорта
Политехнического института ПГУ

ОПОП освоена в полном объеме.
Допустить к защите
Допустить к аттестации

 С.Ю. Киреев

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 57 с., 26 рис., 12 табл., 26 использованных источников.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, СВАРКА ВЗРЫВОМ, МНОГОСЛОЙНЫЙ МАТЕРИАЛ, ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК, ПРОЧНОСТЬ, МИКРОСТРУКТУРА

Объектом исследования является композиционный материал на основе Сталь 20Х13 и Сталь 65Х13, полученные методом ударно-волнового нагружения.

Предметом исследования являются механические свойства, полученных материалов.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является: исследование структуры и механических свойств композиционного материала на основе Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13, полученного сваркой взрывом.

Методы исследования – микроструктурный анализ, испытания на одноосное растяжение (прочность на растяжение).

Полученные результаты – обоснована эффективность применения технологии сварки взрывом для повышения механических свойств композиционных материалов на основе стали.

Область применения – в различных отраслях промышленности: военная техника, химическое и энергетическое машиностроения, металлургия.

Эффективность полученных результатов выражается в повышении механических свойств композиционных материалов на основе разнородных сталей, полученных ударно-волновым нагружением.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.13ПС107.ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Исследование влияния технологических параметров сварки взрывом на механические свойства и структуру композиционного металлического материала Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13	Лит.		Лист	Листов	
Разраб.		Лазарева О.Д.						2	57	
Провер.		Кривенков А.О.								
Н.контр		Хорин А.В.								
Утверд.		Разен А.Е.								
						Каф.СЛПМ				
						гр.15МТ1				

Содержание

Введение.....	5
1 Методы обработки изделий.....	7
1.1 Обзор и оценка существующих методов повышения физико-механических свойств композиционных материалов	7
1.2 Перспективность использования способа сварки взрывом	10
1.2.1 ООО «Битруб Интернэшнл».....	11
1.2.2 НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» ..	12
1.2.3 ООО «Биметалл».....	14
1.3 Патентное исследование	16
2 Физические основы метода ударно-волнового нагружения.....	21
2.1 Выбор материала для создания металлического композиционного материала	21
2.2 Обоснование выбора параметров и принципиальной схемы сварки взрывом	24
3 Методы оценки механических свойств металлических композиционных материалов	31
3.1 Оборудование для обработки и исследования композиционных материалов	31
3.1.1 Оборудование для термической обработки КМ.....	31
3.1.2 Оборудование для исследования микроструктуры композиционного материала	33
3.1.3 Оборудование для испытаний композиционных материалов на одноосное растяжение	36
4 Результаты исследований образцов композиционных металлических материалов	39
4.1 Оценка качества экспериментальных образцов композиционных металлических материалов, полученных сваркой взрывом	39
4.2 Исследование микроструктуры экспериментальных образцов композиционных металлических материалов.....	41

4.3 Исследование на одноосное растяжение экспериментальных образцов композиционных металлических материалов	42
Заключение	52
Список использованных источников	54
Приложение А	56

Введение

Создание новой современной техники и совершенствование предыдущих технологических разработок вызывает необходимость поиска и создания новых материалов, имеющих конструкционное и функциональное назначение. Новым видом таких материалов, обладающих широким набором эксплуатационных свойств, которые не могут быть достигнуты при использовании традиционных материалов, являются композиционные материалы [1].

Композиционные материалы (КМ) – многосоставные материалы, обычно состоящие из пластичной матричной основы, с распределенными в ней армирующими волокнами или дисперсными частицами; при этом выгодно используют индивидуальные свойства компонентов состава. Сочетание разнообразных веществ приводит к созданию нового материала, чьи свойства заметно отличаются от свойств каждого из его компонентов. Широкий спектр материалов с требуемым набором свойств получают, варьируя состав, количественный состав наполнителей и матрицы, ориентацию наполнителя [2, 3].

Выпускная квалификационная работа направлена на изучение свойств нового композиционного металлического материала, структуры и свойств отдельных слоев которого повысят ресурс работы режущего инструмента бытового и специального назначения, работающего в условиях контактной усталости, истирания, коррозионного воздействия и адгезии.

Объектом исследования является композиционный материал на основе Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13, полученный методом ударно-волнового нагружения.

Предметом исследования являются механические свойства, полученных материалов.

Целью выпускной квалификационной работы (далее – ВКР) является: исследование структуры и механических свойств композиционного материала Сталь 20Х13+Сталь 65Х1+Сталь 20Х13, полученного сваркой взрывом (СВ).

Задачами данной ВКР являются:

					ПГУ.ВКР.22.03.01.13ПС107.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- провести анализ способов получения композиционных материалов, обосновать выбор метода получения;
- изучить технологические основы ударно-волнового нагружения;
- обосновать выбор материала для дальнейших исследований;
- изучить методики исследования механических свойств композиционных материалов;
- исследовать влияние параметров сварки взрывом на механические свойства разработанных материалов.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.13ПС107.ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Методы обработки изделий

1.1 Обзор и оценка существующих методов повышения физико-механических свойств композиционных материалов

В настоящее время отрасли науки и производства, связанные с разработкой новых композиционных материалов, развиваются наиболее динамично. Специалистами разработано и исследовано огромное количество композиционных материалов. Анализ перспектив развития производства композитов показывает, что в ближайшее время номенклатура этих материалов будет стремительно расширяться. Для того чтобы систематизировать КМ по различным признакам, грамотно реализовать процедуру выбора КМ для изготовления различных деталей, упорядочить терминологию в области материаловедения композитов, необходима обоснованная классификация этих материалов.

Современные технологии позволяют создавать композиционные материалы с заданными свойствами. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно, в зависимости от назначения, получать КМ с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать материалы с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами.

КМ классифицируют по нескольким признакам:

- материалы матрицы и арматуры;
- форма и расположение структурных составляющих;
- методы получения;
- области применения.

Форма наполнителя наряду с его размерами существенно влияет на механические свойства КМ. Матрицы армируют частицами, волокнами (непрерывными или дискретными) и нитевидными кристаллами. Применяют и гибридные КМ с различными армирующими компонентами. В качестве примера полиармированного (гибридного) КМ можно указать стеклоуглепластик, армированный стеклянными и углеродными волокнами.

Многослойные КМ делятся на ламинаты и гибриды. Ламинаты состоят из нескольких однонаправленных слоев, уложенных в различных направлениях и имеющих определенную последовательность укладки слоев. Обычно ламинат содержит от 4 до 40 слоев, ориентация волокон в которых определенным образом меняется по толщине пластины.

По материалу матрицы различают следующие виды КМ:

- Металлические КМ. Чаще всего в качестве матрицы используют алюминий, магний, титан, медь и сплавы на их основе.
- Керамические КМ. В качестве матрицы используются оксиды, карбиды, нитриды и различные сочетания неорганических соединений, как правило, обладающие жаропрочностью.
- Углеродные КМ на основе углеродных матриц (часто в сочетании с углеродными волокнами – углерод-углерод КМ).
- Полимерные КМ (ПКМ) с использованием эпоксидных, полиэфирных и других термоактивных смол и полимерных термопластов. Наибольшее распространение получили ПКМ, армированные углеродными, борными, органическими волокнами.

Различные металлы армируют для повышения жесткости, прочности, теплостойкости, снижения теплового расширения и износа при трении. Металлические матрицы упрочняют частицами различных форм и размеров, непрерывными и дискретными волокнами. Например, армирование алюминия высокопрочной стальной проволокой резко повышает предел прочности (до 1500 МПа). Используют также углеродные волокна, которые пропитывают жидким алюминием или протягивают пучки волокон через расплав. Углеалюминий отличается высокой циклической прочностью ($\sigma_{-1}=300$ МПа), не уступая легированным сталям и сплавам титана, но не обладает коррозионной стойкостью.

Методом порошковой металлургии могут быть получены материалы со степенями армирования ≥ 50 %. Впрочем, обычно степень армирования не превышает 25 % для сохранения вязкости разрушения материала. Если пла-

стична не только матрица, но и наполнитель, КМ можно получать волочением. Так, например, производят КМ, состоящие из металлической матрицы и металлических волокон. Этот метод используется для получения мультиволокнистых сверхпроводников.

Наиболее распространены порошковые методы получения КМ, упрочненных дисперсными частицами. Заготовки можно получать горячей экструзией смеси порошков. При последующей деформации прокаткой и волочением упрочняющие частицы измельчаются. Листы и ленты получают горячей и холодной прокаткой. Деформированные заготовки термообработывают для стабилизации структуры, повышения пластичности и жаропрочности.

Методами порошковой металлургии получают смесь порошков металлов с различными температурами плавления, формуют из них брикеты требуемой формы и плотности, которые затем подвергают жидкофазному спеканию, сопровождающемуся дополнительным уплотнением. После нагрева до температуры, превышающей температуру плавления низкотемпературного компонента, образуется и постепенно заполняет поры жидкая фаза. При этом могут происходить процессы растворения-осаждения.

Слоистые КМ можно получать методами пакетной прокатки и технологией сварки взрывом. При этом соединение образуется в твердой фазе. Метод сварки взрывом не требует нагрева перед деформацией, поэтому сохраняется высокая прочность армирующих элементов. Таким способом получают многослойные листы, полосы, цилиндрические заготовки и т.д. При соударении слоев имеет место значительная пластическая деформация поверхностных элементов и их местный адиабатический нагрев, приводящие к образованию прочного сварного соединения. Слои разнородных металлов соединяются вследствие диффузии с образованием интерметаллидных прослоек, существенно влияющих на получаемые свойства. Например, слоистые КМ Ti-Fe сохраняют прочность при температуре от плюс 600 до плюс 850 °С, превышающую от 4 до 9 раз жаропрочность исходных материалов и жаропрочность высоколегированных сталей.

В моей дипломной работе рассмотрены композиционные материалы. Их основное преимущество перед монометаллами – улучшенные свойства, дешевизна, в свою очередь монометаллы обладают ограниченными свойствами и зачастую требуют дополнительной обработки.

1.2 Перспективность использования способа сварки взрывом

Сварка взрывом относится к разновидности сварки давлением и является одним из перспективных способов получения композиционных материалов различного назначения. Неподвижную пластину и μεταаемую пластину располагают на заданном расстоянии. На μεταаемую пластину укладывают заряд взрывчатого вещества с детонатором. Сварка производится на опоре (металлическая плита, бетон, песок и т.д.). При инициировании по заряду взрывчатого вещества распространяется фронт детонации. Под действием высокого давления расширяющихся продуктов взрыва μεταаемая пластина приобретает скорость порядка нескольких сотен метров в секунду и соударяется с неподвижной пластиной, в результате чего образуется сварное соединение. Разработаны технологии сварки взрывом изделий плоской и цилиндрической геометрии, а также сварки целых конструкций.

Высокопроизводительный и экономичный процесс сварки взрывом позволяет получать соединения практически любых разнородных металлов и сплавов с прочностью на уровне прочности основных металлов. Так, получение крупногабаритных заготовок биметаллов титан-сталь, алюминий-сталь, цирконий-сталь, и многих других возможно только с помощью сварки взрывом.

Сварка взрывом – уникальный метод, позволяющий получить зону сплошного соединения по поверхностям двух и более металлов или сплавов площадью до десятков квадратных метров. При этом наносимый слой может иметь толщину от 0,1 мм до 30 мм, а толщина металла-основы не ограничена.

Методом сварки взрывом можно получать разнообразные биметаллические, многослойные и композиционные материалы с улучшенными прочностными, коррозионно-стойкими, жаропрочными и другими свойствами для нужд химического машиностроения, нефтегазовой, алюминиевой, электротехнической и других отраслей промышленности. Номенклатура материалов, сваренных взрывом, достаточно велика и постоянно расширяется. Из вышеприведенного следует, что сварка взрывом прочно занимает свою нишу, но для других, наиболее распространенных и востребованных областей не перспективна [2].

Как в России, так и за рубежом проводятся исследования, направленные на получение композиционных материалов повышенной механической прочности, армированных неметаллическими волокнами, дисперсными частицами и пространственными армирующими компонентами.

В России исследованием композиционных материалов занимаются множество предприятий и учреждений. Ведущее место занимает ООО «Битруб Интернэшнл».

1.2.1 ООО «Битруб Интернэшнл»

С 2004 года «Битруб» осуществляет промышленный выпуск биметалла методом сварки взрывом в Подмосковье на территории и совместно с ФКП НИИ «Геодезия». Свою историю «Битруб» начал в Барнауле в 1992 г., как российско-корейское предприятие для поиска и продвижения на корейский рынок российских технологий, в том числе по нанесению покрытий на металлы для защиты от коррозии и износа. Предприятие является основным производителем в России биметалла сваркой взрывом и имеет мощности для производства от 7 до 8 тысяч м² биметалла в год. ООО «Битруб Интернэшнл» в производстве использует ряд своих оригинальных разработок и ноу-хау. Преимущества предприятия – соединение науки и производства, тесное сотрудничество с институтами РАН (ИСМАН г. Черноголовка), научными центрами

ГНЦ НПО ЦНИИТМАШ (г. Москва, университетами АлтГТУ (г. Барнаул), ФГБОУ ВО ПГУ (г. Пенза), ФГУП ЦНИИ КМ «ПРОМЕТЕЙ», ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина».

Качество биметалла обеспечивается современной технологией производства и соответствует ГОСТ 10885-85 [3] по сплошности сцепления слоёв нулевому и первому классу при 100 % ультразвуковом контроле. Каждая партия биметалла сопровождается сертификатом, в который заносятся данные заводов изготовителей металла основного и плакирующего слоёв, результаты испытаний прочности соединения слоёв в биметалле на срез, отрыв и изгиб. Требования к биметаллу, объём испытаний уточняется в протоколе поставки или техническом задании при заключении договора. Поставка может производиться по техническим условиям ТУ 27.32.09.010-2005 [4] и ТУ 27.81.09.009-2005 [5].

Данное предприятие имеет ряд технологических преимуществ:

- Возможно изготовление биметалла из практически любых сталей и сплавов.
- Мобильность технологии: возможно производство биметалла практически любого сортамента с толщиной основного слоя от 8 мм (по согласованию сторон от 6 мм) до 500 мм (09Г2С, 12ХМ различной категории прочности, ст.20, 22К, Ст.3сп и др) и плакирующего слоя от 1 мм до 25 мм (08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х13 и других высоколегированных сталей и их зарубежных аналогов *Tr321, Tr316Ti, Tr316L, Tr410 ASTM* и др), из титана марки ВТ1-0, меди М1, М0, латуни Л-63 и Л59, никелевых и хромоникелевых сплавов.
- Круглогодичность производства [6].

1.2.2 НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

Крупнейший межотраслевой материаловедческий центр страны, признанный лидер в области разработки принципиально новых, имеющих об-

					ПГУ.ВКР.22.03.01.13ПС107.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

щегоосударственное значение перспективных материалов и технологий, обеспечивающих решение задач научно-технического развития промышленности и сохранение обороноспособности государства. Предприятие сохраняет статус государственного научного центра Российской Федерации (ГНЦ РФ) с 1994 года.

Разработки «Прометей» направлены на развитие ключевых отраслей промышленности: судостроения, атомной, тепловой и гидроэнергетики, газодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, машиностроения и военной техники, где изделия, конструкции и оборудование работают в экстремальных условиях эксплуатации. Коллектив института насчитывает более 1300 человек, основой которого являются известные ученые и специалисты в области металловедения, металлургии, сварки, неметаллических композиционных материалов, нанотехнологий.

Основная научно-техническая деятельность НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» сосредоточена на следующих направлениях:

- конструкционные стали и функциональные материалы для морской техники;
- материалы энергетических установок;
- титановые сплавы и сплавы алюминия;
- неметаллические материалы и защита от коррозии.

По каждому из перечисленных направлений специалисты института проводят весь комплекс работ – от выбора и создания материала до контроля, за его поведением в процессе эксплуатации при различных условиях, в том числе экстремальных.

В качестве плакирующего слоя на предприятии применяется титановый сплав ВТ1-0, нержавеющие стали типа 0Х18Н10Т, медь, медно-никелевые и алюминиевые сплавы толщиной от 0,5 до 16 мм [7].

1.2.3 ООО «Биметалл»

К основным видам деятельности ООО «Биметалл» относится изготовление сваркой взрывом двухслойного листа (биметалла) для предприятий химического и энергетического машиностроения, а также слоистых металлических композиционных материалов и конструкций на их основе для различных отраслей промышленности: судостроения, энергетических и металлургических производств. Ассортимент продукции:

- Сталь листовая двухслойная коррозионно-стойкая марок 12ХМ+08Х18Н10Т, 09Г2С+08Х13, 09Г2С+06ХН28МДТ (904L) и др. Габаритные размеры: ширина до 2000 мм, длина до 8000 мм, толщина от 10 до 200 мм (плакирующего слоя от 0,5 до 30 мм).
- Биметаллические заготовки трубных решеток марок 09Г2С+08Х13, 09Г2С+Л63.
- Биметаллические медно-алюминиевые и медно-стальные композиты
- Биметалл Сталь+Алюминиевые сплавы марок: Ст.3+АМг5; 12Х18Н10Т+АМг6; 10ХСНД+1561 [8].

Также неотъемлемый вклад в развитие исследований биметаллов вносят ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», а также ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (ПГУ).

Использование композиционных материалов, обладающих повышенной механической прочностью, износостойкостью и теплозащитными свойствами, за счет применения армирования на основе интерметаллического упрочнения и создания на их поверхности оксидо-керамических покрытий,

позволяет экономить дорогостоящие высоколегированные специальные сплавы.

На основании вышеперечисленного составлена таблица 1.1, отражающая деятельность создания КМ изделий в России.

Таблица – 1.1 Характеристика и область применения композиционных материалов, полученных сваркой взрывом, которые изготовлены на территории РФ

Параметр	Значение
Сортамент	Лист, труба
Толщина основного слоя, мм	8,0...500,0
Толщина плакирующего слоя, мм	1,0...30,0
Марка стали	09Г2С, 0Х18Н10Т, Ст.3+АМг5, 08Х13, ВТ1-0 и др.
Применение	Судостроение, атомная, тепловая и гидроэнергетика, газодобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность, военная техника, химическое и энергетическое машиностроения, металлургия

Таким образом, из таблицы 1.1 видно, что композиционные материалы могут быть как листовыми, так и в виде труб из различных сочетаний материалов и толщин. При этом данная технология имеет широкое применение в России.

Что же касается зарубежных компаний, то лидером на рынке является *Dynamic Materials Corporation (DMC)*, которая занимается взрывоопасной металлообработкой. *Lockheed, Aerospace Corporation Monjoe Scientific*, занимается космическим и оборонным производством. Компания *Kumamoto University* (Япония) получает армированный композиционный материал путем поверхностного упрочнения за счет внедрения в металлические материалы неметаллических дисперсных частиц.

Таким образом, показана актуальность использования технологии сварки взрывом для получения КМ из различных металлов и сплавов, в том числе

и разнородных, обладающих высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных характеристик как в России, так за рубежом.

1.3 Патентные исследования

Патентное исследование (патентно-информационный поиск, патентный поиск) – это исследования технического уровня, тенденций развития объектов техники, патентной чистоты, их эффективности использования по назначению. Исследования проводятся на основе анализа источников патентной информации при разработке научно-технических прогнозов, планов развития науки и техники, создания научных исследований и разработок, освоения и производстве продукции. Объем источников научно-технической информации зависит от объекта и задачи исследований.

Цель исследований – выявить патентный и научно-технический информационный поиск позволяющий исследовать технический уровень и технологию получения трехслойных композиционных материалов с высокими механическими свойствами.

Регламент патентного поиска – это план поиска, состоящий из определения вида исследований, вида поиска, его глубины или ретроспективности (количества лет) и его широты: перечня стран, которыми ограничивают объем поиска. В регламент входит выбор источников информации, по которым будет вестись поиск аналогов объекта, а также индекс МПК (международная патентная классификация). Источники информации выбирают исходя из установленных глубины и широты поиска, учитывая при этом реальную доступность этих источников.

Выбранные элементы регламента поиска приведены в таблице 1.2. В ней записаны также индексы МПК. В заголовке таблицы регламента указано общее название исследуемого объекта.

Исследуемым объектом является сварка взрывом и композиционные материалы на основе стали.

Предметом поиска являются композиционные материалы, многослойный материал и сварка взрывом.

Вид исследований и вид поиска: патентные исследования.

Наименование информационной базы (фонда): Патентные фонды ФИПС, Ведомством по патентам и товарным знакам США.

Таблица 1.2 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источник информации
Композиционные материалы	B32B15/04 B32B15/18	Россия, США	10 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС, Ведомство по патентам и товарным знакам США
Многослойный материал	B22F7/04	Россия	10 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС, Ведомство по патентам и товарным знакам США
Сварка взрывом	B23K20/08	Россия	10 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС, Ведомство по патентам и товарным знакам США

B32B15/04 – Слоистые изделия, содержащие в основном металл со слоями, один из которых выполнен из металлов, являющихся основной или единственной составной частью его, а другой, расположенный рядом с ним, выполнен целиком из специфицированного материала.

B32B15/18 – Слоистые изделия, содержащие в основном металл содержащие чугун или сталь.

B23K 20/08 – Неэлектрические способы сварки с использованием ударного или другого давления с применением нагрева или без него, например нанесение покрытий или плакировка с использованием импульсов высокой мощности, например магнитной энергии сварка взрывом.

B22F7/04 – Изготовление составных слоистых материалов, заготовок или изделий с использованием металлических порошков путем спекания порошка с одновременным уплотнением или без него составных слоистых материалов с одним или несколькими слоями, выполненными не из порошка, например выполненными из сплошного металла.

В результате были отобраны несколько патентов для дальнейшего анализа. Результаты данного анализа представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты анализа

Предмет поиска	Страна выдачи, номер охранного документа, индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), номер заявки, дата публикации	Название изобретения (полной модели образца)
1	2	3	4
Сварка взрывом	Россия, <i>RU 2 522 505 C1</i> , <i>B23K20/08</i>	Розен А.Е. и др., 2013119389/02, 26.04.2013	Способ получения композиционного материала [9]
	Россия, <i>RU 2 311 274 C1</i> , <i>B23K20/08</i>	Вакин В.С. и др., 2006129222/02, 27.11.2007	Способ получения биметаллического материала [10]
	Россия, <i>RU 2 293 004 C1</i> , <i>B23K20/08</i>	Трыков Ю.П. и др., 2005113324/02, 10.02.2007	Способ получения композиционного материала титан – сталь [11]
Многослойный материал	Россия, <i>RU 167 018 U1</i> , <i>B22F7/04</i>	Огнева Т.С., и др., 2016137956/05, 20.12.2016	Слоистый композиционный материал [12]

1	2	3	4
Композиционные материалы	США, DE, 54478737 A1, B32B15/04	Becker; JensUlrik, ThyssenKrupp Steel Europe AG Duisburg 15/527366, 17.05.2017	Способ получения композиционного материала [13]
	США, DE, 40822967A1, B32B15/18	Becker; Jens Ulrik, ThyssenKrupp Steel Europe AG Duisburg 12/991001, 05.01.2011	Использование металлического композитного материала в конструкции транспортного средства [14]

В связи с вышеизложенной информацией, можно сделать несколько выводов:

– Компоненты материала для формирования композита удерживаются вместе после процесса литья без связывания материала. Связывание материала создается только на стадии горячей прокатки.

– Наружный материал, является асимметричным по отношению к среднему слою.

– Формируют слоистую структуру в композиционном материале системы «металл-интерметаллид», благодаря чередованию твердых слоев, содержащих интерметаллиды, со слоями пластичного и вязкого металла.

– Производят пакетирование чередующихся слоев металла-основы и армирующего металла, выполненного в виде перфорированного листа со сквозными каналами, равномерно распределенными по площади лист.

– Производят предварительную обработку поверхности одной и/или другой пластины перед соединением катодными пятнами вакуумной дуги, возбуждаемой между поверхностью пластины и анодом.

– Предварительно составляют и сваривают трехслойный пакет из чередующихся слоев.

Обобщая информацию можно сказать, что стальные биметаллы имеют достаточно широкий спектр применения и являются перспективным направле-

нием в развитии слоистых композиционных материалов. Данный класс материалов представляет высокий интерес для исследования.

2 Физические основы метода ударно-волнового нагружения

2.1 Выбор материала для создания металлического композиционного материала

В рамках реализации выпускной квалификационной работы выполнялись исследования экспериментальных образцов композиционных металлических материалов следующего типа (3 слоя): Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13, полученных в ходе выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в рамках реализации программы «СТАРТ» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (проект № 39147 «Композитный режущий инструмент»).

Анализ свойств исходных материалов при создании композиционных металлических материалов позволил провести выбор конкретных марок материалов для разработки композитов различного типа. При резании, рубке контактирующие поверхности инструмента и обрабатываемого материала находятся в тяжелых условиях трения и износа, происходит относительное скольжение при повышенных температурах, скоростях и нормальных контактных нагрузках, достигающих в ряде случаев твердости обрабатываемого материала. При резании для зоны контакта характерны малые габариты, достаточно высокая ювенильность, неравномерность распределения действующих напряжений и температуры, не идентичность условий на рабочих поверхностях инструмента.

Основными особенностями условий трения при резании, рубке, особенно в тяжелых условиях работы инструмента (обработка металлов, почвы, твердых пород и пр.) являются значительные контактные напряжения; высокая температура поверхности инструмента, например, за счет перемещения и деформирования обрабатываемого материала; возникновение чрезмерных температурных градиентов, вызывающих термические напряжения в поверхностном слое инструмента; пластическая деформация и наклеп поверхностно-

го слоя инструмента; окисление поверхности инструмента; структурные превращения.

Таким образом, для эффективной работы режущего инструмента, повышения его надежности и срока службы является необходимым обеспечение достаточной остаточной прочности и износостойкости инструмента. В этой связи, при выборе инструментального материала для создания композита были учтены совокупность показателей механических и эксплуатационных свойств материалов его составляющих (прочности, твердости от 55 *HRC*), износостойкости, коррозионной стойкости.

Указанным условиям соответствуют коррозионностойкие легированные стали с различным содержанием углерода и инструментальные стали, которые будут использоваться в работе для исследования композиционных материалов, для изготовления режущего инструмента.

Сталь 20X13 относится к ферритно-мартенситному классу, жаропрочная (до 550 °С), жаростойкая (до 700 °С), коррозионностойкая. Назначение: детали с повышенной пластичностью, подвергающиеся ударным нагрузкам (клапаны гидравлических прессов, предметы домашнего обихода), а также изделия, подвергающиеся действию слабоагрессивных сред (атмосферные осадки, водные растворы солей органических кислот при комнатной температуре и др.). Наибольшая коррозионная стойкость достигается после термической обработки (закалка с отпуском) и полировки. Твердость после закалки и низкого отпуска до 46 *HRC*.

Химический состав Стали 20X13 в соответствии с ГОСТ 5632-2014 приведен в таблице 2.1 [15].

Таблица 2.1 – Химический состав Стали 20X13

Элемент	Fe	C	Si	Mn	S	P	Cr
Содержание, %	Основа	0,16... 0,25	Не более 0,8	Не более 0,8	Не более 0,025	Не более 0,03	12,0...14,0

Механические свойства стали 20Х13 в соответствии с ГОСТ 5632-2014 приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Механические свойства Стали 20Х13 при T = 20 °С

Сортамент	ГОСТ	Предел прочности, σ_B , МПа	Предел текучести, σ_T , МПа	Относительное удлинение, δ , %
Лист толстый	7350-77	509,0	372,0	20,0
Лист тонкий	5582-75	500,0	-	20,0
Сортовой прокат	5949-75	600,0	450,0	16,0
Лента	4986-78	500,0	-	16,0

Сталь 65Х13 коррозионностойкая, жаропрочная сталь, применяется для изготовления лезвий безопасных бритв, режущего инструмента, при эксплуатации на износ: кухонных ножей, пил, съемных лезвий и др. Твердость после закалки и низкого отпуска до 59 HRC.

Химический состав 65Х13 в соответствии с ГОСТ 5632-2014 приведен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Химический состав Стали 65Х13

Элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
Содержание, %	0,6... 0,7	0,2... 0,5	0,25... 0,8	Не более 0,5	Не более 0,025	Не более 0,03	12,0...1 4,0

Механические свойства Стали 65Х13 в соответствии с ГОСТ 5632-2014 приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Механические свойства Стали 65Х13 при T = 20 °С

Сортамент	ТУ	Предел прочности, σ_B , МПа	Относительное удлинение, δ_5 , %	Твердость HV
Лента 0,1 мм	14-1-4105-86	888,0...1127,0	-	280,0... 320,0
Лента 0,4 мм	14-131-764-88	-	-	220,0... 280,0
Подкат 3 мм	14-1-3918-85	< 785,0	< 18,0	< 97 HRB

Температура критических точек стали 65X13 A_{c1} равна от плюс 805 до плюс 810 °С, A_{c3} равна 880 °С. Температура закалки Стали 65X13 равна 1050 °С.

Таким образом, проведен выбор исходных материалов для создания композитов для дальнейшего исследования в рамках ВКР, изучены их исходные свойства, состав и области применения. При выборе исходных материалов учтено требуемое соотношение твердости внешних слоев композита и внутреннего режущего слоя.

2.2 Обоснование выбора параметров и принципиальной схемы сварки взрывом

Перспективным и рациональным способом получения высокопрочных и высокомодульных композиционных металлических материалов является сварка взрывом. Сварка взрывом – это способ сварки давлением, при котором соединение осуществляется в результате соударения, вызванного энергией взрыва.

Сварка позволяет соединять заготовки в виде пластин и труб значительной площади по всей поверхности. Наиболее технологичной является плоско-параллельная схема сварки. Метаемый элемент устанавливается с некоторым зазором над неподвижным элементом – основанием. Сверху на него укладывают слой взрывчатого вещества и устанавливают электродетонатор. Детонация распространяется по заряду взрывчатого вещества с некоторой скоростью детонации D . Эта величина зависит от состава, плотности, размеров и других характеристик взрывчатого вещества [16].

Скорость детонации взрывчатых веществ, применяемых для сварки взрывом, составляет от 2000 до 3500 м/с. Под действием расширяющихся продуктов взрыва метаемый элемент дважды перегибается и соударяется с неподвижным основанием.

Скорость соударения зависит от соотношения массы метаемого элемента и массы взрывчатого вещества, а также от длительности разгона. В точке кон-

такта создается давление порядка нескольких гигапаскалей, под действием которого происходит пластическая деформация металлов метаемого и неподвижного элементов. Образуется кумулятивная струя, очищающая поверхности. В результате совместной пластической деформации образуется соединение. В зависимости от параметров сварки линия соединения может быть волнообразной или не иметь явно выраженного волнового характера.

Сварку взрывом выполняют по плоской или цилиндрической схемам. В первом случае получают заготовки, площадь которых может ограничиваться только размерами листового проката (площадь от 20 до 50 м²). По цилиндрической схеме осуществляют наружное или внутреннее плакирование труб.

Сварка взрывом представляет собой соединение элементов методом направленного энергетического взрыва и относится к категории взрывной обработки металла.

В процессе движения взрыва детали на высокой скорости ударяются друг о друга и формируют сварочное соединение, надежность которого достигается деформационными изменениями на поверхности. Ввиду высокой скоротечности метода отсутствует объемная диффузия.

Существует множество разнообразных схем технологических работ. Они объединены воздействием детонационных продуктов на мишень и ударом с другими поверхностями. Все разновидности схем основываются на двух первоначальных, которые имеют принципиальные отличия, – это параллельная и угловая. Технологические схемы сварки взрывом представлены на рисунке 2.1.

Уровень получаемых свойств, которые обеспечивает сварка взрывом, в большей мере зависит от скорости метательного процесса. При невысокой скорости практически отсутствует вероятность образования соединения, несмотря на полное соблюдение других основных условий. Стоит отметить, что несоответствующие скорости контакта не являются препятствием для получения качественных и надежных готовых изделий при условии наличия подходящей скорости метания, рассчитанной заранее. Данный параметр оказывает прямое воздействие на вид места, подвергаемого соединению, то есть обрабатываемая

зона меняет характеристики тепловой концентрации в соответствии со скоростью. Расчеты, как правило, имеют экспериментальный характер, так как в данной сфере отсутствует установленная методика определения режимов. Это вызвано тем, что в настоящее время еще не создана теория данного технологического процесса по причине невозможности полного изучения, и сложностью предварительного определения всех нюансов поведения металлических поверхностей и взрывной волны. То есть каждый отдельный случай требует создания рассчитанного режима и собственной методики работ [17].

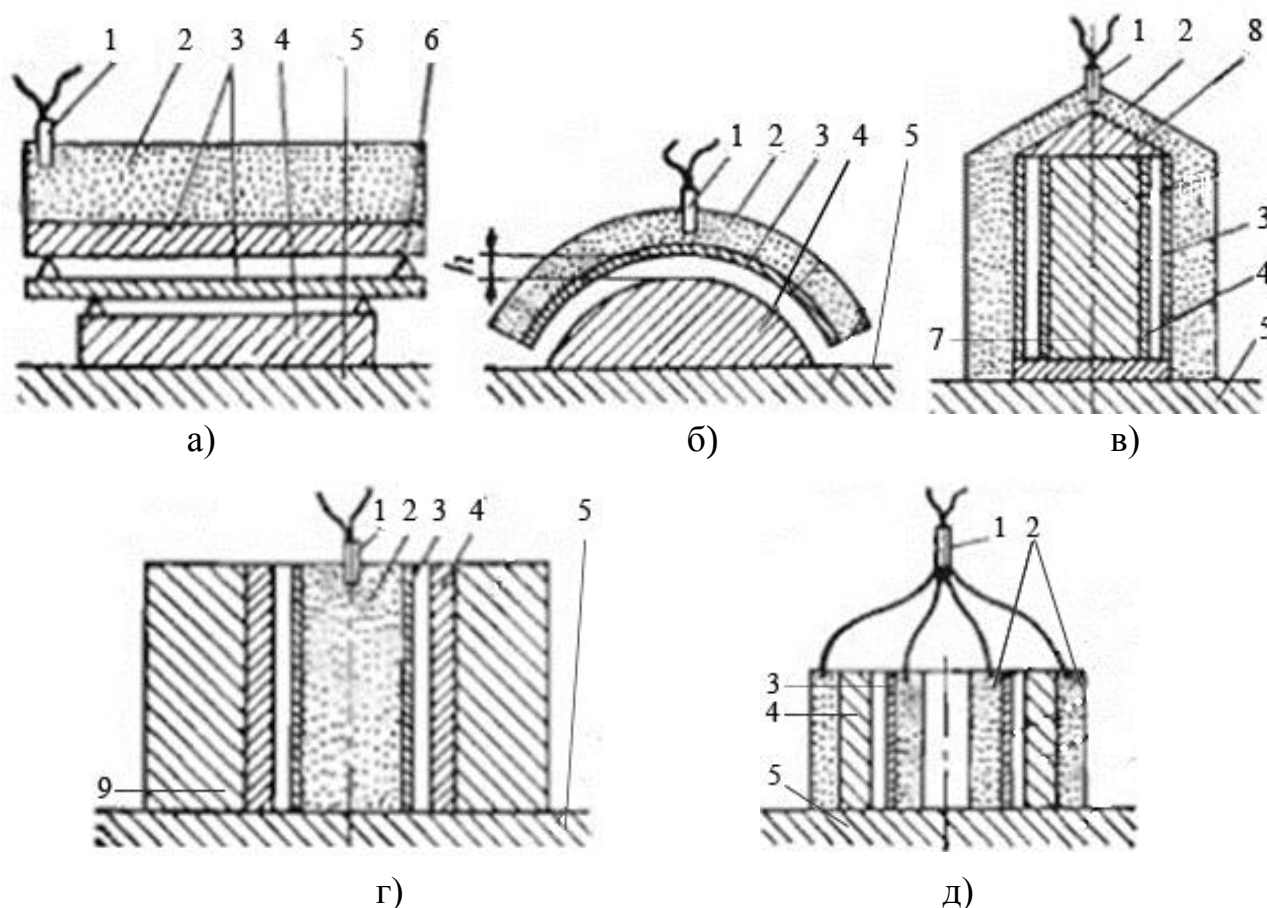


Рисунок 2.1 – Технологические схемы сварки взрывом: а) – параллельная для сварки многослойных поверхностей; б) – плакирование наружной поверхности труб; в) – эквидистантная схема; г) – плакирование внутренней поверхности труб; д) – плакирование крупногабаритных обечаек с противозарядом; 1 – детонатор; 2 – заряд взрывчатого вещества; 3 – метаемый элемент; 4 – неподвижный элемент; 5 – опора; 6 – установочный элемент; 7 – стержень; 8 – конус; 9 – матрица

Преимущества сварки взрывом:

– Высокая скорость обработки соединяемых элементов. Как ранее было отмечено, на соединение металла требуется всего несколько долей секунды. Однако на подготовку полигона и самих материалов требуется довольно большое количество времени.

– Возможность получить качественные соединения биметалла. Стоит учитывать, что другие технологии не позволяют соединить материалы с различными физико-механическими параметрами.

– Технология позволяет проводить соединение материалов, которые характеризуются низкой степенью обрабатываемости.

– Можно создать изделие для дальнейшейковки и штамповки. В последнее время для упрочнения поверхности проводитсяковка и штамповка. Обычный шов характеризуется тем, что не может выдерживать воздействие переменной нагрузки.

– Можно получить изделие со сложной формой углов. Примером можно назвать изделия с изгибами.

Недостатки ударно-волновой обработки:

– Низкая степень безопасности при проведении взрыва. Это связано с тем, что контролировать взрывную волну достаточно сложно.

– Для того чтобы предоставлять рассматриваемые услуги нужно пройти специальное обучение и получить на это допуск. Несоблюдение технологии приводит к тому, что заготовка может быть повреждена.

– Работа может проводиться только при условии наличия специальной защитной камеры или полигона.

– Автоматизировать рассматриваемый процесс практически невозможно. Именно поэтому к каждому процессу соединения изделий приходится тщательно подготавливаться.

Основными технологическими параметрами сварки взрывом являются скорость детонации D , [м/с], величина зазора между метаемым и неподвижным элементами h , [мм], а также безразмерный параметр r , определяемый как отно-

шение массы заряда взрывчатого вещества к массе метаемого элемента, формула 2.1 [18]:

$$r = \frac{H\rho_{ВВ}}{S_1\rho_{МП}}, \quad (2.1)$$

где H – высота заряда взрывчатого вещества, (мм);

$\rho_{ВВ}$ – плотность взрывчатого вещества, (г/см³);

S_1 – толщина метаемой пластины, (мм);

$\rho_{МП}$ – плотность метаемой пластины, (г/см³).

В процессе соединения элементов матрицы и упрочняющих волокон обеспечивается надежная металлическая связь. На этапе формирования металлической матрицы из отдельных компонентов все составляющие имеют высокую пластичность и могут быть подвергнуты различным видам технологического передела. После завершения формообразования создаются условия для образования интерметаллических фаз. Упрочнение композита и достижение им заданных эксплуатационных показателей достигается на этапе термической обработки. Формируется структурно-неоднородное состояние материала, который приобретает требуемые характеристики.

На сегодняшний день для сварки взрывом листовых материалов используется две технологические схемы: с параллельным и с угловым расположением соединяемых элементов, как представлено на рисунке 2.2 [19].

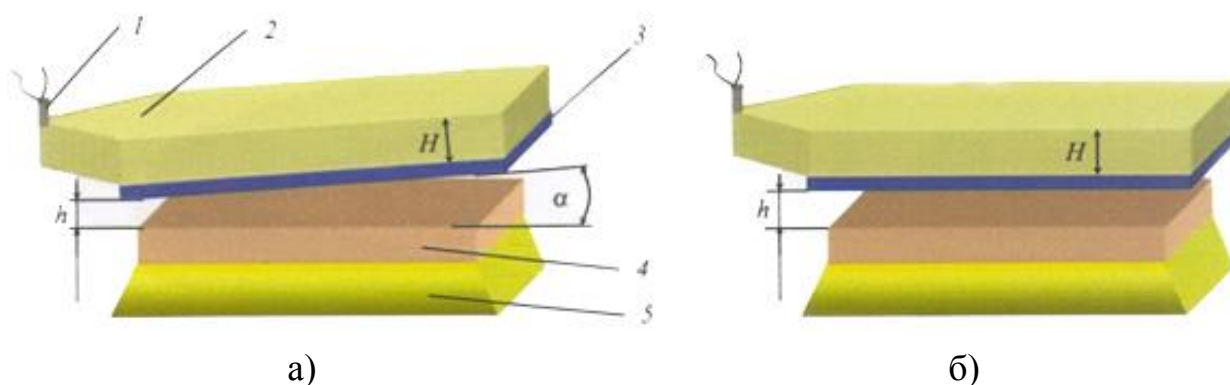


Рисунок 2.2 – Схемы сварки взрывом плоских заготовок: а) – угловая; б) – параллельная); 1 – электродетонатор, 2 – контейнер с зарядом ВВ, 3 и 4 – метаемая и неподвижная пластины соответственно, 5 – основание схемы (грунт, песок, металлическая плита и т.п.)

С практической точки зрения очевидным недостатком угловой схемы сварки взрывом является то, что по мере удаления от точки инициирования заряда ВВ зазор h между свариваемыми элементами увеличивается, приводя к соответствующему изменению условий соударения пластин, что в свою очередь влияет на характер свойств получаемого композита.

По сравнению с угловой схемой сварки взрывом, в параллельной схеме ($\alpha=0$) создаются условия (при некоторых допущениях) для квазистационарного протекания процесса с постоянными величинами скорости, что позволяет применять ее для реализации большинства практических задач.

В схеме с параллельным расположением свариваемых пластин скорость движения точки контакта, показывающая скорость распространения зоны высокого давления по свариваемой поверхности принимается равной скорости детонации ВВ.

На основе проведенного исследования технологических схем получения сваркой взрывом композиционных металлических материалов для изготовления композита Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13, состоящего из трех и более слоев было предложено использовать одновременную схему сварки взрывом плоских заготовок, приведенную на рисунке 2.3.

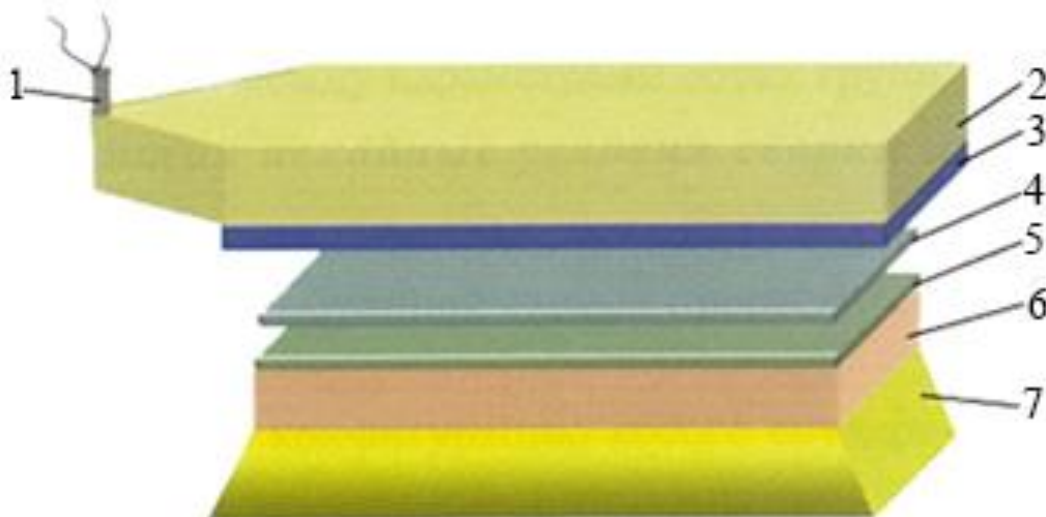


Рисунок 2.3 – Одновременная схема сварки взрывом плоских заготовок: 1 – электродетонатор, 2 – контейнер с взрывчатым веществом, 3 – метаемая пластина, 4 – промежуточная пластина, 5 – неподвижная пластина, 6 – металлическое основание, 7 – грунт

Для проведения сварки взрывом использовали режимы, указанные в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Режимы и результаты расчета технологических параметров процесса сварки, образцов композиционного материала Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13

Режим сварки	Тип взрывчатого вещества	Исходные параметры сварки				Результаты расчета		
		Характеристики взрывчатого вещества			Величина зазора между слоями, мм	V_k , м/с	V_c между слоями, м/с	
		$D_{вв}$, м/с	$H_{вв}$, мм	$\rho_{вв}$, г/см ³			1-2	2-3
1	Игданит	2500,0	70,0	0,75	2	2500,0	540,9	508,8
2	Игданит	2300,0	60,0	0,75	2	2300,0	484,8	449,4
3	Игданит	2100,0	50,0	0,75	2	2100,0	428,6	388,7

После сварки взрывом проводили визуально-измерительный контроль (ВИК) по ГОСТ Р ИСО 17637-2014 [20] и ультразвуковой контроль (УЗК) по ГОСТ Р 55724-2013 [21] композиционного материала. При визуальном осмотре выявляют такие не допустимые дефекты как трещины, сколы и расслоения композиционного материала, а также оценивают его поверхность на сплошность и отсутствие раковин, свищей. При ультразвуковом контроле основными контролирующими параметрами является отсутствие внутренних непроваров, так как они отрицательно влияют на дальнейшие технологические свойства полуфабриката.

В результате из трех основных режимов сварки для получения экспериментальных образцов КМ для дальнейших исследований выбирали рациональный режим, обеспечивающий отсутствие вышеуказанных дефектов композита.

Таким образом, решена задача рационального технологического параметра и определена схема ударно-волнового нагружения для получения сваркой взрывом многослойных композиционных металлических материалов.

3 Методы оценки механических свойств металлических композиционных материалов

3.1 Оборудование для обработки и исследования композиционных материалов

3.1.1 Оборудование для термической обработки КМ

Для устранения наклепа, повышения деформируемости материала после сварки взрывом в рамках ВКР была произведена термическая обработка (отжиг) заготовок композитов. Для отжига использовали муфельную печь, оснащенную микропроцессорным терморегулятором ПТ200, который предназначен для измерения и программного регулирования температуры в электрических печах сопротивления. В основе прибора лежит цифровое вычислительное устройство, содержащее однокристальную микро-ЭВМ типа AT89C55, микросхему запоминающего устройства элементы для передачи обработки информации.



а)



б)

Рисунок 3.1 – Печь с микропроцессорным измерителем–регулятором температуры ПТ200: а) – общий вид муфельной печи; б) – терморегулятор ПТ200

Таблица 3.1 – Основные технические характеристики микропроцессорного терморегулятора ПТ200 [22]

Параметр	Значение
Диапазон измеряемых регулируемых температур, °C	20,0...1250,0
Основная абсолютная погрешность прибора (с учетом погрешности компенсации изменения термо-э.д.с. холодного спая), °C: – при температуре окружающего воздуха 10,0...15,0 °C: – при температуре окружающего воздуха 15,0...40,0 °C:	 ±8 ±6
Рабочие условия применения: – температура окружающего воздуха, °C: – относительная влажность воздуха, %: – атмосферное давление, кПа:	 10,0...40,0 80,0 (при плюс 35 °C более низких температур без конденсации) 86,0...106,7
Погрешность компенсации температуры холодных спаев диапазоне температур окружающего воздуха, °C: 10,0...15,0 °C 15,0...40,0 °C	 ±5 ±3
Напряжение питания, В:	200,0
Частота питающего напряжения, Гц:	50,0
Потребляемая мощность, Вт, не более:	5,0
Габаритные размеры, мм:	125,0×105,0×52,0
Масса, кг	0,6

Данная муфельная печь применяется при обработке материалов в воздушной среде до температуры плюс 1250 °C или для нагрева материалов, сопровождающегося выделением продуктов сгорания.

Термическая обработка композиционного материала включает в себя отжиг (рекристаллизационный отжиг), обеспечивающий снятие наклепа и разупрочнение материала, вызванное наклепом в результате пластической де-

формации после сварки взрывом. При нагреве композита обязательным условием является выбор требуемой температуры, обеспечивающей полную рекристаллизацию всех слоев материала. За счет рациональных режимов отжига, зерна материала восстанавливают исходную форму и композит восстанавливает исходный уровень свойств (пластичность увеличивается, твердость снижается – происходит рекристаллизация и снятие наклепа). Для исследуемого типа композита рациональная температура отжига составляет от плюс 880 до 900 °С, охлаждение в печи.

Вследствие исследования изучено влияние параметров последующего за сваркой взрывом отжига композитов на характер изменения их микроструктуры и свойств. Показано, что в состоянии после отжига происходит рекристаллизация материала, приводящая к снижению твердости (разупрочнению) композита и как следствие к улучшению его обрабатываемости.

3.1.2 Оборудование для исследования микроструктуры композиционного материала

Исследование микроструктуры экспериментальных образцов композиционных металлических материалов проводили на прямом металлографическом микроскопе модульной конструкции с цифровой камерой, с планахроматической оптикой «на бесконечность» АЛЬТАМИ МЕТ 6С представленном на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Металлографический микроскоп АЛЬТАМИ МЕТ 6С

Микроскоп укомплектован программным обеспечением «AltamiStudio» для управления цифровыми камерами, проведения измерений и автоматического анализа изображений.

Технические характеристики металлографического микроскопа АЛЬТАМИ МЕТ 6С представлены в таблице 3.2 [23].

Таблица 3.2 – Технические характеристики металлографического микроскопа АЛЬТАМИ МЕТ 6С

Параметр	Значение
Методы исследований	В отраженном свете: светлое поле и поляризация
Увеличения, крат	25, 50, 62, 100, 125, 200, 250, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1250, 1500, 1600, 2000, 2500
Дополнительная комплектация	Цифровая камера с программным обеспечением «AltamiStudio»

Исследование микроструктуры проводили на специально подготовленных образцах – микрошлифах, подготовленных по ГОСТ Р 57180-2016 [24].

Для выявления особенностей микроструктуры выполняли химическое травление микрошлифов с применением реактивов на основе концентрированных азотной HNO_3 (от 65 до 68 % масс.) и соляной HCl (от 32 до 35 % масс.) кислот, взятых в соотношении 1:3 по объёму (массовое соотношение, в пересчёте на чистые вещества, около 1:2).

Внешний вид обоймы с протравленными микрошлифами 3-х слойного композиционного материала приведен на рисунке 3.2.

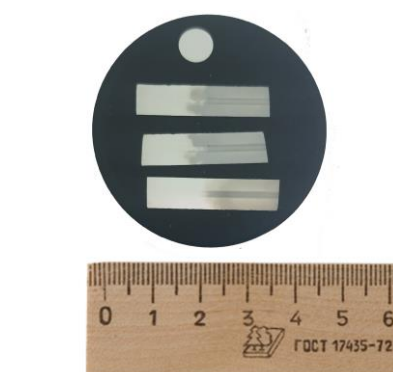


Рисунок 3.2 – Микрошлифы образцов трехслойных композиционных металлических материалов

Процесс проведения исследований микроструктуры экспериментальных образцов композиционных металлических материалов показан на рисунке 3.3.

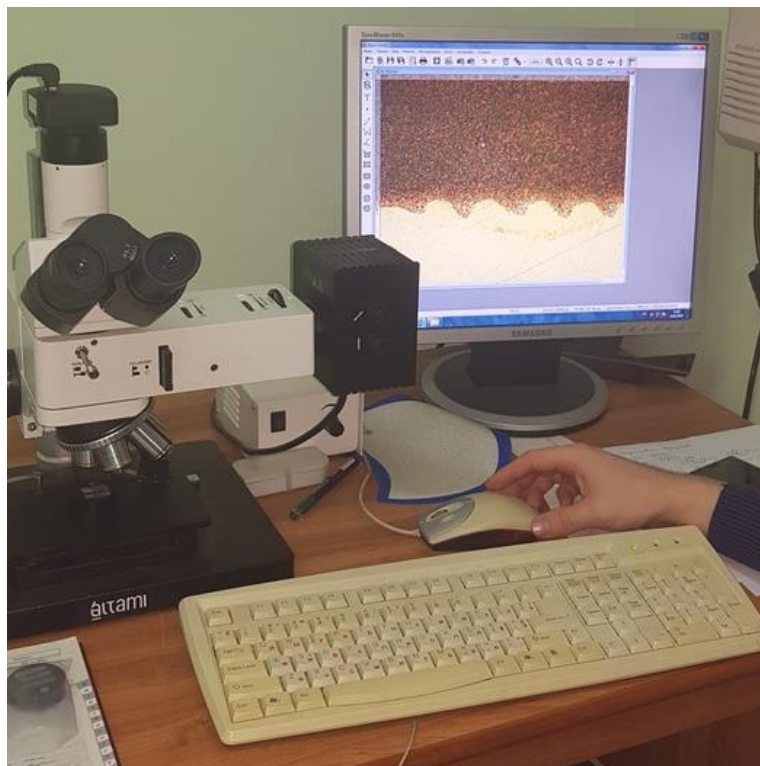


Рисунок 3.3 – Исследование микроструктуры экспериментальных образцов композиционных металлических материалов

Таким образом, исследована методика изготовления и травления микрошлифов с дальнейшим анализом микроструктуры на металлографическом микроскопе.

3.1.3 Оборудование для испытаний композиционных материалов на одноосное растяжение

Исследование механических свойств экспериментальных образцов композиционных металлических материалов после сварки взрывом и после отжига проводили испытанием на одноосное растяжение (прочность на растяжение) при нормальной температуре на разрывной машине модели ИР 5145-500. Испытания проводились согласно ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84) [25].



Рисунок 3.4 – Разрывная машина ИР 5145-500

Технические характеристики разрывной машины ИР 5145-500 для испытаний на одноосное растяжение представлены в таблице 3.3 [26].

Таблица 3.3 – Технические характеристики ИР 5145-500

Параметр		Значение
Наибольшая предельная нагрузка, κH		500,0
Пределы допускаемой погрешности нагрузки, % (в диапазоне нагрузок, κH)		± 1 (20,0...500,0)
Скорость перемещения активного захвата, мм/мин		0,05...200,0
Номинальная цена единицы наименьшего разряда	при индикации нагрузки, H	10,0
	при измерении перемещения активного захвата, мм	0,01
Ход движения траверсы без захватов, мм		850,0
Ширина рабочего пространства, мм		750,0
Питание		3N, 380В, 50Гц
Максимальная потребляемая мощность, кВт		5,3
Габаритные размеры (ширина $\times$ длина $\times$ высота), мм	Установка испытательная	1340,0 $\times$ 1175,0 $\times$ 2710,0
	Стойка приборная	1500,0 $\times$ 750,0 $\times$ 895,0
Масса, кг	Установка испытательная	1840,0
	Стойка приборная	260,0

Для проведения испытаний на одноосное растяжение готовились образцы, согласно эскизу, представленному на рисунке 3.5.

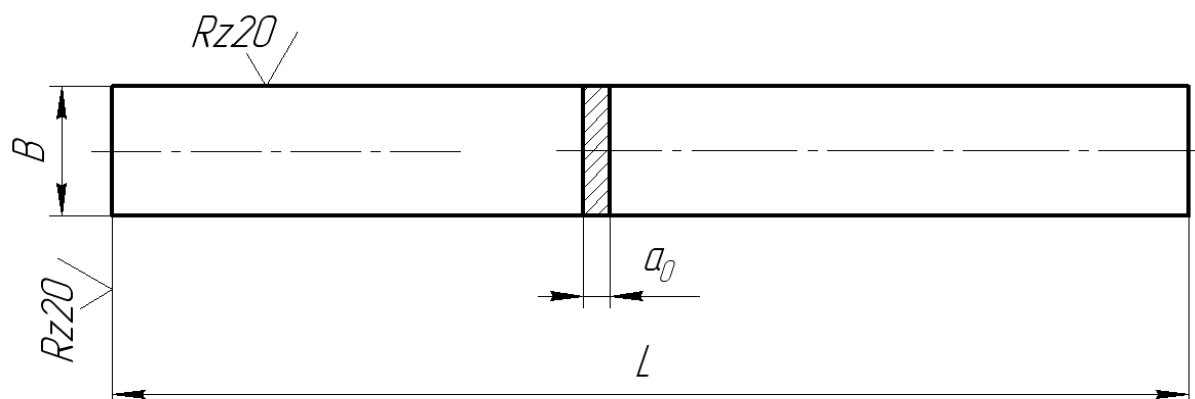


Рисунок 3.5 – Эскиз образцов для испытания на растяжение: B – ширина образца; L – длина образца; a_0 – толщина образца

На рисунке 3.6 представлен внешний вид экспериментальных образцов композиционных металлических материалов до и после проведения испытаний на одноосное растяжение.



Рисунок 3.6 – Экспериментальные образцы композиционных металлических материалов

Процесс проведения испытаний согласно ГОСТ 1497-84 на одноосное растяжение экспериментальных образцов композиционных металлических материалов приведены на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Испытания на одноосное растяжение экспериментальных образцов композиционных металлических материалов

Таким образом, обоснован выбор технологического оборудования для выполнения ТО, исследования микроструктуры и прочностных характеристик композиционных металлических материалов, полученных сваркой взрывом.

4 Результаты исследований образцов композиционных металлических материалов

В рамках ВКР были проведены следующие виды исследований и испытаний механических свойств экспериментальных образцов композиционных металлических материалов:

- исследование микроструктуры по ГОСТ Р 57180-2016;
- испытания на растяжение (прочность на растяжение) при нормальной температуре по методике ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84).

4.1 Оценка качества экспериментальных образцов композиционных металлических материалов, полученных сваркой взрывом

Для оценки качества КМ после сварки взрывом проводили визуально-измерительный и ультразвуковой контроль. Были взяты 3 серии образцов, полученные СВ на режимах указанных в таблице 2.5, подраздел 2.2.

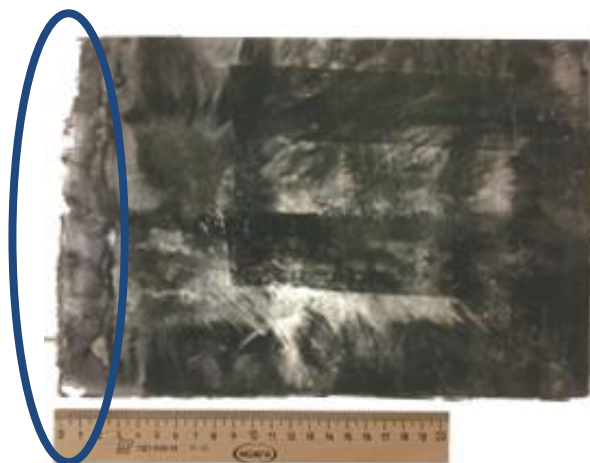


Рисунок 4.1 – Дефекты (деформация) композиционного материала при сварке на режиме 1 (70 мм)

При визуальном осмотре образцов композита Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13 после сварки взрывом на режимах, указанных в таблице 2.5 установлено, что на режиме 1 происходит пластическая деформация металла в точке окончания фронта детонации, как показано на рисунке 4.1, что может вызвать образование оплавления в зоне сварного шва, которые являются недопустимыми дефектами композита.



Рисунок 4.2. – Листовой полуфабрикат композиционного материала (без дефектов) при сварке на режиме 2 (60 мм)

При визуальном осмотре образцов композита после сварки взрывом на режиме 2, указанном в таблице 2.5 появление поверхностных дефектов не выявлено, и поверхность композитов имеет наилучший внешний вид, что подтверждает рисунок 4.2. Проведенный ультразвуковой контроль внутренних дефектов не выявил.

При визуальном осмотре образцов исследуемого композита после сварки взрывом на режимах, указанных в таблице 2.5 установлено, что на режиме 3 происходит неполная обрубка металла по краям композита, что видно на рисунке 4.3. Последующий ультразвуковой контроль выявил наличие зон несплошностей, прилегающих к местам неполной обрубке композита, что является недопустимым дефектом и композит признается бракованным.

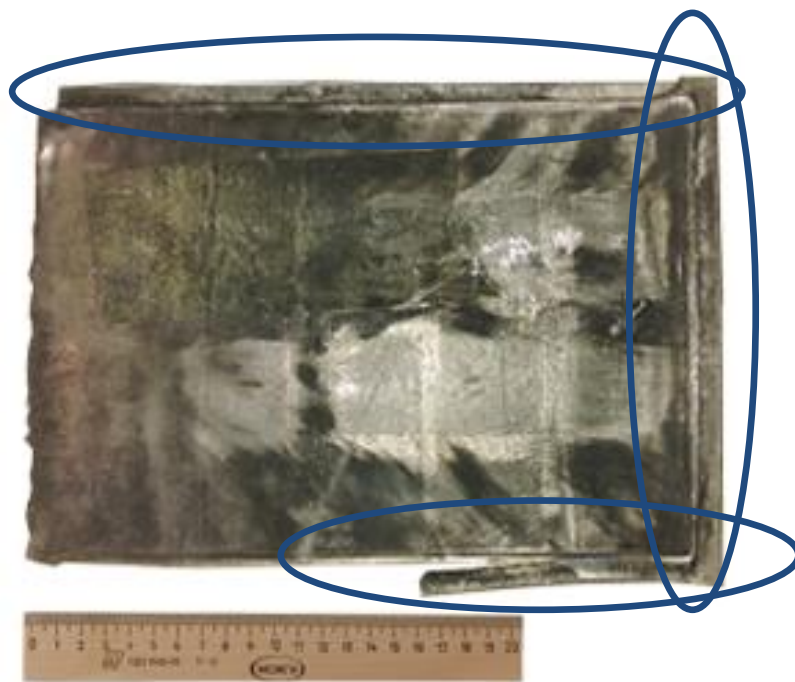


Рисунок 4.3— Дефекты (неполная обрубка) композиционного материала при сварке взрывом на режиме 3 (50 мм)

Предварительно установлено, что рациональными технологическими параметрами для сварки исследуемого композита является режим 2, обеспечивающий получение качественного композиционного материала.

Таким образом, выполнен визуальный осмотр поверхности композитов на наличие поверхностных дефектов и ультразвуковой контроль на выявление внутренних дефектов полученных композиционных материалов; на основе результатов контроля определены рациональные технологические параметры и схема сварки взрывом, обеспечивающие получение качественных образцов композитов.

4.2 Исследование микроструктуры экспериментальных образцов композиционного металлического материала состава 20X13+65X13+20X13

Целью микроструктурного анализа являлось изучение микроструктуры композита и выявление характера волнообразования между слоями КМ: 1 слой – Сталь 20X13, 2 слой – Сталь 65X13, 3 слой – Сталь 20X13.

Исследуемый композиционный материал был получен сваркой взрывом, с использованием трёх режимов с различной высотой заряда взрывчатого вещества, согласно таблице 2.5, раздел 2.

В результате исследований образцов, полученных на первом режиме (высота ВВ = 70 мм) был выявлен ярко выраженный характер волнообразования между 1 и 2 слоями, а характер волнообразования между 2 и 3 слоями менее выражен. Установлено, что для слоёв 1 и 2 высота волны и длины волны составляет: 251,9 мкм и 716,2 мкм, соответственно, при этом на единицу длины, равной 2000 мкм приходится 3 волны, что подтверждает наибольшую интенсивность воздействия взрывной волны на свариваемый материал.

Структура исследуемого образца представлена на рисунке 4.4

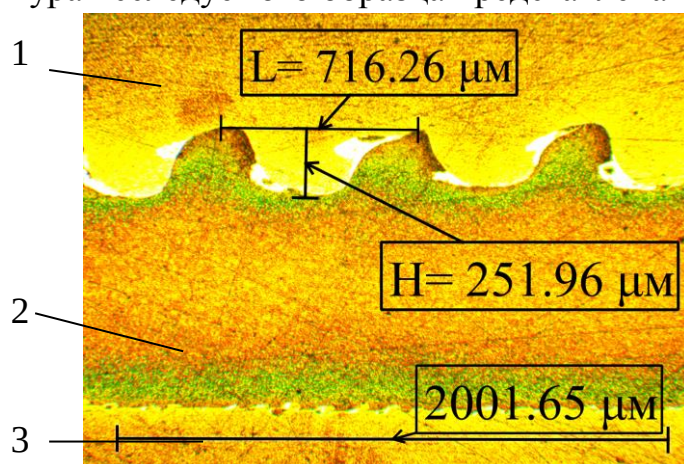


Рисунок 4.4 – Структура композиционного материала, полученного сваркой взрывом на первом режиме: 1 – 20X13; 2 – 65X13; 3 – 20X13

Исследования так же выявили, что у экспериментальных образцов, полученных на режиме 1, наблюдаются значительные зоны оплавления по всей длине волны.

На КМ, полученном на всех трех режимах, в том числе и на 1, производилось исследование сварного шва между первым и вторым слоем, как показано на рисунке 4.5.

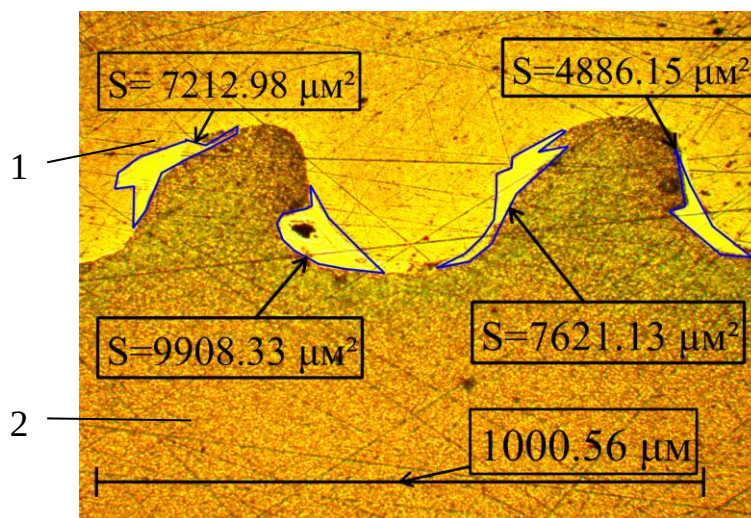


Рисунок 4.5 – Структура сварного шва исследуемого образца между первым и вторым слоем: 1 – 20X13; 2 – 65X13

Микроструктура между вторым и третьим слоем показана на рисунке 4.6.

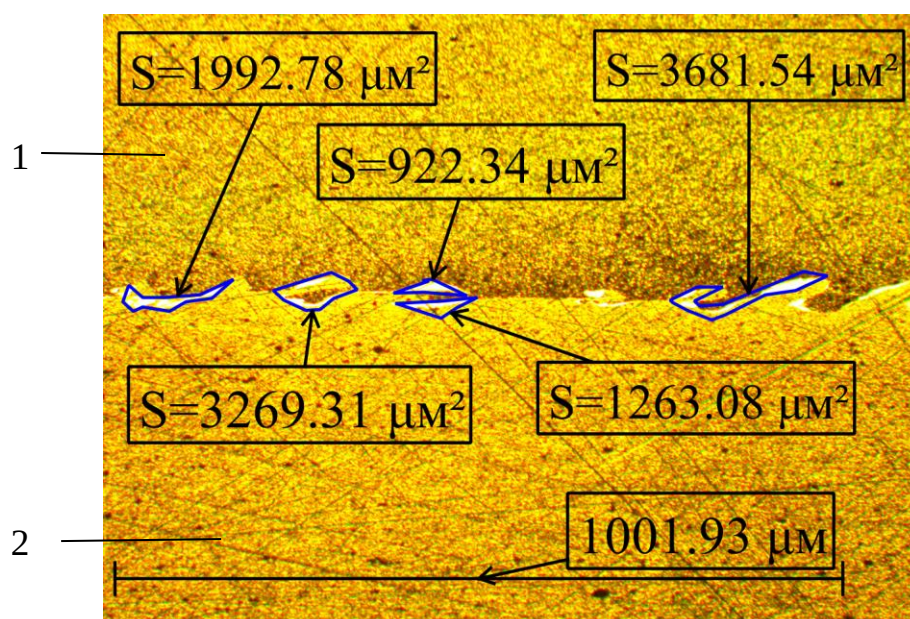


Рисунок 4.6 – Структура сварного шва между вторым и третьим слоем КМ, полученного на первом режиме: 1 – 65X12; 2 – 20X13

При высоте ВВ равной 70 мм суммарная площадь зон оплавления между первым и вторым слоем составляет 29628,3 мкм², между вторым и третьим равна 11129,6 мкм², данные измерения производились на длине равной 1000 мкм.

В результате исследований образцов, полученных на втором режиме (высота ВВ = 60 мм) был выявлен менее выраженный характер волнообразования между слоями композита, площадь зон оплавления значительно меньше первого. Установлено, что для слоёв 1 и 2 высота волны и длины волны составляет: 118,7 мкм и 299,3 мкм. При этом на единицу длины, равной 2000 мкм приходится 7 волн, что показывает на меньшую интенсивность воздействия взрывной волны на свариваемый материал, и как следствие, данный режим сварки является более рациональным по сравнению с первым.

Структура исследуемого композиционного материала представлена на рисунке 4.7

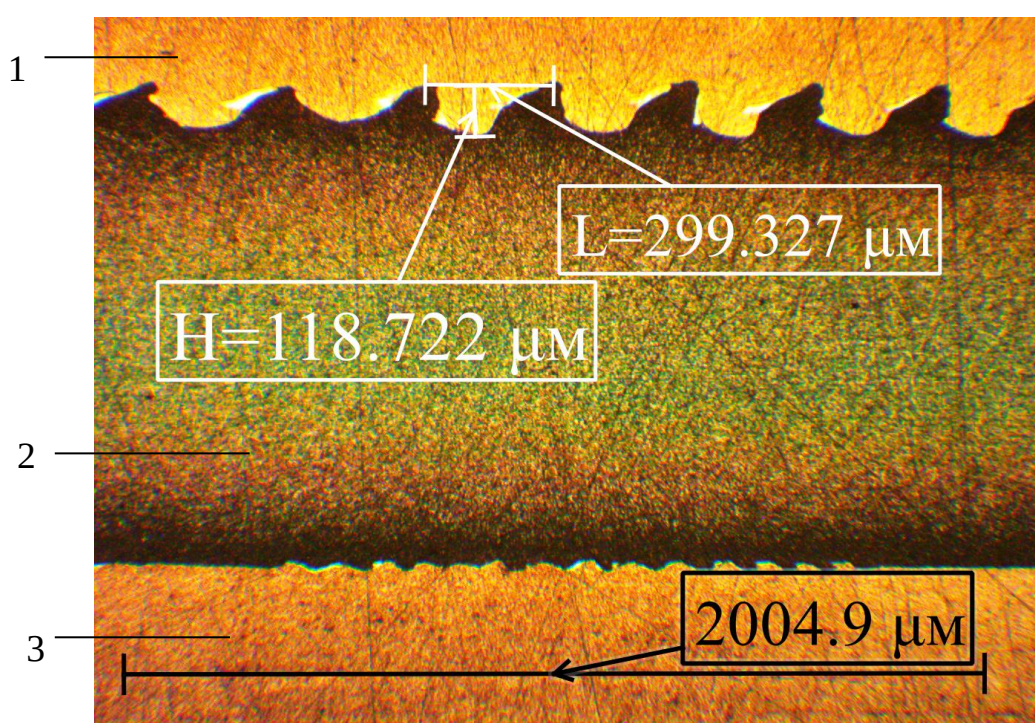


Рисунок 4.7 – Структура исследуемого композиционного материала, полученного сваркой взрывом, с высотой взрывчатого вещества 60 мм: 1 – 20X13; 2 – 65X13; 3 – 20X13

Исследование режима с высотой взрывчатого вещества 60 мм, сварной шов первого и второго слоя, структура которых показана на рисунке 4.8.

По аналогии с первым режимом на втором производили измерения на единице длины 1000 мкм, при высоте взрывчатого вещества равной 60 мм площадь зон оплавления между 1 и 2 слоем равна 3291,7 мкм².

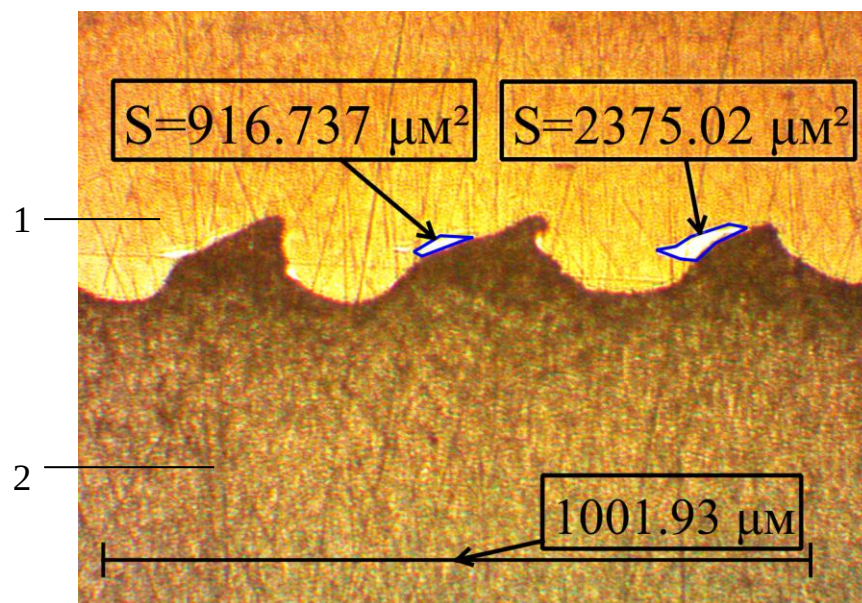


Рисунок 4.8 – Структура сварного шва первого и второго слоя исследуемого образца: 1 – 20X13; 2 – 65X13

Структура сварного шва второго и третьего слоя при такой же высоте взрывчатого вещества показана на рисунке 4.9

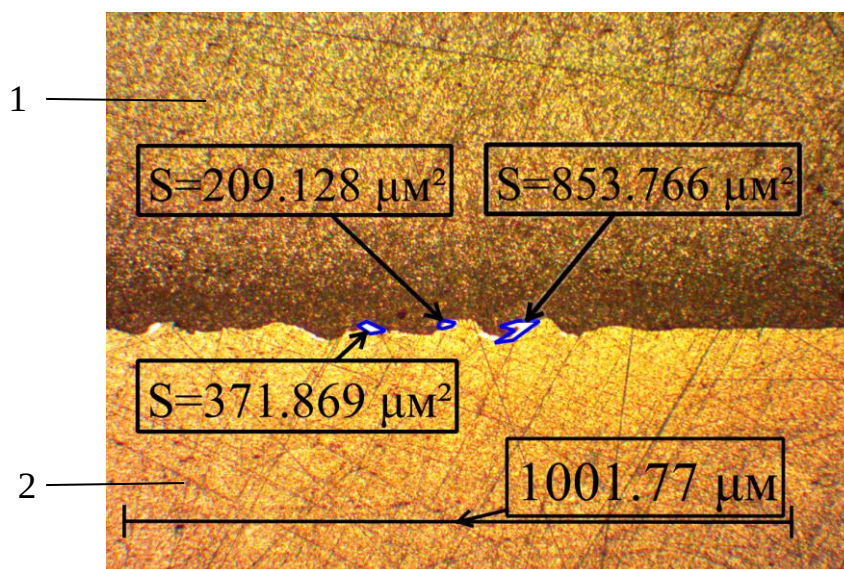


Рисунок 4.9 – Структура сварного шва второго и третьего слоя исследуемого образца: 1 – 65X13; 2 – 20X13

Проанализировав данное соединение второго и третьего слоя, выявлено, что площадь зон оплавления составляет $1438,8 \text{ мкм}^2$ на отрезке равном 1000 мкм .

В результате исследований образцов, полученных на третьем режиме (высота ВВ = 50 мм) был выявлен минимальный характер волнообразования

между слоями композита, площадь зон оплавления меньше чем на 1, но значительно больше чем на 2 режиме, что отражает интенсивность воздействия взрывной волны на свариваемый материал. При этом УЗК выявил наличие непроваров и участков неполной обрубки материала. Установлено, что для слоёв 1 и 2 высота волны и длины волны составляет: 185,8 мкм и 536,7 мкм, соответственно. При этом на единицу длины, равной 2000 мкм, приходится 3 волны, но они имеют высоту ниже, чем на 1 режиме, с тем же количеством волн.

Структура исследуемого композиционного материала показана на рисунке 4.10

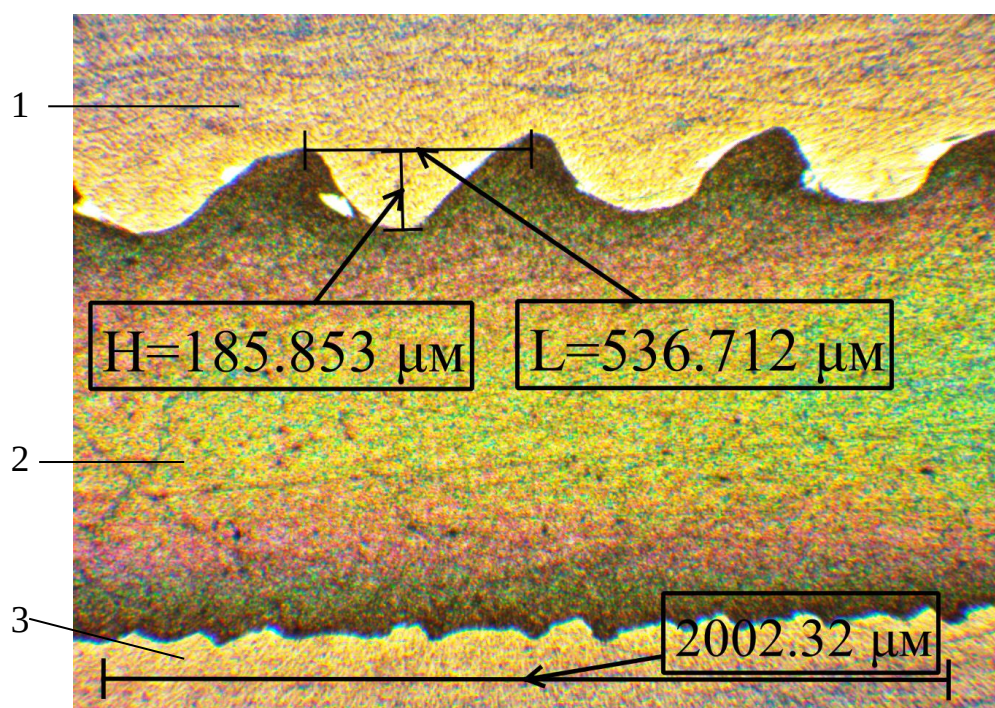


Рисунок 4.10 – Структура композиционного материала полученного сваркой взрывом с высотой взрывчатого вещества 50 мм: 1 – 20X13; 2 – 65X13; 3 – 20X13

Обнаружено, что между первым и вторым слоем волнообразование интенсивное, а между вторым и третьим менее выражено.

Структура первого и второго слоя исследуемого образца показана на рисунке 4.11.

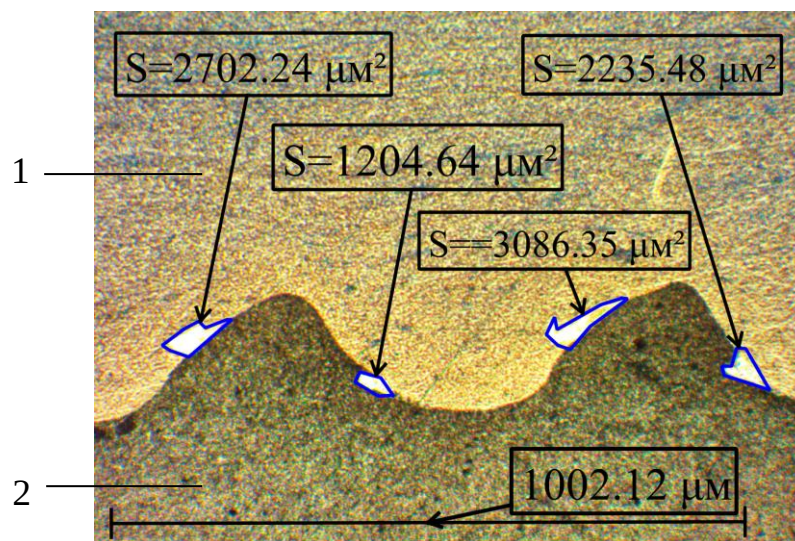


Рисунок 4.11 – Структура сварного шва первого и второго слоя исследуемого образца: 1 – 20X13; 2 – 65X13

При высоте взрывчатого вещества равной 50 мм средняя площадь зон оплавления между 1 и 2 слоем составляет $9227,3 \text{ мкм}^2$, как и на предыдущих режимах измерения производили на отрезке 1000 мкм.

Структура соединения второго и третьего слоя показана на рисунке 4.12.

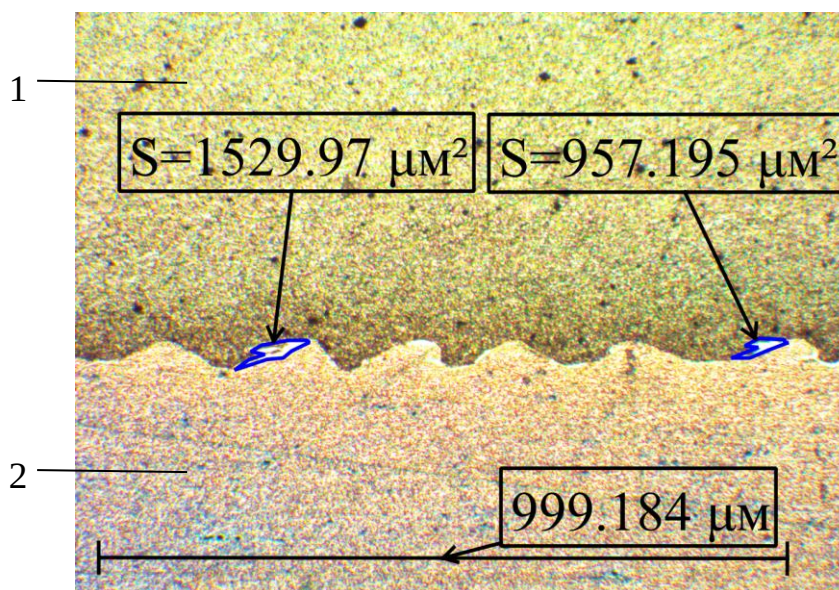


Рисунок 4.12 – Структура сварного шва второго и третьего слоя исследуемого образца: 1 – 65X13; 2 – 20X13

Исследование показали, площадь зоны оплавления между 2 и 3 слоем на отрезке 1000 мкм равна 2487 мкм^2 .

На основании вышесказанного, очевидно, что наиболее подходящим и рациональным режимом получения композиционного материала является второй режим, с высотой взрывчатого вещества 60 мм, где отсутствуют зоны не-провара, а зоны оплавления имеют очень маленькую площадь.

4.3 Исследование на одноосное растяжение экспериментальных образцов композиционных металлических материалов

Исследование механических свойств экспериментальных образцов композиционных металлических материалов после сварки взрывом и после отжига проводили испытанием на одноосное растяжение (прочность на растяжение) при нормальной температуре на разрывной машине модели ИР 5145-500. Испытания проводились согласно ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84).

Результаты испытания на растяжение экспериментальных образцов композиционных металлических материалов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты испытания на растяжение экспериментальных образцов композиционных металлических материалов

Режим	Вид ТО	Размер сечения, $a_0 \times B$, мм	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение Ψ , %
1	-	5,1×30,5	794,2	759,8	5,7	8,7
1	отжиг	5,1×31,0	642,5	363,5	28,6	49,4
2	-	5,1×30,5	840,8	805,2	3,5	5,2
2	отжиг	5,2×32,0	646,3	361,1	25,0	46,2
3	-	5,0×32,0	820,9	792,8	2,5	6,9
3	отжиг	5,2×32,0	638,9	350,9	26,7	50,4

Результаты исследований механических свойств образцов всех групп представлены ниже. На рисунке 4.13 показана зависимость значений относительного удлинения образцов композиционных материалов от режимов СВ.

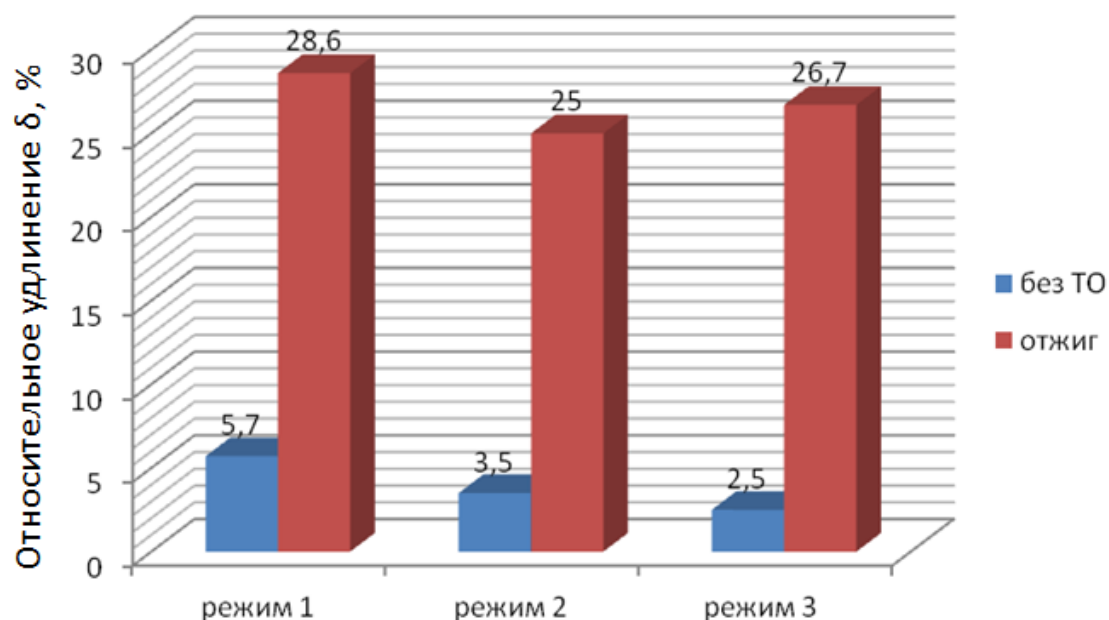


Рисунок 4.13 – Зависимость значений относительного удлинения образцов композиционных материалов от режимов СВ

На рисунке 4.14 показана зависимость значений относительного сужения образцов композиционных материалов от режимов сварки взрывом.

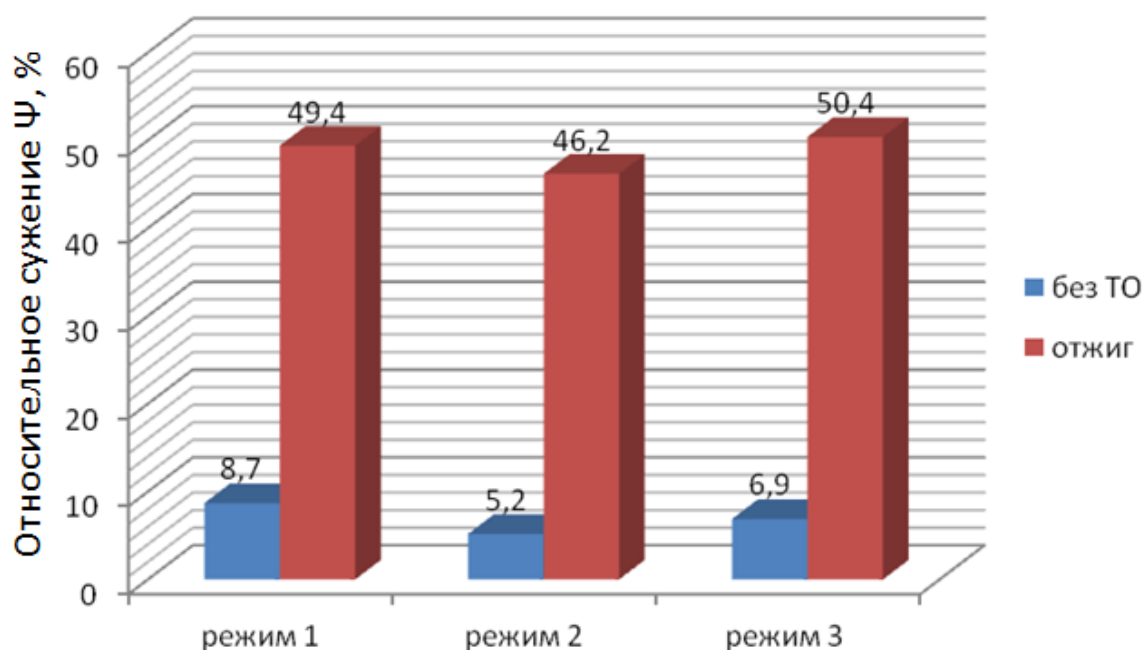


Рисунок 4.14 – Зависимость значений относительного сужения образцов композиционных материалов от режимов СВ

На рисунке 4.15 отражена зависимость значений прочности образцов композиционных материалов от режимов сварки взрывом.

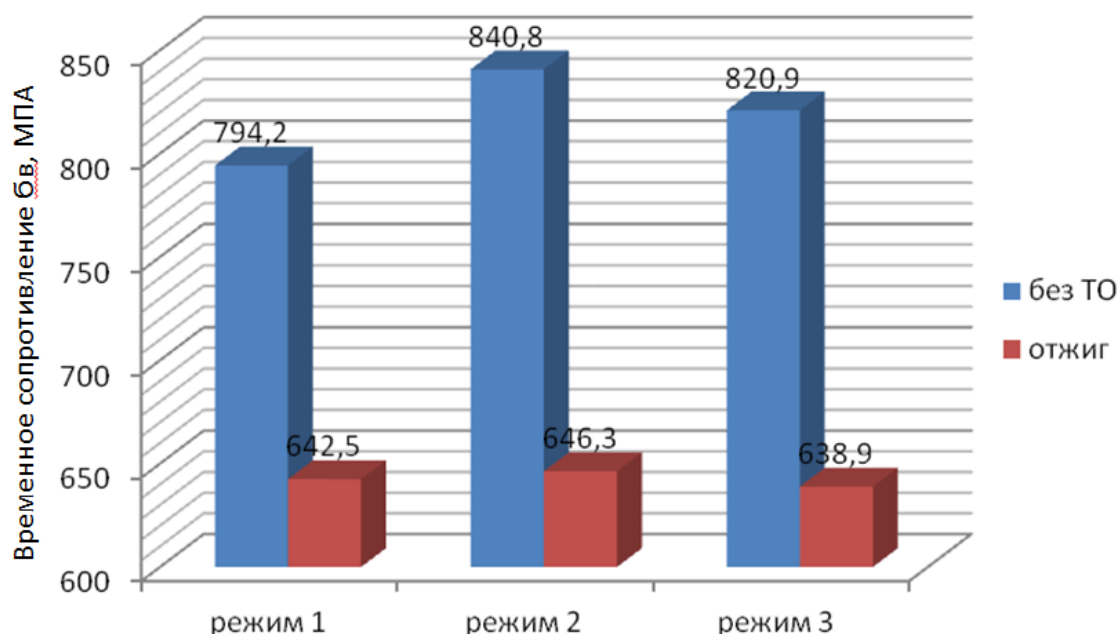


Рисунок 4.15 – Зависимость значений прочности образцов композиционных материалов от режимов СВ

Результаты испытаний показывают, что для экспериментальных образцов композиционных металлических материалов в состоянии после сварки взрывом величина прочности находится в диапазоне от 794,2 до 824,1 МПа, относительное удлинение от 2,5 до 5,7 %, относительное сужение от 5,2 до 22,9 %. В состоянии после отжига величина прочности композита находится в диапазоне от 627,6 до 646,3 МПа, относительное удлинение от 24,3 до 28,6 %, относительное сужение от 45,2 до 50,4 %.

Все образцы после СВ имеют максимальную прочность и минимальную пластичность, что свидетельствует об упрочнении композита в результате пластической деформации после сварки взрывом. Выявлено, что образцы, полученные на максимальной высоте заряда взрывчатого вещества (1 режим) имеют меньшую прочность 794,2 МПа, что связано с наличием большого количества зон оплавления значительной величины (подраздел 4.2), выявленные микроструктурным анализом. Образцы, полученные на 2 режиме, имеют максимальное значение прочности 840,8 МПа. Образцы, полученные на 3 режиме, имеют прочность 820,9 МПа, что является выше образцов 1 группы, но ниже образцов 2 группы. Однако, как показал ВИК и УЗК образцы 3 группы имеют дефекты:

непровары и наличие зон неполной обрубки металла по краям композита, которые являются недопустимыми для КМ.

Таким образом, комплексные исследования установили наиболее рациональным режимом получения КМ типа – Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13 является режим 2 с высотой заряда 60 мм.

Были проведены исследования механических свойств всех групп после отжига. Установлено, что в результате отжига происходит разупрочнение композита в результате, которого прочность снижается (с 840 до 646 МПа), пластичность возрастает (удлинение с 3,5 % до 25,0 %, сужение с 5,2 % до 46,2 %). Аналогичный характер изменения свойств выявлен для образцов 1 и 3 режимов.

Таким образом, установлено, что в результате отжига происходит рекристаллизация материала, сопровождающееся снижением прочности от 20 до 25 % и повышением пластичности относительное удлинение от 13 до 16 % и относительное сужение от 10 до 12 % , что в свою очередь обеспечивает улучшение обрабатываемости композиционных материалов всех типов.

Заключение

В ходе выполнения ВКР проведен анализ различных типов многослойных композиционных материалов.

Показана актуальность использования технологии сварки взрывом для получения КМ из различных металлов и сплавов, в том числе и разнородных, обладающих высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных характеристик как в России, так за рубежом.

Произведен патентный поиск в области металлических КМ, подтверждена их перспективность и актуальность, а также современный технологический уровень технологии ударно-волнового нагружения.

Изучены исходные материалы для создания композитов, изучены их свойства и области применения.

Проведен анализ технологических схем получения сваркой взрывом композиционных металлических материалов. Выявлены преимущества и недостатки схемных решений при сварке взрывом плоских металлических заготовок. Установлено, что в параллельной схеме сварки взрывом создаются условия для квазистационарного протекания процесса с постоянными величинами технологических параметров, что позволяет применять ее для реализации большинства практических задач.

Выбран режим сварки взрывом: высота взрывчатого вещества.

Изучены методики исследований КМ, полученных СВ. Проведены исследования микроструктуры композитов и испытания КМ на одноосное растяжение.

Исследовано влияние режимов сварки взрывом ($H_{\text{ВВ}}$) на образование поверхностных дефектов и непроваров композиционного материала. Установлено, что наилучшее качество при сварке взрывом трёхслойных композитов на основе Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13 обеспечивает режим 2 ($H_{\text{ВВ}} = 60$ мм).

Исследования микроструктуры выявили сильное волнообразование и наличие многочисленных зон оплавления у образцов 1 и 3 режима соответственно.

Исследования механических свойств, экспериментальных образцов композиционных металлических материалов установили, что в ходе сварки взрывом композиты получают значительный наклёп, приводящий к изменению их физико-механических свойств (упрочнению). Прочность КМ составляет 840,8 МПа, пластичность: удлинение 3,5 %, сужение 5,2 %.

Изучено влияние параметров последующего за сваркой взрывом отжига композитов на характер изменения их свойств. Установлено, что в результате отжига происходит снятие наклёпа, приводящее к снижению твердости (разупрочнению) композита и как следствие к улучшению его обрабатываемости. При этом прочность снижается (с 840 до 646 МПа), пластичность возрастает: удлинение с 3,5 % до 25 %, сужение с 5,2 % до 46,2 %. Аналогичный характер изменения свойств выявлен для образцов 1 и 3 режимов.

Таким образом, исследования установили, что наиболее рациональным режимом получения КМ Сталь 20Х13+Сталь 65Х13+Сталь 20Х13 является режим 2 с высотой заряда 60 мм.

Таким образом, все поставленные задачи ВКР решены в полном объеме, цели достигнуты.

Список использованных источников

1. **Достижения в области композиционных материалов** [Текст]: сборник научн.тр. / под.ред. Дж. Пиатти.- М.: Металлургия, 1982. - 304 с.
2. **Сварка и резка материалов** [Текст]: учеб. пособие для нач. проф. образования / М.Д. Банов [и др.]; под ред. Ю.В. Казакова. - М.: Издательский центр «Академия», 2010. - 400 с.
3. **Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая** [Текст]: ГОСТ 10885-85. - Введ. 1986-07-01. - М.: Стандартиформ, 15 с.: ил.
4. **Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая, изготовленная методом сварки взрывом** [Текст]: ТУ 27.32.09.010-2005. - Введ. 2006-04-05. - М.: ООО Институт биметаллических сплавов, 2005. - 13 с.: ил.
5. **Заготовки двухслойные сталь-титан, изготовленные методом сварки взрывом** [Текст]: ТУ 27.81.09.009-2005. - Введ. 2005-03-25. -М.: ООО Институт биметаллических сплавов, 2005. - 21 с.: ил.
6. **ООО «Битруб Интернэшнл»** [Электронный ресурс] / *Bitrub International*: [сайт]. URL: <http://www.bitrub.ru/> (дата обращения: 16.01.2019).
7. **Об институте** [Электронный ресурс] / Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»: [сайт]. URL: <http://www.crismprometey.ru/index.aspx> (дата обращения: 16.01.2019).
8. **Продукция** [Электронный ресурс] / Общество с ограниченной ответственностью «Биметалл»: [сайт]. URL: <http://www.volgobimetall.ru/> (дата обращения: 17.01.2019).
9. **Способ получения биметаллического материала** [Текст]: пат. 2 522 505 Рос. Федерация: МПК В23К20/08, В32В7/04, В32В15/01/ Розен А.Е. [и др.]; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Инженерно-Технологический Центр «Сварка». - № 2013119389/02; заявл. 26.04.201; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20, - 8 с: ил.

10. **Способ получения биметаллического материала** [Текст]: пат. 2 311 274 Рос. Федерация: МПК В23К20/08 В32В7/04/ Вакин В.С. [др.]; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Энергометалл», Вакин Владимир Станиславович. - № 2006129222/02; заявл. 08.08.2006; опубл. 27.11.2007 Бюл. № 33,- 3 с: ил.

11. **Способ получения композиционного материала титан-сталь** [Текст]: пат. 2 293 004 Рос. Федерация: МПК В23К20/08, В32В7/04/ Трыков Ю.П. [и др.]; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). - № 2005113324/02; заявл. 03.05.2005; опубл. 10.02.2007 Бюл. № 4 - 4 с: ил.

12. **Слоистый композиционный материал** [Текст]: пат. 1 670 182 Рос. Федерация: МПК В22F7/04, В32В15/00 / Огнева Т.С. [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». - № 2016137956/05; заявл. 23.09.16; опубл. 20.12.16, Бюл. № 35. – 7 с: ил.

13. **Способ получения композиционного материала** [Текст]: пат. 5 447 8737 США: МПК В32В15/18, В32В015/18, В32В15/01, В32В015/01, В32В15/04, В32В015/04/ Becker и [др.]; заявитель и патентообладатель Thyssen Krupp Steel Europe AG. - № 15/527366 заявл. 03.11.15; опубл. 17.05.17, Бюл. № 17 – 14 с: ил.

14. **Использование металлического композитного материала в конструкции транспортного средства** [Текст]: пат. 4 082 2967 США: В32В15/18, В32В015/18, В32В15/01, В32В015/01; В32В15/04, В32В015/04/ Becker; заявитель и патентообладатель Thyssen Krupp Steel Europe AG. - № 12/991001 заявл. 27.04.09; опубл. 05.01.11, Бюл. № 3 – 16 с: ил.

15. **Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки** [Текст]: ГОСТ 5632-2014. - Введ. 2015-01-01. - М.: Стандартинформ, 2015. 48 с.: ил.

16. **Банников, Е.А. Сварка** [Текст]: справочник. - М.: Издательство «АСТ», 2014. – 256 с.
17. **Сварка взрывом** [Текст]: монография / Ю.А. Конон, Л.Б. Первухин, А.Д. Чудновский; под ред. В.М. Кудинова. - М.: Машиностроение, 1987. – 216 с.
18. **Лысак, В.И. Сварка взрывом** [Текст] / В.И. Лысак, С.В. Кузьмин. – М.: Машиностроение, 2005. - 544 с.
19. **Процессы обработки материалов взрывом** [Текст]: учеб. пособие для вузов / Крупин А.В. [и др.]. - М.: Металлургия, 1996. - 336 с.
20. **Контроль неразрушающий. Визуальный контроль соединений, выполненных сваркой плавлением** [Текст]: ГОСТ Р ИСО 17637-2014. - Введ. 2016-01-01. - М.: Стандартиформ, 2015. - 15 с.: ил.
21. **Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые** [Текст]: ГОСТ Р 55724-2013. - Введ. 2015-07-01. - М.: - Стандартиформ, 2014. - 41с: ил.
22. **Свидетельство об утверждении типа средств измерений** [Электронный ресурс] / Свидетельство об утверждении типа средств измерений: [сайт]. URL: <http://nd-gsi.ru/grsi/230xx/23225-02.pdf> (дата обращения: 12.01.2019).
23. **Альтами** [Электронный ресурс] / Металлографический микроскоп АЛЬТАМИ MET 6С: [сайт]. URL: http://altami.ru/microscopes/metallurgical/digi/altami_met6s/ (дата обращения: 23.03.2019).
24. **Соединения сварные. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры** [Текст]: ГОСТ Р 57180-2016. -Введ. 2017-06-01. - М.: Стандартиформ, 2016. - 19 с.: ил.
25. **Металлы. Методы испытаний на растяжение** [Текст]: ГОСТ 1497-84. - Введ.1986-01-01.- М.: Стандартиформ, 1984.- 22с.: ил.
26. **Завод испытательных приборов** [Электронный ресурс] / ИР 5145-500 Разрывная машина на 500кН: [сайт]. URL:

<http://www.ziptest.ru/product/razryvnye-mashiny-i-prinadlezhnosti-k-nim/ir-5145-500-razryvnaya-mashina-na-500kn/> (дата обращения: 13.02.2019).

					<i>ПГУ.ВКР.22.03.01.13ПС107.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>56</i>

Приложение А



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО Пензенский Государственный Университет
Кафедра «Сварочное, литейное производство и
материаловедение»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
«ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
СВАРКИ ВЗРЫВОМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ
КОМПОЗИЦИОННОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА СТАЛЬ
20Х13+ СТАЛЬ 65Х13+ СТАЛЬ 20Х13»

Выполнила: ст. гр. 15МТ1 Лазарева О.Д.

Руководитель: к.т.н., доцент Кривенков А.О.

Пенза, 2019 г.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ВКР

2

Цель: исследование структуры и механических свойств композиционного материала Сталь 20Х13 +Сталь 65Х13+ Сталь 20Х13, полученного сваркой взрывом.

Задачи:

- провести анализ способов получения композиционных материалов, обосновать выбор метода получения;
- изучить технологические основы ударно-волнового нагружения;
- обосновать выбор материала для дальнейших исследований;
- изучить методики исследования микроструктуры и механических свойств композиционных материалов;
- исследовать влияние параметров сварки взрывом на микроструктуру и механические свойства разработанных материалов.

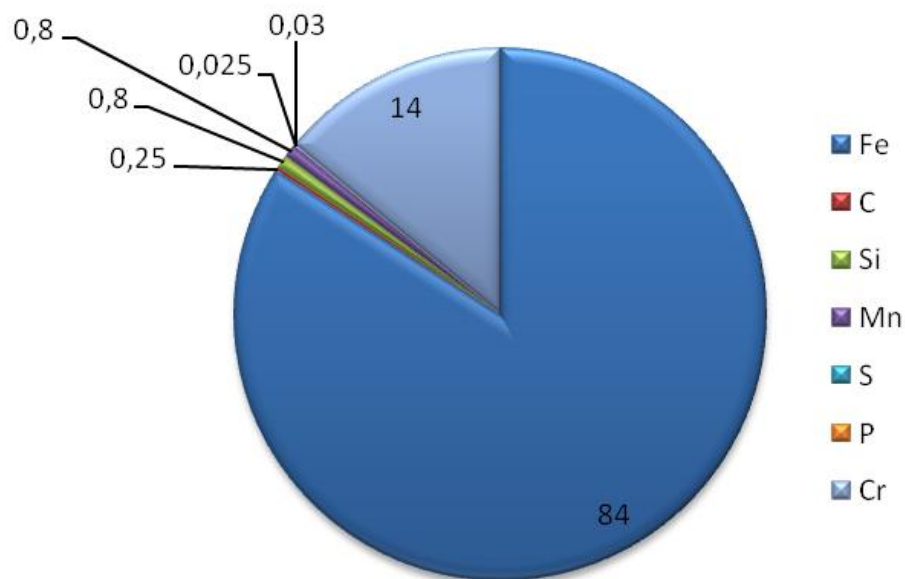
Объектом исследования является композиционный материал: 20Х13+ 65Х13+20Х13, полученный методом ударно-волнового нагружения.

Актуальность: Исследования проводились в рамках НИОКР по программе СТАРТ Фонда содействию малых форм предприятий «Композитный режущий инструмент»

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ

Параметр	Значение
Сортамент	Лист, труба
Толщина основного слоя, мм	От 8 до 500
Толщина плакирующего слоя, мм	От 1 до 30
Марка стали	09Г2С, 0Х18Н10Т, Ст.3+АМг5, 08Х13, ВТ1-0 и др.
Применение	Судостроение, атомная, тепловая и гидроэнергетика, газодобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность, военная техника, химическое и энергетическое машиностроения, металлургия.

МАТЕРИАЛ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КМ

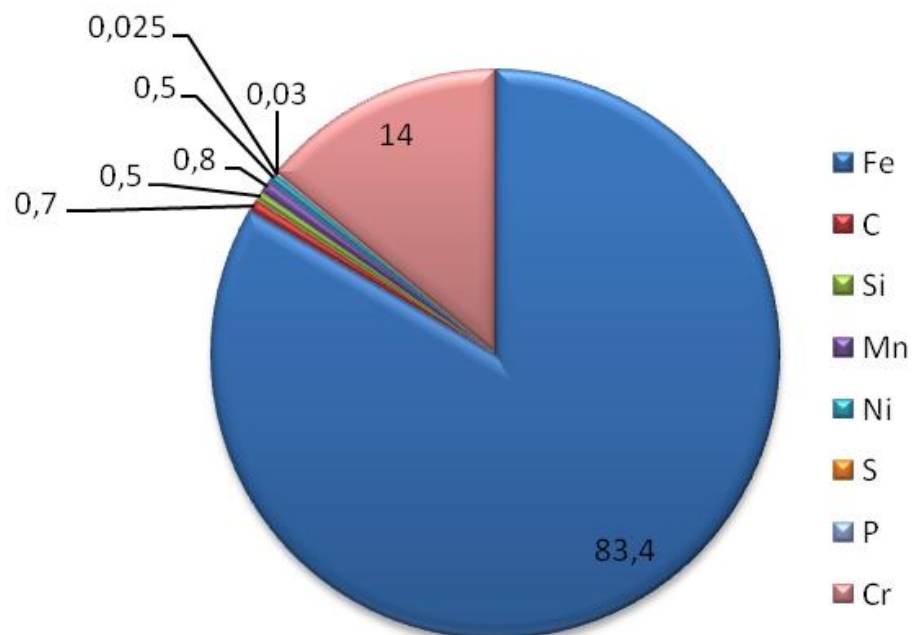


Сталь 20X13

Предел прочности, σ_b 500...509 МПа

Твердость (закалка + низкий отпуск)
44...46 HRC

Относительное удлинение 18...21%



Сталь 65X13

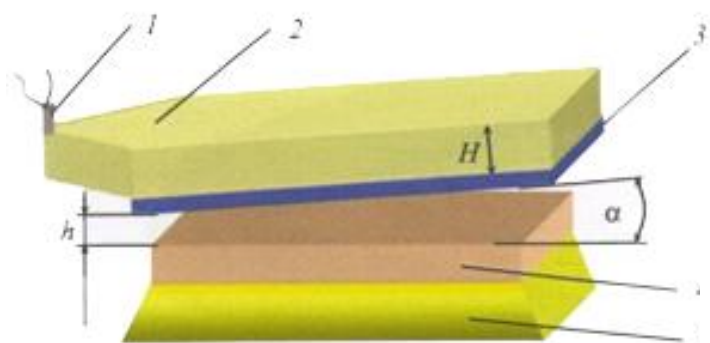
Предел прочности, σ_b 888...1127 МПа

Твердость (закалка + низкий отпуск)
58...60 HRC

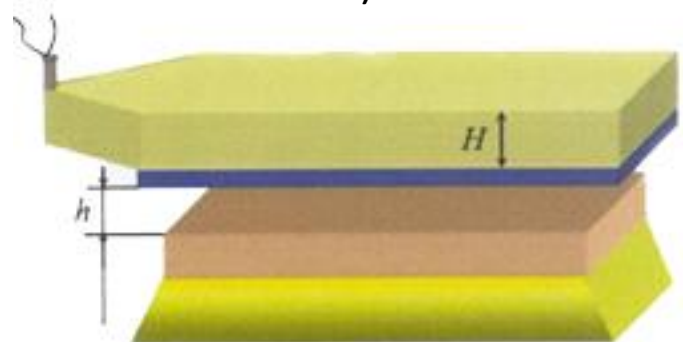
Относительное удлинение 15...17%

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ И ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ СВАРКИ ВЗРЫВОМ

5



а)



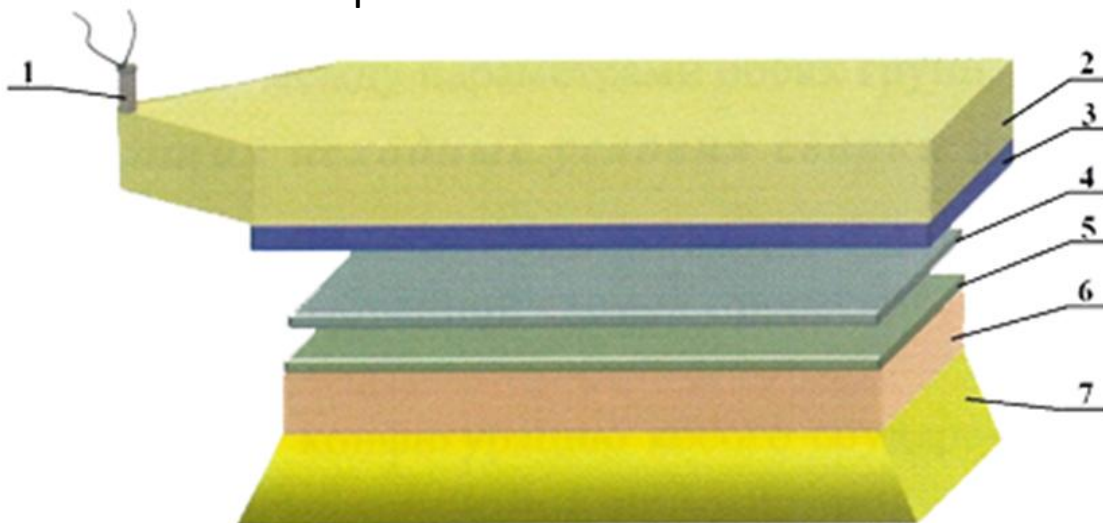
б)

Схемы сварки взрывом плоских заготовок:

а) – угловая; б) – параллельная);

1– электродетонатор, 2 – контейнер с зарядом ВВ, 3 и 4 – метаемая и неподвижная пластины соответственно, 5 – основание схемы (грунт, песок, металлическая плита и т.п.)

Схема сварки взрывом, состоящая из трех и более слоев



1 – электродетонатор, 2 – контейнер с взрывчатым веществом, 3 – метаемая пластина, 4 – промежуточная пластина, 5 – неподвижная пластина, 6 – металлическое основание, 7 – грунт

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВАРКИ ВЗРЫВОМ ОБРАЗЦОВ ИССЛЕДУЕМОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Режим сварки	Тип взрывчатого вещества	Исходные параметры сварки				Результаты расчета		
		Характеристики взрывчатого вещества			Величина зазора между слоями, мм	V_k , м/с	V_c между слоями, м/с	
		$D_{\text{ВВ}}$, м/с	$H_{\text{ВВ}}$, мм	$\rho_{\text{ВВ}}$, г/см ³			1-2	2-3
1	Игданит	2500,0	70,0	0,75	2	2500,0	540,9	508,8
2	Игданит	2300,0	60,0	0,75	2	2300,0	484,8	449,4
3	Игданит	2100,0	50,0	0,75	2	2100,0	428,6	388,7

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИТА ⁷



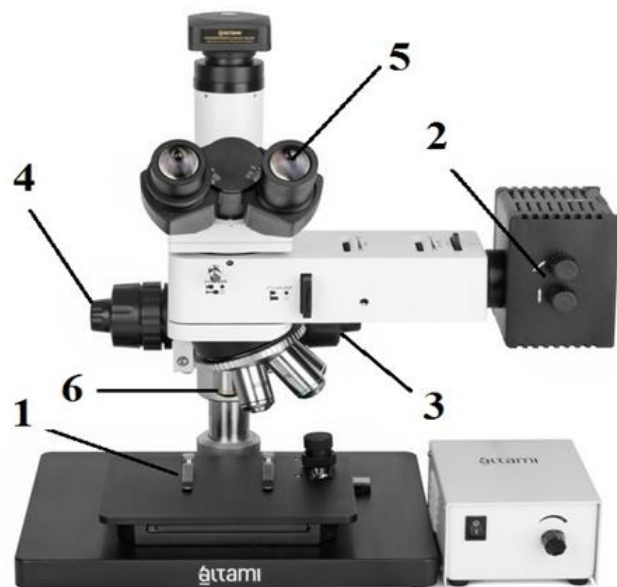
Общий вид муфельной печи

Муфельная печь применяется при обработке материалов в воздушной среде до температуры 1250 °С



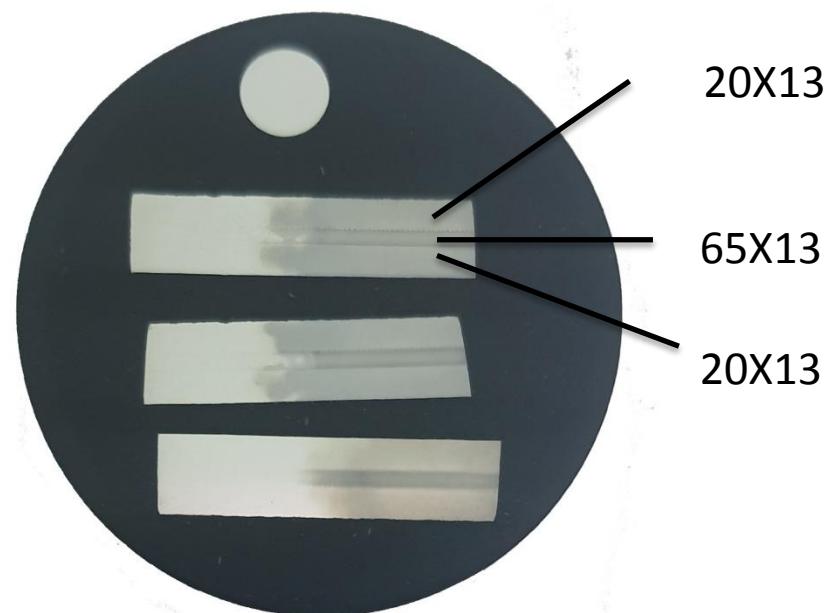
Терморегулятор ПТ200

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ КМ НА ОСНОВЕ СТАЛИ



Металлографический
микроскоп АЛЬТАМИ МЕТ 6С

1 – предметный столик; 2 – винты для
перемещения предметного столика;
3 – макровинт; 4 – микровинт;
5 – окуляр; 6 – объектив



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОДНООСНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ



Разрывная машина
ИР 5145-500



Испытания на одноосное
растяжение
экспериментальных
образцов КМ
(ГОСТ 1497-84)



Экспериментальные образцы
композиционных металлических
материалов

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ

10



Режим 1 (BB = 70 мм);
дефекты (деформация)

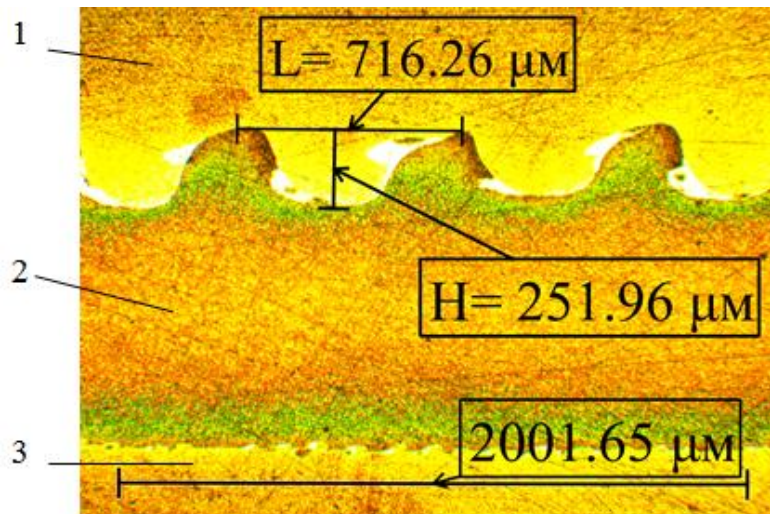


Режим 2 (BB = 60 мм);
без дефектов



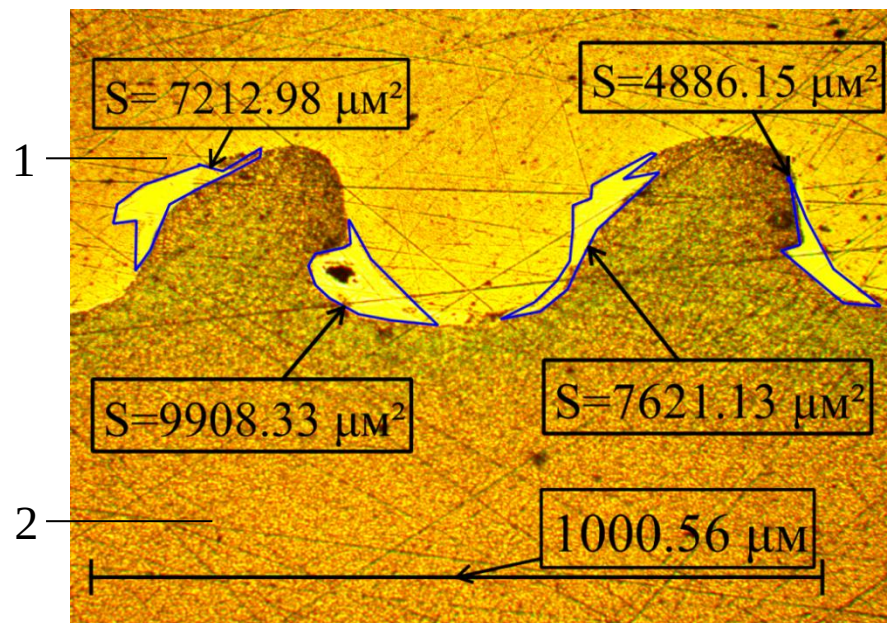
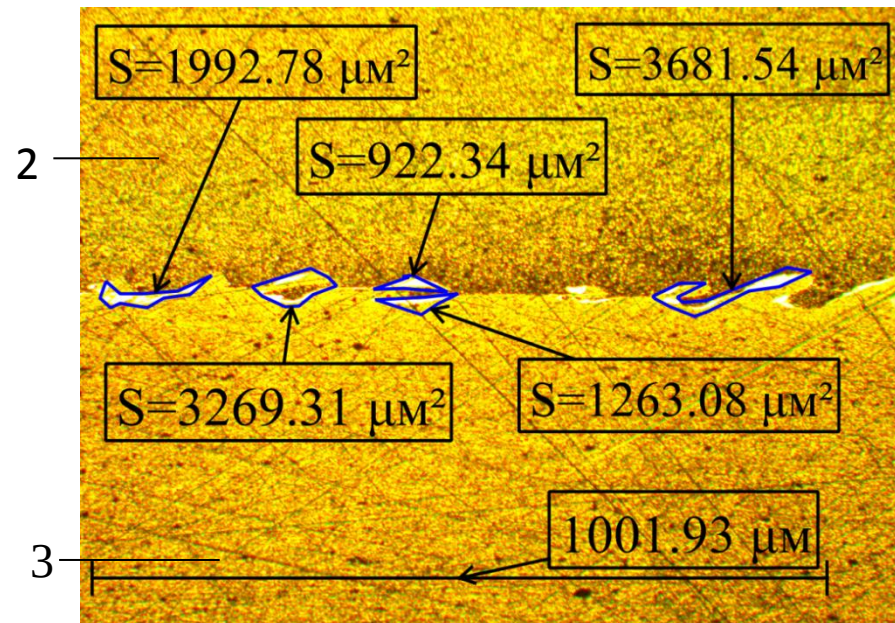
Режим 3 (BB = 50 мм);
дефекты (неполная обрубка, непровары)

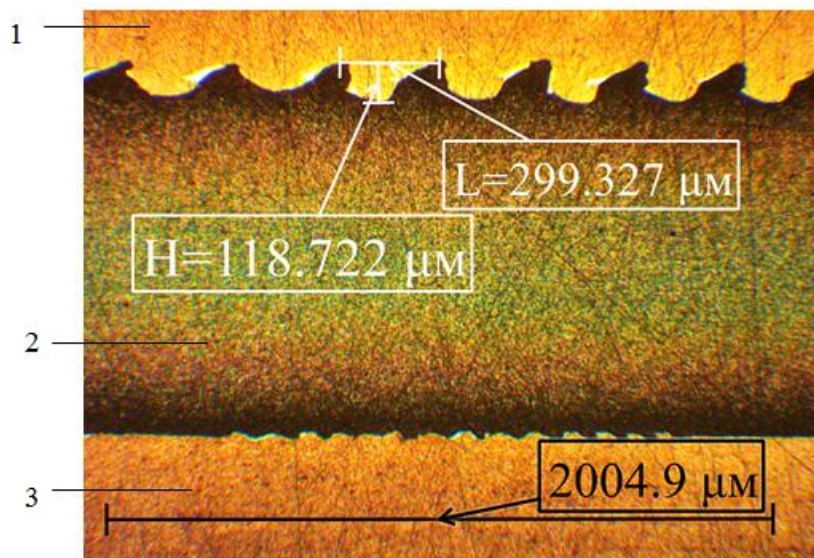
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ КОМПОЗИЦИОННОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ¹¹



1 режим, $H_{ВВ} = 70$ мм

Суммарная площадь зон оплавления на отрезке 1000 мкм составляет 29 628,3 мкм² между первым и вторым слоем и 11129,6 мкм² между вторым и третьим.

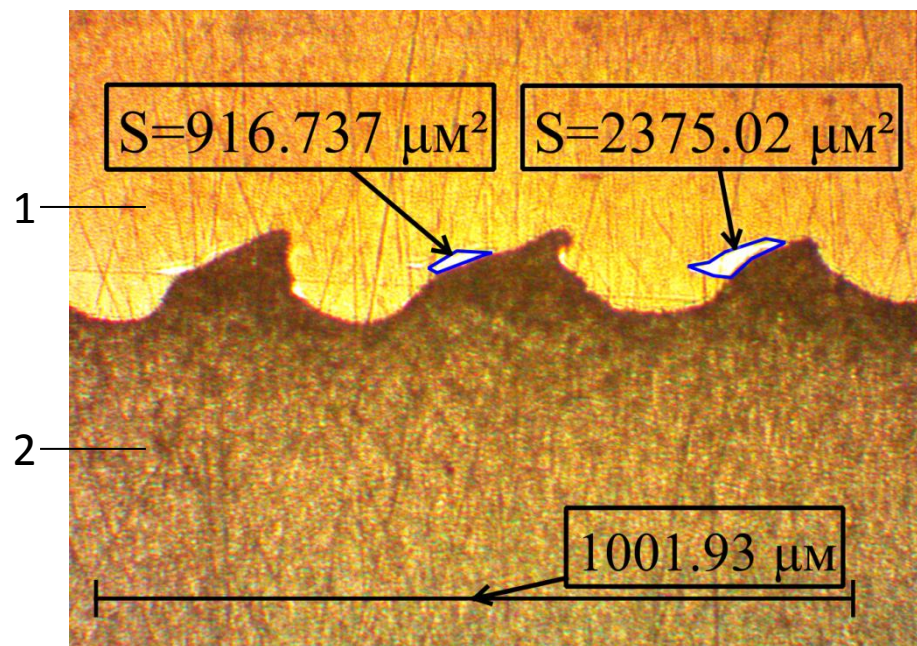
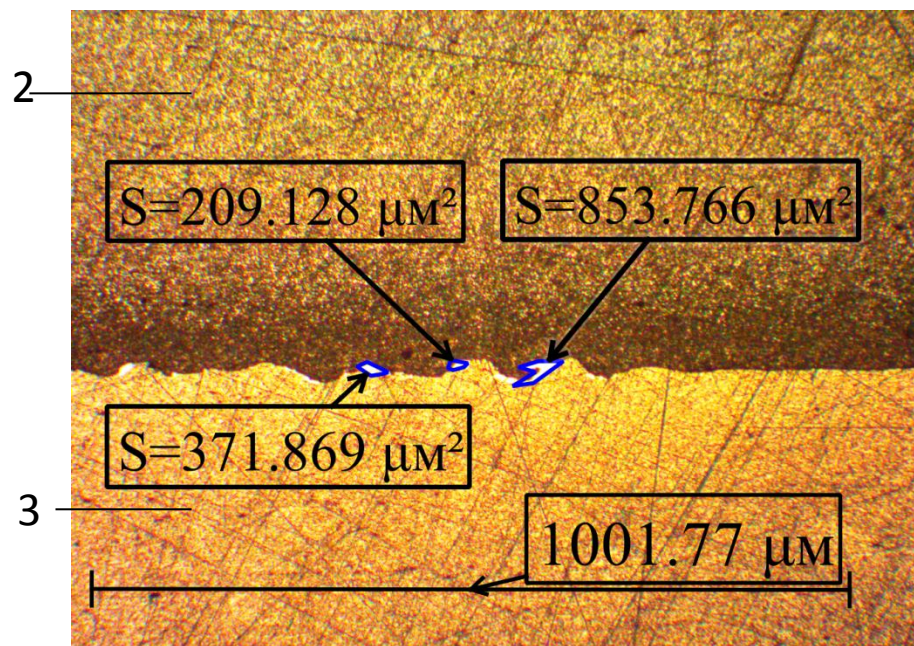


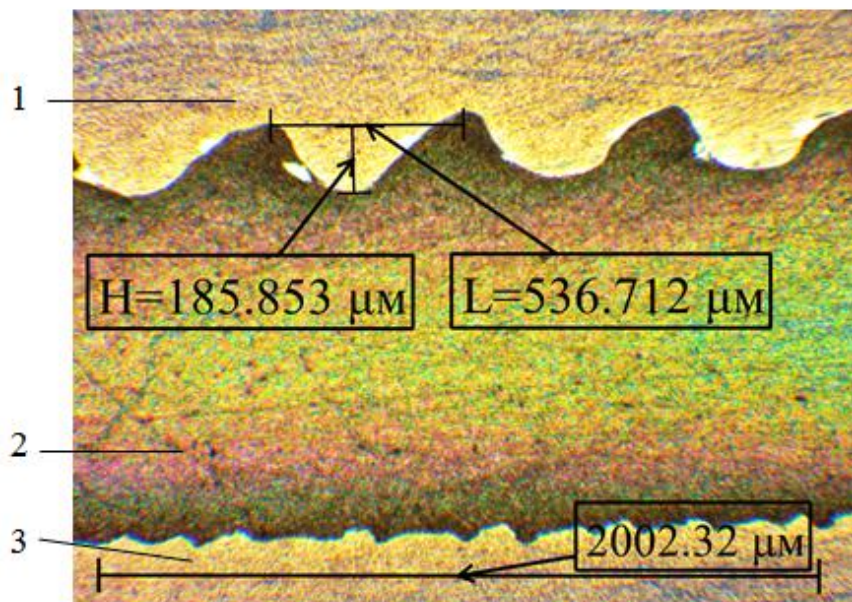


2 режим, $H_{\text{ВВ}} = 60 \text{ мм}$

Суммарная площадь зон оплавления на отрезке 1000 мкм составляет 3291,7 мкм² между первым и вторым слоем и 1438,8 мкм² между вторым и третьим.

1 — 20X13; 2 — 65X13; 3 — 20X13

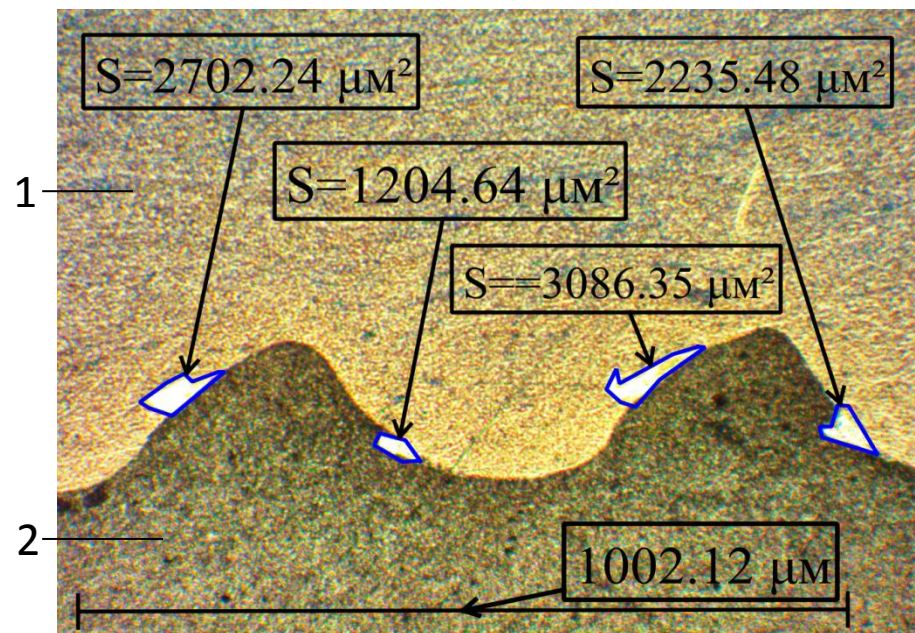
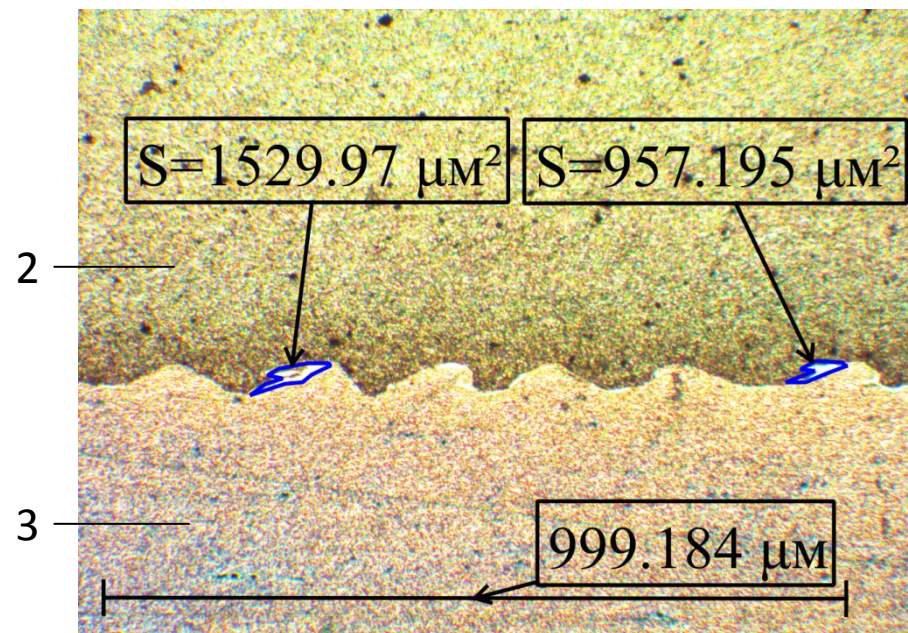




3 режим, $H_{ВВ} = 50$ мм

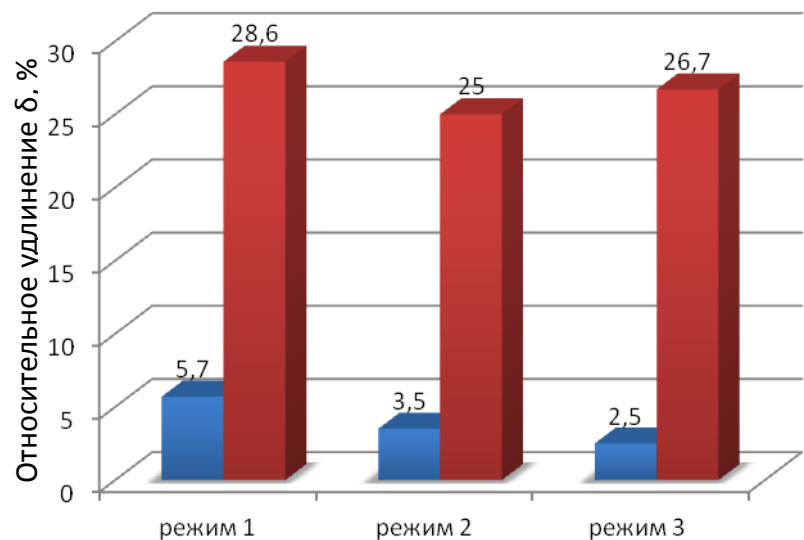
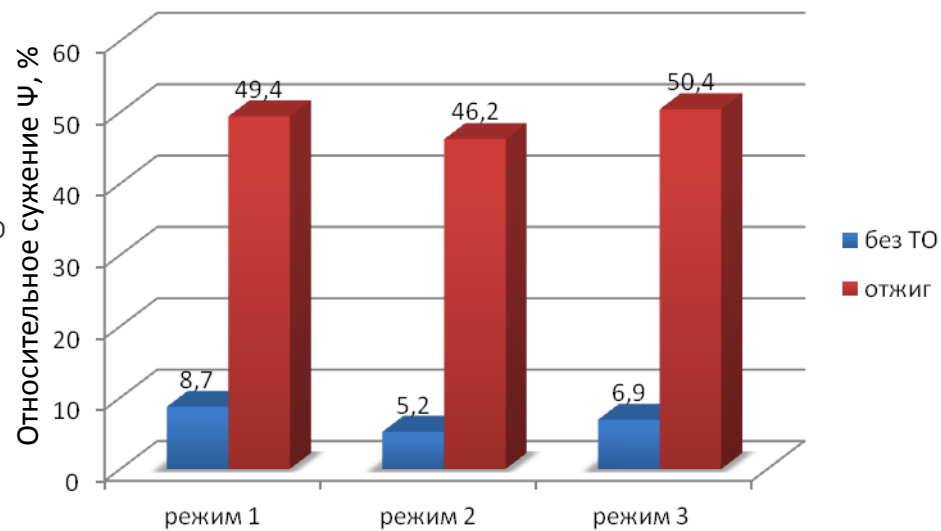
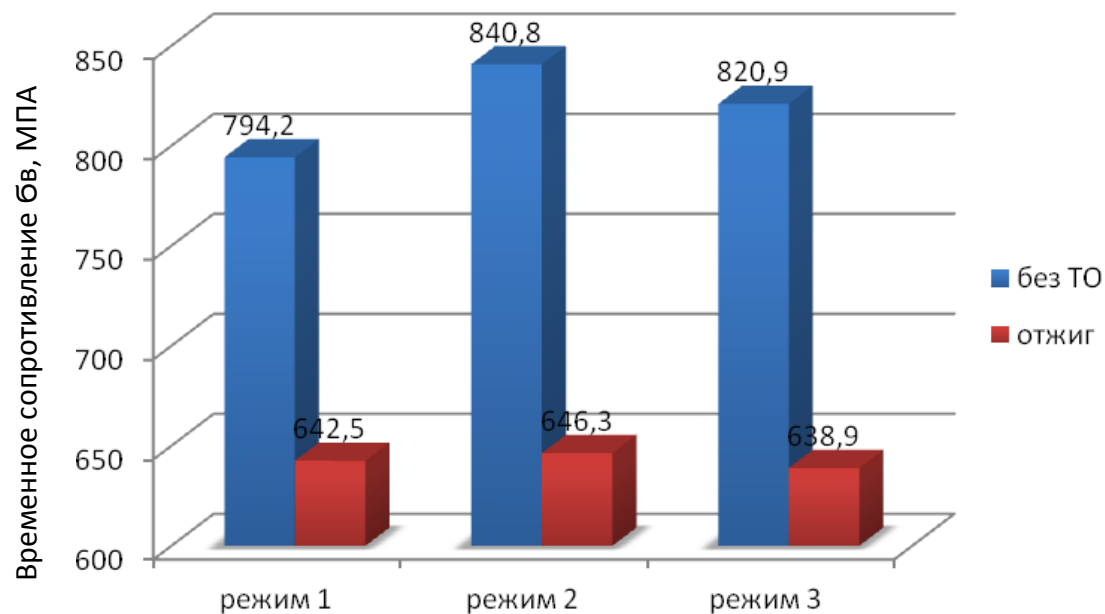
Суммарная площадь зон оплавления на отрезке 1000 мкм составляет 9227,3 мкм² между первым и вторым слоем и 2487 мкм² между вторым и третьим.

1 — 20X13; 2 — 65X13; 3 — 20X13



РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ОДНООСНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ (ПРОЧНОСТЬ НА РАСТЯЖЕНИЕ) ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

14



В результате выполнения ВКР изучены методики исследований КМ, полученных СВ. Проведены исследования микроструктуры композитов и испытания КМ на одноосное растяжение.

Определены технологические параметры СВ: $H_{ВВ}$, которая является рациональной для получения КМ с минимальными зонами оплавления.

Исследовано влияние режимов сварки взрывом ($H_{ВВ}$) на образование поверхностных дефектов и непроваров композиционного материала. Установлено, что наилучшее качество при сварке взрывом трёхслойных композитов на основе Сталь 20Х13 + Сталь 65Х13 + Сталь 20Х13 обеспечивает режим 2 ($H_{ВВ}=60$ мм).

Таким образом, цель ВКР достигнута, все поставленные задачи выполнены в полном объеме.