

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет
промышленных технологий,
электроэнергетики и транспорта
(наименование)

Кафедра
Сварочное, литейное производство
и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

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

Профиль

«Материаловедение и технология новых
материалов»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

«Исследование структуры и свойств композиционного материала
системы АМг2-М1м, полученного сваркой взрывом»

Студент

 25.06.23
(подпись, дата)

Ловинский Дмитрий Владимирович
(фио полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент

 25.06.23
(подпись, дата)

Крюков Д.Б.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

 25.06.23
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 01.06.2023 № 10)

Заведующий кафедрой

 26.06.23
(подпись, дата)

Логинов О.Н.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой удовлетворительно протокол заседания ГЭК от 27.06.2023 № 6)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

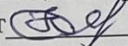
 27.06.23
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

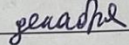
Пенза 2023

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И
ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПИМ
к.т.н., доцент  О.Н. Логинов

подпись

« 30 »  2022 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 19МТ1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Ловинскому Дмитрию Владимировичу.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Крюков Д. Б.

Время выполнения ВКР: с 30.12.2022 г. по 27.06.2023 г.

Место преддипломной практики: Каф. «КиИМ» ПГУ

Тема работы: «Исследование структуры и свойств композиционного материала системы АМг2-М1м, полученного сваркой взрывом».

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 1184/О от 30.12.2022.

Техническое задание на работу (назначение устройства, условия применения, внешние воздействия, специальные требования и т.п.): *выполнить литературное и патентное исследование способов получения композиционных материалов системы медь-алюминий и его применения в промышленности, провести исследования свойств медно-алюминиевого композиционного материала АМг2-М1м, полученного по технологии сварки взрывом.*

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;
- патентное исследование по технологиям изготовления медно-алюминиевого композиционного материала и областям его промышленного производства;
- экспериментальный раздел – описание результатов исследования влияния режимов ударно – волнового нагружения на структуру и механические свойства композиционного материала
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Презентация бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- тема ВКР	1л А4;
- цели и задачи выпускной работы	1л А4;
- сравнительный анализ технологий получения биметаллов	1л А4;
- изделия на основе композиционного материала медь-алюминий	2л А4;
- оборудование, предназначенное для исследований	1л А4;
- основные технические характеристики разрывной машины модели ИР 5047-50	1л А4;
- оборудование, предназначенное для исследований	1л А4;
- основные характеристики микроскопа Альтами МЕТ 6Т	1л А4;
- оборудование, предназначенное для исследований	1л А4;
- основные технические характеристики микротвердомера ПМТ-3	1л А4;
- расчета основных параметров процесса сварки композиционного материала медь-алюминий	1л А4;
- микроструктура зоны соединения композиционного материала медь-алюминий в зависимости от режима сварки	3л А4;
- изменение микротвердости в сварном соединении медь-алюминий в зависимости от режима сварки	1л А4;
- заключение	1л А4.

Рекомендуемая литература:

1. Хорин, А.В. Создание высокопрочного композиционного материала системы «алюминий-медь» с интерметаллическими элементами и керамическим покрытием [Текст]: автореф. дис... канд. тех. наук / А.В. Хорин. - Пенза: ПГУ, 2004. - 19с
2. Захаренко, И.Д. Сварка металлов взрывом [Текст]: учеб. пособие для вузов / И.Д. Захаренко. - М.: Наука и техника. - 1990. - 55 с.
3. Розен, А.Е. Разработка технологических схем сварки взрывом композиционного материала системы алюминий – медь [Текст] / А. Е. Розен, Д.Б. Крюков, А.В. Хорин, и др. //Сб. трудов XVIII Всероссийской научно – практической конференции под ред. Е.В. Протопопова «Металлургия: технологии, управление, инновации, качество». – Изд. центр СибГИУ. 2014. – 445 с., ил. С.281–287.

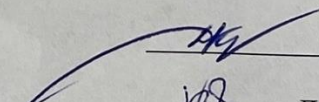
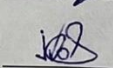
Дата выдачи задания: 30.12.2022 г.

Руководитель ВКР:

к.т.н, доцент

Задание к исполнению принял студент
гр. 19МТ1

30 декабря 2022 г.

 Д.Б. Крюков
 Д.В. Ловинский

Выпускную квалификационную работу к защите допустить
Декан факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта
ПГУ
под освоена в полном объеме.
К государственной итоговой
аттестации допустить
С.Ю. Киреев

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

«Утверждаю»
Руководитель ВКР
к.т.н., доцент Д.Б. Крюков
подпись
« 20 » декабря 2022 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 19МТ1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Ловинскому Дмитрию Владимировичу

Тема работы: «Исследование структуры и свойств композиционного материала системы АМг2-М1м, полученного сваркой взрывом».

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1 Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению ВКР.	30.12.22	10.01.23	
2 Подбор и изучение рекомендованной литературы.	11.01.23	26.01.23	
3 Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	27.01.23	04.02.23	
4 Литературный и патентный поиск по теме исследования. Теоретический анализ информации о биметаллах, их классификации и применении. Написание первого раздела работы.	05.02.23	15.02.23	
5 Обоснование применяемых методов исследования, оборудование и методика планируемых экспериментов. Разработка программы эксперимента и его осуществление. Написание второго раздела работы.	16.02.23	05.03.23	
6 Экспериментальный раздел – описание результатов исследования и выявленных зависимостей. Написание третьего раздела.	06.03.23	01.04.23	

7 Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	02.04.23	06.05.23	
8 Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	07.05.23	17.05.23	
9 Представление ВКР руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	18.05.23	27.05.23	
10 Предварительная защита ВКР	05.06.23	06.06.23	
11 Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с графической частью, протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	07.06.23	25.06.23	
12 Защита выпускной квалификационной работы	27.06.23	27.06.23	

Прохождение каждого этапа подготовки ВКР подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 19MT1  Д.В. Ловинский
 "30" декабря 2022 г.

Ректору Пензенского государственного университета

А. Д. Гулякову

от студента 4 курса ФПТЭТ очной формы обучения

Лобинский Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Лобинский Александр Владимирович студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», бакалаврская программа «Материаловедение и технологии новых материалов», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» выпускной квалификационной работы на тему:

Исследование акустических и динамических характеристик композиционных материалов типа ДК-2-М-М, полученных в процессе литья, 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 ознакомлен 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.

ЛС

(подпись студента)

27.06.2023

(дата)

ВКР представлена на проверку 27.06.2023

(дата)

Руководитель ВКР

И.О.
Подпись

Крюков Д.Б.
И.О.Фамилия

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Исследование структуры и свойств композиционного материала системы АМг2-М1м, полученного сваркой взрывом».

студента 4 курса Ловинского Дмитрия Владимировича
(И.О. Фамилия)

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

Руководитель ВКР Крюков Дмитрий Борисович к.т.н., доцент, доцент каф. «Сварочное, литейное производство и материаловедение»



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствования

Пензенский государственный университет

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Ловинский Д.В.
Самодитирование
рассчитано для: Ловинский Д.В.
Название работы: ВКР Ловинский
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: каф. «Сварочное, литейное производство и материаловедение» ПГУ

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕННЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	35.24%	СОВПАДЕНИЯ	35.24%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	62.1%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	62.1%
ЦИТИРОВАНИЯ	2.66%	ЦИТИРОВАНИЯ	2.66%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 27.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 27.06.2023 13:16

Структура
документа

Проверенные разделы: основная часть с 1, 2, 4, 35, 37, 42, 47

Модули поиска:

ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЗБС; Интернет Плюс+; Сводная коллекция РФБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НББ; Перефразирование по eLIBRARY RU; Перефразирование по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирование по Интернету; Перефразирование по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирование по коллекции

Работу проверил: Крюков Д.Б.

СМО проверющего

Дата подписи:

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который подтвердит ссылку на отчет

Если на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

Результат проверки на плагиат бакалаврской работы Ловинского Дмитрия Владимировича составляет 62,1 % оригинальности, что соответствует существующим требованиям стандарта СТО ПГУ 3.12-2018. Выпускная квалификационная работа может быть рекомендована к защите.

27.06.23
(дата)

Д.Б. Крюков
(И.О. Фамилия руководителя ВКР)

ФГБОУ ВО ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ОТЗЫВ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ
РАБОТУ СТУДЕНТА**

Ловинский Дмитрий Владимирович

Тема работы:

**«Исследование структуры и свойств композиционного материала системы
АМг2-М1м, полученного сваркой взрывом»**

Выпускная квалификационная работа Ловинского Д. В. состоит из пояснительной записки 46 страниц, 14 рисунков, 7 таблиц, 30 источников, 1 приложение. Выпускная квалификационная работа Ловинского Д. В. выполнена в соответствии с заданием. Пояснительная записка содержит следующие разделы: аннотацию; литературно-патентный обзор; теоретическую часть; экспериментальную часть; заключение.

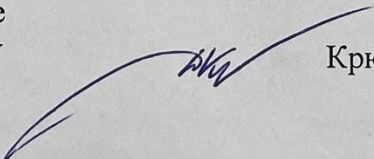
Во время подготовки выпускной квалификационной работы Ловинский Д. В. проводил свою работу в соответствии с календарным графиком, проявил творческую самостоятельность и научно-технические знания, зарекомендовал себя с положительной стороны. Работа проводилась планомерно, возникающие по работе замечания исправлялись в срок.

При работе над теоретической и экспериментальной частями работы Ловинский Д. В. зарекомендовал себя как будущий специалист в области материаловедения, обладающий профессиональными навыками работы с научно-исследовательским оборудованием, умеющий самостоятельно решать задачи в области материаловедения, использовать техническую и нормативную документацию.

Считаю, что Ловинский Д. В. заслуживает присвоения квалификации бакалавра по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», по профилю «Материаловедение и технологии новых материалов».

Руководитель ВКР

к.т.н., доцент каф. «Сварочное, литейное
производство и материаловедение» ПГУ

Крюков Д. Б.

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 54 с., 14 рис., 7 табл., 30 использованных источников и одно приложение.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СВАРКА ВЗРЫВОМ, БИМЕТАЛЛЫ, СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Целью выпускной квалификационной работы – провести исследование структуры и механических свойств КМ на основе алюминия и меди.

Задачи выпускной квалификационной работы:

а) провести патентные исследования и литературный обзор.

б) Изучить механизм сварки взрывом.

в) исследовать взаимосвязь структуры и механических свойств композиционного материала, армированного интерметаллическими волокнами.

Объектом исследования данной выпускной квалификационной работы является композиционный материал системы АМГ2-М1м.

Предметом исследования является изучение структуры и свойств полученного композита.

Структура выпускной квалификационной работы состоит из введения, трех глав и заключения. Введение дает краткое описание объекта исследования, комплекса методик и структуры работы. В первой части работы приводятся сведения о классификации, области применения и методах получения композиционных материалов. Во второй части рассматриваются общие сведения о композиционном материале. В третьей части описаны исследования механических свойств и микроструктуры композиционного материала.

При написании выпускной квалификационной работы была использована, учебная литература, государственные стандарты, научные статьи, различные интернет – ресурсы.

Содержание

Введение	6
1 Литературно – патентный обзор	8
1.1 Патентное исследование	8
1.2 Биметаллы, двуслойные композитные материалы	13
1.3 Получение композитного материала	14
1.4 Получение армированного композитного материала	15
2 Получение КМ с использованием сварки взрывом	18
2.1 Параметры режима сварки	23
2.2 КМ алюминий-медь, полученный сваркой взрывом	26
2.3 Дефекты после сварки взрывом	31
2.4 Область применения сварки взрывом	33
3 Получение КМ с использованием сварки взрывом	34
3.1 Изучение структуры	36
3.2 Расчет параметров образования интерметаллидов	38
3.3 Изучение механических свойств КМ Al-Cu	41
Заключение	44
Список используемой литературы	46
Приложение	49

Введение

Композиционные материалы — это материалы, имеющие в своём составе два и более компонентов, в сочетании которые позволяют получить отличные от изначальных механические, химические, прочностные характеристики. В различных областях промышленных работ. Исходя из этих параметров, для этого подойдут биметаллы и многослойные материалы.

В настоящее время национальные и международные эксперты активно исследуют технические решения для улучшения прочностных свойств, устойчивости к растрескиванию, окислению и ползучести композиционных сплавов.

Кроме того, были разработаны и успешно испытаны в условиях промышленного производства с использованием различных подходов, таких как термическая обработка. Металлы и сплавы способны выступать в роли матрицы композиционного материала.

К материалам, которые так же подходят на роль матрицы относятся полимеры, органические и не органические материалы и д.р. Эксплуатационные свойства и процесс получения композита, определяются с помощью свойств матрицы.

На сегодняшний день широко используются методы изготовления биметаллов на основе литейных методов с использованием заливки, получение биметаллов совместной пластической деформацией, методы на основе сварки. Так же для создания тонколистовых биметаллов используют сварку взрывом.

Данный метод позволяет получить высокую экономическую выгоду по сравнению с другими методами получения данных материалов. К тому же некоторые свойства материалов, возможно получить только с помощью данного метода.

Для вышеперечисленных целей как раз-таки больше всего подходят биметаллы и многослойные материалы. Наличие нескольких материалов в одной

«упаковке» позволяет получить намного больше свойств и подстроить характеристики используемого материала под конкретную задачу.

Слоистые композиты — это композиты, имеющие чётко различимые границы фаз. Они более ластичные и лучше поддаются механическим воздействиям. Изготавливаются с помощью нескольких технологических процессов. Для их получения используют такие технологические процессы, как прокатка, диффузионная сварка.

Вышеперечисленные методы, одни из самых востребованных и максимально изученных в настоящее время.

Использование данного метода экономически выгодно. Особенно если это касается крупногабаритных материалов. Получение нужных свойств для используемого в дальнейшем материала чаще всего определяется набором исходных компонентов.

1 Литературно – патентный обзор

В выпускной квалификационной работе рассматривается технологический процесс получения композиционных материалов, полученных методом сварки взрывом.

Для определения классификации предлагаемой технологии производства композиционных материалов необходимо провести обзор литературы и патентов.

Обзор литературы и патентов проводится с целью выяснения современного состояния научно–исследовательских и опытно–конструкторских работ по рассматриваемой проблеме.

1.1 Патентное исследование

Патентные исследования — это исследования технического уровня и тенденций развития объектов техники, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности на основе патентной и другой информации.

Цель исследования — получение КМ система *AMg2-M1m*.

Регламент патентного поиска — это план поиска. Он состоит из определения вида исследований, вида поиска, его глубины и широты. В регламент входит выбор источников информации.

Выбранные элементы регламента приведены в таблице 1.1. В ней записаны индексы МПК, в заголовке таблицы регламента указано общее название исследуемого объекта.

Исследуемый объект — использование силы ударной волны на формирование композитного материала.

Предмет поиска — получение многослойного композитного материала.

Вид исследований и вид поиска — патентные исследования, тематический поиск.

Наименование информационной базы (фонда) — Патентные фонды Федерального института промышленной собственности (ФИПС).

Таблица 1.1 — Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источник информации
Сварка взрывом	<i>B23K 20/08</i> <i>B23K 20/10</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Композиты на основе медь-алюминий	<i>B23K 20/08</i> <i>B32K 15/01</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
неразъемные соединения	<i>B23K 20/08</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Композитный материал сваркой взрывом	<i>B23K 20/08</i> <i>B32K 15/01</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Композитный материал с высокими параметрами прочности	<i>B32B 7/04</i> <i>B32B 15/01</i> <i>B23K 20/08</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Слоистый композитный материал	<i>B32B 15/00</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Композитный материал с повышенными температурными параметрами	<i>B23K 20/08</i> <i>B32B 7/04</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС

Характеризуемые связями между слоями; слоистые изделия, характеризующиеся относительной ориентацией элементов между слоями или относительными величинами измеряемых параметров между слоями, т.е. изделия, содержащие слои, имеющие различные физические, химические или физико-химические свойства; слоистые изделия, характеризующиеся взаимосвязями слоёв.

Результаты патентного обзора приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 — Результаты патентного обзора

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель) номер заявки, страна, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Использование при изготовлении биметаллических заготовок и переходных	Россия, патент, <i>RU 2 516 179 C1</i> <i>B23K 20/08</i> <i>B23K 20/10</i>	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего	Способ комбинированной сварки взрывом [5]

элементов преимущественно из разнородных металлов		профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет» № 2012154752 Россия 17.12.2012	
Способ получения композиционных медно-алюминиевых изделий с внутренней полостью сваркой взрывом [6]	Россия, патент, <i>RU 2 399 470 C1</i> <i>B23K 20/08</i> <i>B32K 15/01</i>	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет» № 2009116041 Россия 20.09.2010	Способ получения композиционных медно-алюминиевых изделий с внутренней полостью сваркой взрывом [6]

Продолжение таблицы 1.2.

1	2	3	4
Изобретение может быть использовано при получении плоских заготовок сваркой взрывом стали с алюминием, титаном, сталью.	Россия, патент, <i>RU 2 185 942 C1 B23K 20/08</i>	Пензенский государственный университет № 2001103660 Россия 27.07.2002	Способ получения неразъемных соединений сваркой взрывом [7]
Изобретение может быть использовано при изготовлении изделий из специальных материалов с повышенными теплозащитными свойствами для теплообменной аппаратуры,	Россия, патент, <i>RU 2 221 682 C1 B23K 20/08 B32K 15/01</i>	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет» № 2002111280 Россия 20.01.2004	Способ получения композиционного материала [8]
Изобретение может быть использовано для получения композиционных материалов с высокими значениями предела прочности и модуля упругости	Россия, патент, <i>RU 2 522 505 C1 B32B 7/04 B32B 15/01 B23K 20/08</i>	Общество с ограниченной ответственностью Инженерно-Технологический Центр «Сварка» № 2013119389 Россия 20.07.2014	Способ получения композиционного материала с высокими значениями прочности [9]
Изобретение предназначено для изготовления изделий повышенной прочности и жаропрочности.	Россия, патент, <i>RU 167 018 C1 B32B 15/00</i>	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» № 2016137956 Россия 20.12.2016	Слоистый композитный материал [10]
Изобретение относится к технологии	Россия, патент, <i>RU 2 293 004 C1 B23K 20/08</i>	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский	Способ получения композиционного материала с особыми

получения композиционных материалов с особыми тепловыми свойствами	<i>B32B 7/04</i>	государственный технический университет» № 2005113324 Россия 10.02.2007	тепловыми свойствами [11]
---	------------------	---	------------------------------

На основании проведенного патентного поиска можно сделать вывод о том, что сварка взрывом является перспективным методом получения биметаллов.

1.2 Биметаллы, двуслойные композитные материалы

Биметалл это двухслойный или многослойный материал, получающийся из двух различных металлов или сплавов, соединение которых обладает повышенной надежностью между собой по всей поверхности контакта, и представляющее собой монолитное целое. Применяют для повышения прочности и жаростойкости конструкций или как материал со специальными свойствами [1]. Такой материал легко получить, что делает его востребованным.

Однако использование трёх и более компонентов зачастую не применяется, ведь намного реже для создания биметалла используют многослойные материалы, состоящие из трех или более различных металлов или сплавов. Данные получающиеся композиции можно так же условно считать биметаллом, так как в нем имеется два или более различных материала.

Рассматриваемый материал является прогрессивным и имеет успешное использование в различных сферах промышленности [2].

Данные композиционные материалы являются одними из наиболее успешных заменителей дефицитных дорогостоящих металлов и сплавов, с целью продуктивной экономии.

В связи с многообразием использования на сегодняшний день биметалл производится в различных видах, а именно в виде листов, лент, полос, прутков, проволоки, тросов, фасонных профилей и труб. Из данного перечисления выражено, что биметалл изготавливается в огромном аспекте видов изделий и используется в областях, где распространены привычные стали и сплавы [2].

1.3 Получение композитного материала

Композитные материалы (КМ) – гетерогенные материалы, которые могут состоять из нескольких компонентов.

Один из компонентов представляет из себя гибкую основу (матрицу), а остальные представляют из себя армирующий наполнитель, которые обеспечивают повышение прочности, жёсткости и т.д.

Использование различных составляющих обеспечивает создание новых материалов, которые кардинально могут отличаться от материалов с исходными свойствами. Разный состав матрицы и наполнителя позволяет получать композиционные материалы, которые можно эксплуатировать в различных условиях.

К традиционным методам получения КМ можно отнести твердофазный и жидкофазный метод. Их можно разделить на *ex-situ*, когда армирующие элементы заготавливают и добавляют заранее, вне матрицы элемента и уже потом добавляют при получении КМ. *In-situ* метод, можно охарактеризовать метод при котором армирующие частицы получают с помощью химической реакции в матрице во время изготовления композита

В настоящее время широкое применение приобрели такие твердотельные технологии, как: порошковая металлургия, механические сплавы, диффузионная сварка, ламинирование, прессование, взрывная сварка, магнитно-импульсный метод, электроискровое плазменное спекание [1].

Твердофазные методы, так как данный метод используется для получения композитов с повышенными физикомеханическими и эксплуатационными свойствами.

Перед тем как в матрицу добавляется армирующий элемент, его нужно подвергнуть дополнительной обработке, а именно: механическое или химическое смешение, окисление, разложение смеси солей, водородное восстановление. Сплавы, полученные *in-situ* методами, показывают увеличение прочности, устойчивость к ползучести, однако, показатель пластичности ухудшается.

1.4 Получение армированного композитного материала

Данный метод является экономически выгодным, для производства, так как позволяет получить материал при малых затратах, при этом с нужными свойствами.

К жидкофазным процессам относят различные способы пропитки. Основными сложностями являются о смачивание.

В зависимости от размеров волокон, характера их расположения применяют смешение в расплаве, литье с пропиткой, в том числе под давлением. Пропитка заключается в пропускании непрерывных волокон через расплав в калиброванное отверстие.

Взаимодействие волокна и расплава обеспечивает получение жгутов илент. Литье с пропиткой применяют для мелких изделий. В пресс-форму помещают волокнистую преформу, затем подают необходимое количество металла. Прикладывают давление для уменьшения пористости.

Учитывая характеристики огнеупорных материалов, в некоторых случаях прицепу огнеупорного типа необходимо заменить грунтовку при высокой температуре, чтобы рабочая поверхность была легче, чем при шлифовании, значительно облегчить конструкцию при сохранении температуры и даже значительно повысить производительность.

В условиях производства при нанесении стеклоочистителя на рабочие поверхности облицовочной стены любого активного теплового агрегата создание защитного и укрепляющего слоя обычно осуществляется с помощью пневматических инструментов или пистолетов-распылителей. Стоит отметить, что после завершения заправки термоядерного материала защитный слой муллита был окрашен в черный и серый цвета.

Однако при обнаружении высокотемпературного слоя щита, образующегося при длительных (несколько месяцев) условиях эксплуатации котла или печи, изменяется обесцвечивание покрытия и постепенно расплавляется характерный оттенок оксида алюминия.

Он широко используется в различных огнеупорных, теплоизоляционных и изоляционных материалах, тепловых и выхлопных котлах, ТЭЦ, металлургических печах, плавильных банях, реакторах, химических и нефтехимических печах, переработке отходов, проектировании различных строительных материалов, обжиге в печах и других отраслях промышленности. Керамика, по определению, например, глина, огнеупорные металлы и оксиды неметалла, карбюраторы, нитриты и др.

Это материал или про-губка из огнеупорных материалов. В зависимости от изменений различают строительную, огнеупорную, химически стойкую, коммерческую и техническую керамику. Огнеупорная керамика в основном используется в экстремальных температурных условиях (стальные и стальные печи, литые ведра и канавки и т. Д.) Используется Алумининозидовое сырье (песок, глина, глинозем, перлит, вермикулит и др.), исходя из этого, это способы изготовления керамики и изделий. При нормальных технологических условиях структура и огнеупорная структура образуются при длительном обжиге формованного сырья в длительных печах в результате реакции, которая может быть выражена путем выравнивания.

Направленная кристаллизация эвтектических сплавов приводит к образованию материала с двухфазной микроструктурой. Одна из фаз имеет форму стержней, ориентированных параллельно направлению распространения фронта кристаллизации. Однонаправленный рост эвтектики осуществляется путем плавления материала посредством индукционного нагрева.

Железосодержащие связующие вещества, широко используемые при производстве тяжелых термостойких бетонов, широко использовались в качестве фосфатных цементов.

В качестве активной части агрегата используются пиритные вещества. Связующие фосфаты циркония производятся путем взаимодействия. Из-за высокие стоимости соединений циркония такие связующие вещества широко не используются. Многочисленные исследования.

В дополнение, стабилизированное влияние катионов хрома было использовано и в других связующих веществах. октябре. Согласно данным, связи хромфосфата натрия и хромфосфата магния использовались для производства тяжелых термостойких бетонов магния, алюмосиликата и кремнезема. В литературе также описаны связующие фосфат хрома цинка и кал-циалюмохромфосфат. Однако связующие вещества широко не использовались.

2 Получение КМ с использованием сварки взрывом

Для получения сварных соединений однородный и разнородных металлов применяют твердофазный контролируемый технологический процесс, который называется сварка взрывом. Воздействие на металл воспроизводится посредством импульса. Этот способ в редких ситуациях представляется единственным из возможных методик, применяемых для изготовления композиционного материала. В способе сварки взрывом не применяется дорогостоящее оборудование узкой направленности. На сегодняшний день есть множество различных схем вышеупомянутого процесса.

Для конструкторских целей используются сплавы. Делается это из-за того, что их физико-химические и механические свойства отвечает высоким требованиям в отраслях промышленного производства, в авиации, конструировании судов, медицине.

В связи с низким удельным весом и приемлемыми прочностными и усталостными характеристиками позволяет использовать изделия из этого материала практически при любых внешних условиях и нагрузках. Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью, что добавляет им приоритет при выборе. Характеристика прочности – является одним из главных внешних параметров для определения качества конструкционных титановых сплавов.

Для того, чтобы повысить прочностные характеристики сплава, чаще всего могут воспользоваться методами, основанными на легировании. Так же не обходят такие способы как термообработка и интенсивная пластическая деформация. Методы или способы представленные выше, дают возможность изменять предел прочности до необходимого показателя. Сплавы способны достигать прочность до 1200 МПа. Однако технически чистый материал имеет предел прочности не выше 450 МПа. Так же хотелось бы заметить, что при термообработке отдельных высоко прочных сплавов системы АМГ2-М1м, позволяет достичь предел прочности в 1100 МПа. Так же как один из методов повышения прочностных характеристик – это равноканальное угловое

прессование. Использование данного метода позволяет увеличить прочностные характеристики в 2,5 раза.

Однако, без минусов использования методов выше, не обойтись. Воздействие на материал описанное выше, понижает его пластичность, ударную вязкость. Это в свою очередь накладывает отрицательный эффект на надёжность изделий из такого материала. Проблема, связанная с понижением свойств, перечисленных выше, можно решить использованием слоистых композитов. Если сравнить их с целостным материалом, композиты, после одинаковых манипуляций имеют более высокий показатель трещиностойкости, ударной вязкости, усталостной долговечности. Это обусловлено влиянием межслойных границ раздела. Они не дают образовываться трещинам, скорость их продвижения замедляется. Слоистые композиты изготавливаются с помощью нескольких технологических процессов. Для их получения используют такие технологические процессы, как прокатка, диффузионная сварка.

Развитие промышленного производства в различных отраслях, таких как машиностроение, черная и цветная металлургия, химическая нефтепереработка, основывается не только на увеличении объемов производства, но и на повышении качества материалов, способных выдерживать очень высокие температурные воздействия.

Производство термостойких композиционных материалов занимает важное место в народном хозяйстве, обеспечивая тем самым не только технический прогресс в стране, но и высокие темпы развития промышленности и народного хозяйства.

Однако даже при таком уровне производства материалов они не удовлетворяют увеличенные потребности народного хозяйства, а также промышленного производства тем самым задерживая развития новой техники и повышение эффективности общественного производства. Однако, к сожалению, жаростойкие материалы имеют и недостатки: чувствительность к режиму укладки, твердения, сушки и первого нагрева, повышенная усадка (по сравнению с фрагментированными огнеупорами) и трудности работы в условиях

отрицательных температур. В то же время эти недостатки нерегулярных структур компенсируются достоинствами, а также возможностью изготовления более технически совершенных футеровок и футеровок, которые, несмотря на материалоемкость конструкций, будут обладать теплофизическими свойствами.

Особенностью жаростойких фосфатных материалов является то, что они приобретают свои основные физикомеханические свойства после сушки и после первоначального нагрева до температуры эксплуатации непосредственно в конструкции. Отвержденный жаростойкий фосфатный материал в виде композита, в котором частицы заполнителя спекаются путем склеивания, используется как часть огнеупора. В отличие от портландцемента, они не взаимодействуют с водой с образованием гидроксида кальция или других веществ, которые снижают эксплуатационную стойкость огнеупорных материалов.

Влага в затвердевшем глиноземистом цементе и высокоглиноземистом цементе начинает постепенно выделяться при нагревании, не оказывая существенного влияния на структуру цементного камня. Это снижает потерю прочности фосфатных материалов при нагревании.

Соединения под воздействием высокого давления, имеет сходство со сваркой взрывом. Методики их применения очень схожи между собой. Одним из таких моментов, является момент с поддержанием высокой температуры. Если не соблюдать необходимые условия, процесс становится невозможным. Если поверхности не пластичны, процесс не принесёт нужного результата. При плотном соединении между собой соблюдаются нужные требования, это и приводит к получению результата. Снижение характеристик упругости и надёжности обусловлено тем, что во время сварки взрывом идёт одновременное перемещение двух пластин. Параметр, из-за которого идёт прямое воздействие на вид соединения способен повлиять на обрабатываемой зону тепловой концентрации скоростью соответствия. В данной сфере не установлены какие-то точные методики.

В медицине широко распространено применение данных материалов, так как это одно из перспективных направлений. В частности, это стоматология, ведь там нужны прочные и долговечные материалы. В основном их использование идёт в изготовлении зубных имплантов. Так же использование данного материала можно заметить в производстве инструмента и оборудования в больницах и лечебно-профилактических центрах. Полученные экспериментальным путём материалы, чётко показали путь экономического прорыва, что позволило увеличить качество и уменьшить себе стоимость производства огромного количества полезных для многих инфраструктур материалов.

Принципиальная схема сварки взрывом показана на рисунке 2.1. На основании 1 (земляной грунт, дерево, металл и т. п.) расположена одна из свариваемых деталей 2 (в простейшем случае пластина), над ней параллельно с определенным зазором h расположена вторая деталь 3 на технологических опорах 4. На ее внешней поверхности находится заряд ВВ 5 заданной высоты H и площади, как правило, равной площади пластины 3 (наиболее широко применяемые для сварки взрывом насыпные ВВ помещаются в открытом контейнере соответствующих размеров). В одном из концов заряда ВВ находится детонатор 6.

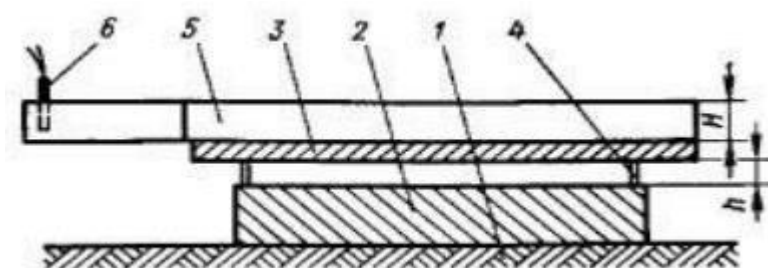


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема сварки взрывом

При установившемся процессе метаемая пластина на некоторой длине дважды перегибается, ее наклонный участок со скоростью $\vartheta_k = D$ движется за фронтом детонационной волны, а участок перед ее фронтом с непродетонировавшей частью заряда ВВ под действием сил инерции продолжает занимать исходное положение, показано на рисунке 2.2.

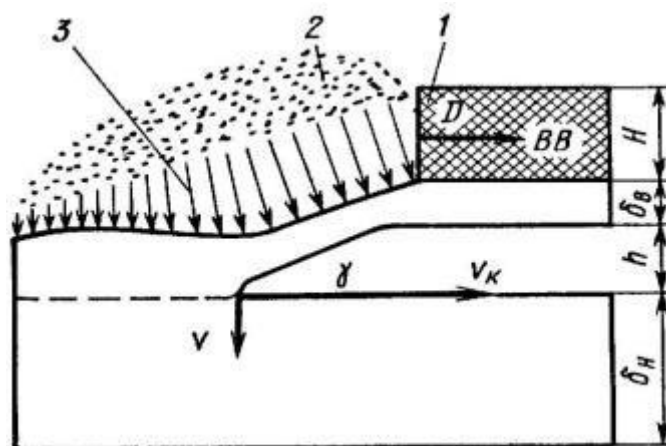


Рисунок 2.2 – Схема установившегося процесса сварки взрывом. 1 – фронт детонационной волны; 2 – фронт разлета продуктов взрыва ВВ; 3 – фронт волны разрежения; D – скорость детонации ВВ; V – скорость соударения пластин; V_K – скорость кумулятивной струи, перемещения «динамического угла встречи» соударяющихся пластин в направлении сварки; δ_B – толщина метаемой пластины; δ_H – толщина неподвижной пластины.

Сварку взрывом для соединения разнородных металлов и сплавов — граница раздела металлов обычно резко выражена и имеет вид регулярных синусоидальных волн, показано на рисунке 2.3.

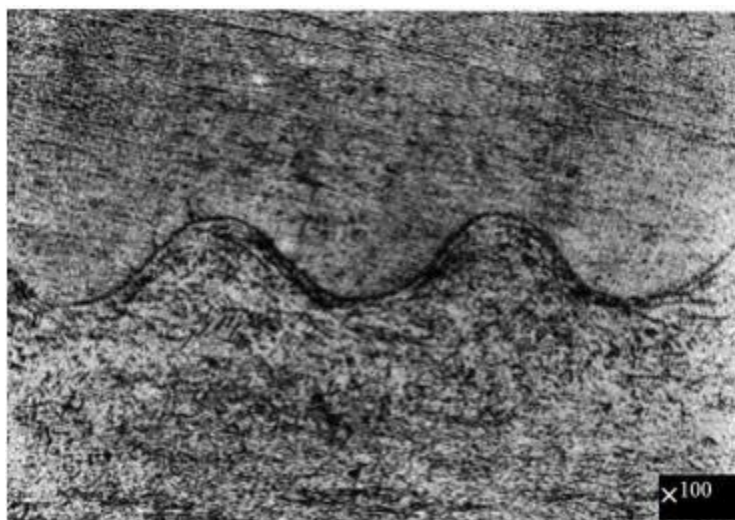


Рисунок 2.3 – Типичная граница раздела металлов в соединениях, сваренных взрывом. Вверху – ниобий, внизу-медь

2.1 Параметры режима сварки

Если принять продукты взрыва за политропический газ, то уравнение политропы имеет вид [7]:

$$p = B' \rho^{\kappa}, \quad (2.1)$$

где κ – показатель политропы;

B' – константа, которая может быть определена, если известны параметры детонации в точке Чепмена–Жуге.

При исследовании процесса соударения и его основных физических параметров необходимо учитывать сжимаемость, прочностные и теплофизические свойства материалов соударяющихся тел [7].

Параметры, определяющие взаимное расположение пластин. В случае соударения пластин исходное расположение тел определяется минимальным начальным расстоянием между метаемой пластиной и неподвижной h_0 и начальным углом между пластинами α .

Из источника [9] основные параметры сварки взрывом подразделяются на: технологические, кинематические и физические.

К технологическим параметрам процесса относят: скорость детонации D , характеризующую заряд ВВ и его плотность; безразмерный параметр r – отношение массы заряда ВВ к массе метаемой пластины [7]:

$$r = \delta_0 \cdot \rho_0 / \delta_1 \cdot \rho_1, \quad (2.2)$$

где δ_0, ρ_0 – толщина и плотность заряда ВВ, мм и кг/м³;

δ_1, ρ_1 – толщина и плотность метаемой пластины, мм и кг/м³.

Скорость метания пластины для смесевых ВВ рассчитывают по формуле [7]:

$$V_0 = 1,2 \cdot D \frac{\sqrt{1+(32/27)r}-1}{\sqrt{1+(32/27)r+1}}, \quad (2.3)$$

Под действием продуктов детонации пластина, первоначально установленная под углом α , поворачивается на угол β , а угол соударения $\gamma = \alpha + \beta$ определяется как [7]:

$$\gamma = \alpha + 2 \cdot \arcsin \frac{V_0}{2 \cdot D}, \quad (2.4)$$

Отсюда скорость точки контакта определяется из выражения [7]:

$$V_K = D \frac{\sin(\gamma - \alpha)}{\sin \gamma}, \quad (2.5)$$

При параллельном расположении пластин скорость движения точки контакта, характеризующая скорость распространения зоны высокого давления по свариваемым поверхностям равна скорости детонации [7]:

$$V_K = D \quad (2.6)$$

Для обеспечения соединения при сварке взрывом одним из необходимых условий является возникновение пластического течения в зоне контакта. Следовательно, необходимо соблюдение условия:

$$V_K < C_0 \quad (2.7)$$

где C_0 – скорость звука в металле

Для получения нормального соударения скорость метаемого элемента может быть вычислена путем совместного решения уравнений [7]

$$V_o = D \left[1 + \frac{\theta^{-1}}{\theta \cdot \eta} - \frac{\delta_0}{D \cdot t} \cdot \theta \right] \quad (2.8)$$

$$X = D \cdot t \left[1 + \frac{\theta^{-1}}{\theta \cdot \eta} \right] - \delta_0 \quad (2.9)$$

$$\eta = \frac{16}{27} \cdot \frac{\delta_0 \cdot \rho_0}{\delta_1 \cdot \rho_1} \quad (2.10)$$

$$\theta = \left[1 + 2 \cdot \eta \left(1 - \frac{\delta_0}{D \cdot t} \right) \right] \quad (2.11)$$

где δ_0 – толщина заряда ВВ, мм.

Расчет давления в области соударения предложено производить по формуле [7]:

$$P_k = \frac{\rho_2 \cdot V_0}{\left[\frac{1 - \rho_2}{\sqrt{\rho_2}} + \frac{1 - \rho_2 \cdot \rho_2'}{\sqrt{\rho_1 \cdot \rho_2'}} \right]} \quad (2.12)$$

где V_0 – скорость соударения, м/с;

ρ_1 и ρ_2 – начальные плотности пластин, г/см³;

ρ_1' , и ρ_2' – плотности при давлении P_k , г/см³.

По формуле можно рассчитывать давления в области соударения, если заданы скорость и уравнение состояния данных металлов. Следует отметить, что уравнения состояния металлов:

– для метаемой пластины:

$$\rho = A_1[(\rho/\rho_1)^{n_1} - 1] \quad (2.13)$$

– для неподвижной пластины:

$$\rho = A_2[(\rho/\rho_2)^{n_2} - 1] \quad (2.14)$$

При сварке взрывом важной является не только величина давления, но и длительность действия давления τ на метаемую пластину. Она может быть приближенно оценена по формуле [9]:

$$\tau = \frac{2\delta_1}{C_0} \quad (2.15)$$

где δ_1 – толщина метаемой пластины, мм;

C_0 – скорость звука в металле пластины, м/с.

Предложена формула для расчета температуры в любом сечении сварного соединения, которая имеет вид [7]:

$$T = T_1 + \frac{Q_1}{2 \cdot C \cdot \rho \sqrt{\pi \cdot \alpha \cdot t}} \exp\left(-\frac{y^2}{4 \cdot \alpha \cdot t}\right) \quad (2.16)$$

где T_1 – относительная температура полученного соединения, вычисляется по формуле [9]:

$$T_1 = \Delta T + T_0 \quad (2.17)$$

где ΔT – величина прироста температуры, К;

T_0 – начальная температура, К;

α – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$;

C – теплоемкость материала, Дж/(кг·К);

y – расстояние от шва, мм.

Q – мгновенная теплота, выделенная в зоне соударения [7]:

$$Q = k \cdot \frac{\pi}{4} \sqrt{1 - \frac{V_k^2}{C_0^2}} \cdot V^2 \cdot \rho \cdot \frac{\delta_1 \cdot \delta_2}{\delta_1 + \delta_2} \cdot \sin^2 \gamma \quad (2.18)$$

где V_k – скорость точки контакта, м/с;

γ – угол соударения, град.;

ρ – плотность материала метаемой пластины, г/см³;

δ_1 и δ_2 – толщины метаемой и неподвижной пластин, мм;

C_0 – скорость звука, м/с;

k – безразмерный коэффициент.

2.2 КМ алюминий-медь, полученный сваркой взрывом

Одним из основных направлений производства и потребления композитных материалов традиционно являются проводниковые и контактные изделия на основе меди, алюминия и других металлов, и сплавов.

Данное исследование позволяет сделать вывод, что был проведен обзор научных работ по биметаллам и классификации их свойств, а также рассмотрены различные методы получения биметаллов, включая технологию получения КМ методом сварки взрывом. Представленный патентный поиск подтверждает перспективность использования методов получения КМ сваркой взрывом. В целом, это исследование подчеркивает важность изучения биметаллов и их свойств для развития технологий производства материалов, обладающих нужными свойствами.

Биметаллический материал медь показан на рисунках 12 – 13 [17]. Диаграмма, рисунок 2.4 состояния показывает, что медь и алюминий неограниченно растворяются друг в друге в жидком состоянии и ограниченно в твердом. В системе определено наличие 15 фаз.

При температуре 400 °С растворимость алюминия в меди составляет 9,4 %, а меди в алюминии 1,5 %. Ниже температуры 500 °С, помимо твердого раствора меди в алюминии (к-фаза) и алюминия в меди (α-фаза), образуется ряд твердых растворов на основе химических соединений $AlCu$ (η₂-фаза), $AlCu_2$ (γ₂-фаза), Al_2Cu (θ-фаза), Al_2Cu_3 (δ-фаза), Al_3Cu (ξ-фаза).

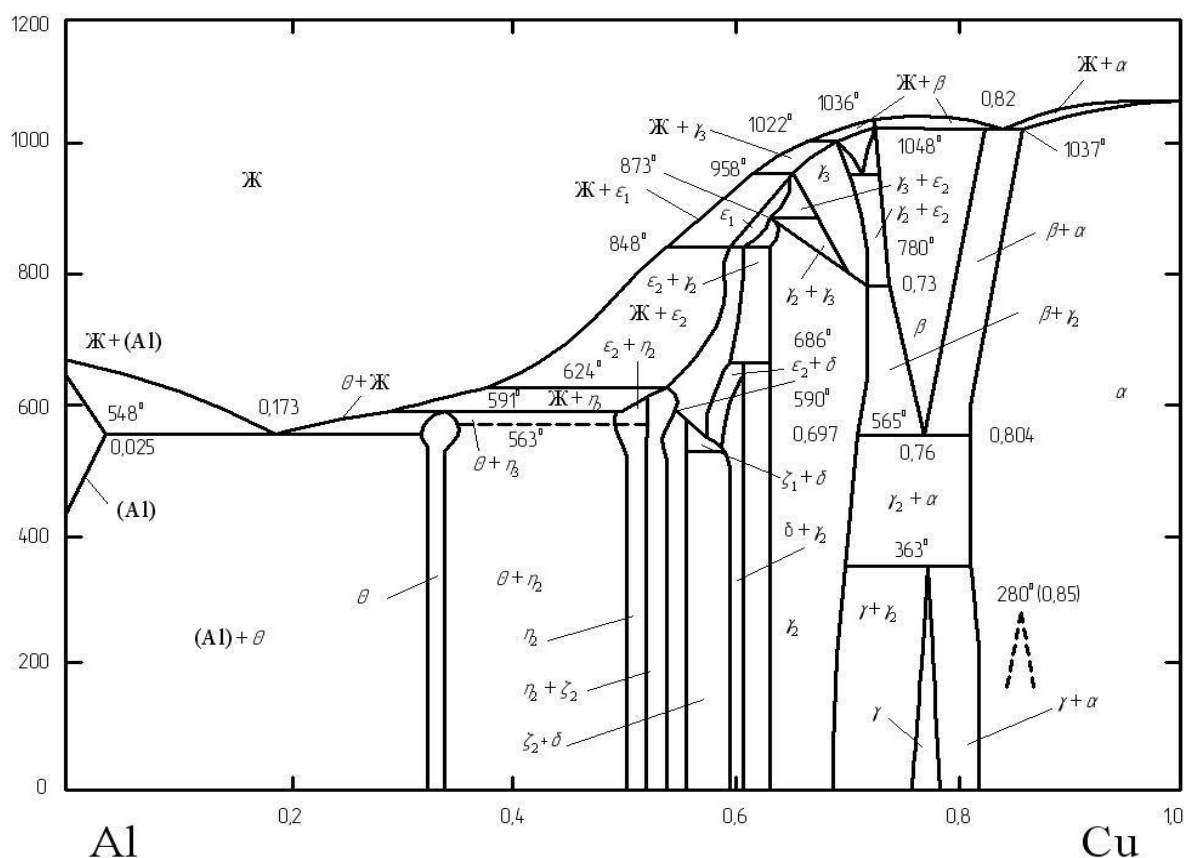
 $t, ^\circ\text{C}$ 

Рисунок 2.1 – Диаграмма состояния системы «алюминий–медь»

Из источников [18 - 20] технологический процесс включает в себя основу сварки взрывом заготовок из листов алюминия и меди.

Полученные листы обладают чистой поверхностью, и из них происходит штамповка, либо вырезка изделий, определенных размеров, форм.

Химический состав деформируемого алюминиевого сплава и меди М1М приведен в таблице 2.1. Механические свойства алюминиевого сплава и меди М1М приведены в таблице 2.3 [20-23].

Таблица 2.1 – Химический состав исходных материалов

Марка металла	Содержание элементов, %							
	Al	Cu	Si	Fe	Ti	Mg	Zn	Ni
Сплав АМг2м	основа	до 0,1	до 0,4	до 0,4	до 0,2	1,8...2,8	до 0,2	–
Медь М1М	–	99,9	–	0,005	–	–	–	0,002

А также крайне неблагоприятным с позиции свариваемости типом металлургического взаимодействия с образованием ряда устойчивых химических соединений: θ -фаза (Al_2Cu), η -фаза ($AlCu$), γ_2 -фаза ($AlCu_2$), δ -фаза (Al_2Cu_3), ξ -фаза (Al_3Cu) и легкоплавкой 548-градусной эвтектики, состоящей из θ -фазы и твердого раствора меди в алюминии

Свариваемость рассматриваемого композита из анализа которого следует, что получить равнопрочное соединение при «традиционных» скоростях контакта от 2500 до 3000 м/с можно лишь в узком диапазоне углов соударения от 4,5 до 7° для $V_k = 2,5$ км/с и всего от 4 до 5° при $V_k = 3$ км/с.

Диапазон свариваемости существенно расширяется при уменьшении скорости точки контакта, и при V_k от 2 до 2,2 км/с прочные соединения гарантированно можно получать при γ от 5 до 15°.

При V_k больше ~ 3 км/с в околошовной зоне медно-алюминиевых образцов формируется сплошная прослойка расплава толщиной от 0,1 до 0,2 мм, имеющая высокую микротвердость НВ от 1600 до 4500 МПа, что соответствует твердости интерметаллидов типа $CuAl_2$, Cu_2Al , Cu_3Al [13].

При увеличении энерговложений W_2 до 0,3 и выше, при контактной области композиции образуются волны непра вильной несинусоидальной формы представлено на рисунке 2.5 с заостренными вершинами со стороны алюминия, ориентированными в противоположном процессе распространения детонации направлению [11].



Рисунок 2.5 – Микроструктура соединения медно-алюминиевого композита в непосредственной близости от взрывателя

Без завихрений, но также с односторонним залеганием участков оплавленного металла представлено на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Микроструктура соединения медно-алюминиевого композита в непосредственной по мере отдаления от точки детонации

2.3 Дефекты после сварки взрывом

Для получения качественных соединений сваркой взрывом требуется учитывать ряд факторов, таких как состояние поверхностей, которые соединяются влажность и гомогенность взрывчатой смеси правильность выбора технологической схемы сварки точность определения параметров качество сборки пакета и другие факторы.

Все эти факторы могут влиять на качество соединений, полученных сваркой взрывом, поэтому их необходимо учитывать при проведении данного вида сварки. Поэтому перед началом проведения данного метода, материалы тщательно подготавливают к использованию. Не смотря на все преимущества, без каких-либо недостатков обойтись нельзя. Они будут рассмотрены ниже.

Композиты с включениями интерметаллических фаз являются перспективными материалами для использования в авиакосмической, автомобильной, химической, металлургической, энергетической и других областях

Когда волна сжатия сталкивается со свободной кромкой, она отражается в виде волны растяжения. Деформации крупногабаритных изделий сильно зависят от состояния их опоры. Чтобы уменьшить деформации, рекомендуется использовать опоры, которые жестко поддерживают всю площадь изделия.

На рисунке 2.7 показаны дефекты многослойных материалов, полученных по технологии сварки взрывом.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.7 – Дефекты многослойных металлических материалов: а– откол неподвижного элемента; б – расслоение в месте откола; в – сквозные отверстия в наружном плакирующем листе; г – гофры наружного плакирующего листа

Исследование микроструктуры зоны сварного шва позволяет оценить правильность выбора технологических параметров. Сварка на форсированных режимах приводит к появлению зон оплавления.

2.4 Область применения сварки взрывом

Сварка взрывом имеет перспективные области применения благодаря возможности создавать прочные соединения в твердой фазе без объемной диффузии и на больших площадях, что является преимуществом перед другими видами сварки.

Это позволяет использовать сварку взрывом для изготовления композиционных сутунок и слябов с высокопрочным соединением слоев из разнородных металлов, сплавов и сталей для прокатки в двух- и многослойные листы.

Также сварка взрывом позволяет создавать биметаллические листы металлов и сплавов в любых сочетаниях.

Разработка новых методов сварки является одним из важных направлений в промышленности. Одним из перспективных методов сварки является сварка взрывом, которая позволяет создавать прочные соединения на больших площадях без необходимости проводить долгую объемную диффузию.

Этот метод открывает новые возможности для создания композиционных сутунок и слябов из различных материалов с высокопрочными соединениями, а также для производства биметаллических листов.

Сварка взрывом является важным элементом в современной промышленности и продолжает активно развиваться, открывая новые перспективы в области технологий и производства.

3 Получение КМ с использованием сварки взрывом

В основу выбора лежала необходимость использовать качественное соединение компонентов. Обусловлена не только сохранением прочности композита в целом. Но и возможностью дальнейшего диффузионного взаимодействия исходных компонентов. минимальное количество оплавленных участков. Но и возможностью дальнейшего диффузионного взаимодействия исходных компонентов.

Исследовали листовые полуфабрикаты композиционного материала системы «алюминий–медь», полученные по параллельной схеме, представленную на рисунке 3.1. Материалом матрицы был сплава АМг2 толщиной 2 мм и размером 250 × 500 мм. В качестве армирующих компонентов была медная проволока марки М1М диаметром 1,0 мм. На рисунках 3.1 и 3.2 показана схема расположения армирующих волокон между матричными листами.

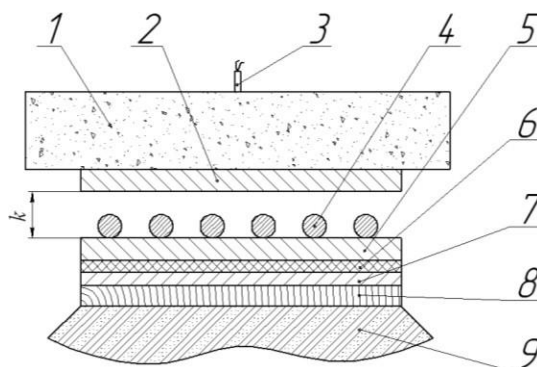


Рисунок 3.1 – Параллельная схема армирования алюминия медной проволокой: 1 – заряд ВВ; 2 – метаемая пластина; 3 – электродетонатор; 4 – медная проволока; 5 – неподвижная пластина; 6 – изоляционный слой; 7 – стальное основание; 8 – дополнительное основание; 9 – грунт; k – зазор между матричными пластинами

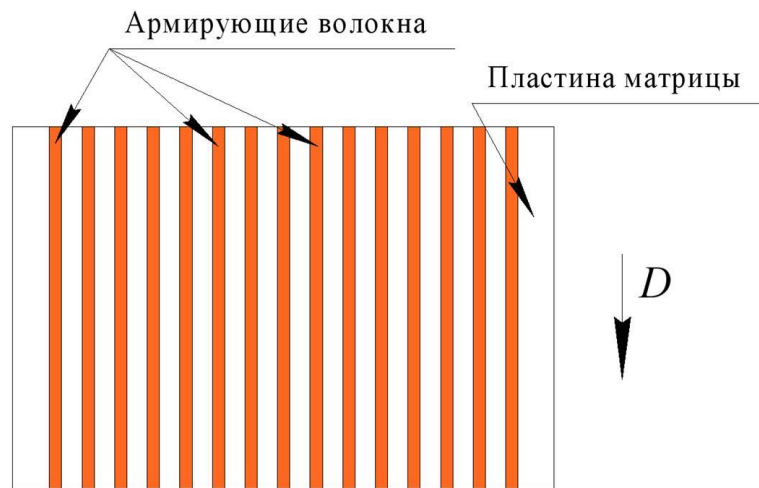


Рисунок 3.2 – Схематичное расположение волокон (вид сверху): D – направление распространения фронта детонационной волны (показано стрелкой)

С помощью предложенной схемы получали образцы композиционного материала. На рисунке 3.3 показан внешний вид армированного композиционного материала, полученного на рациональных режимах.

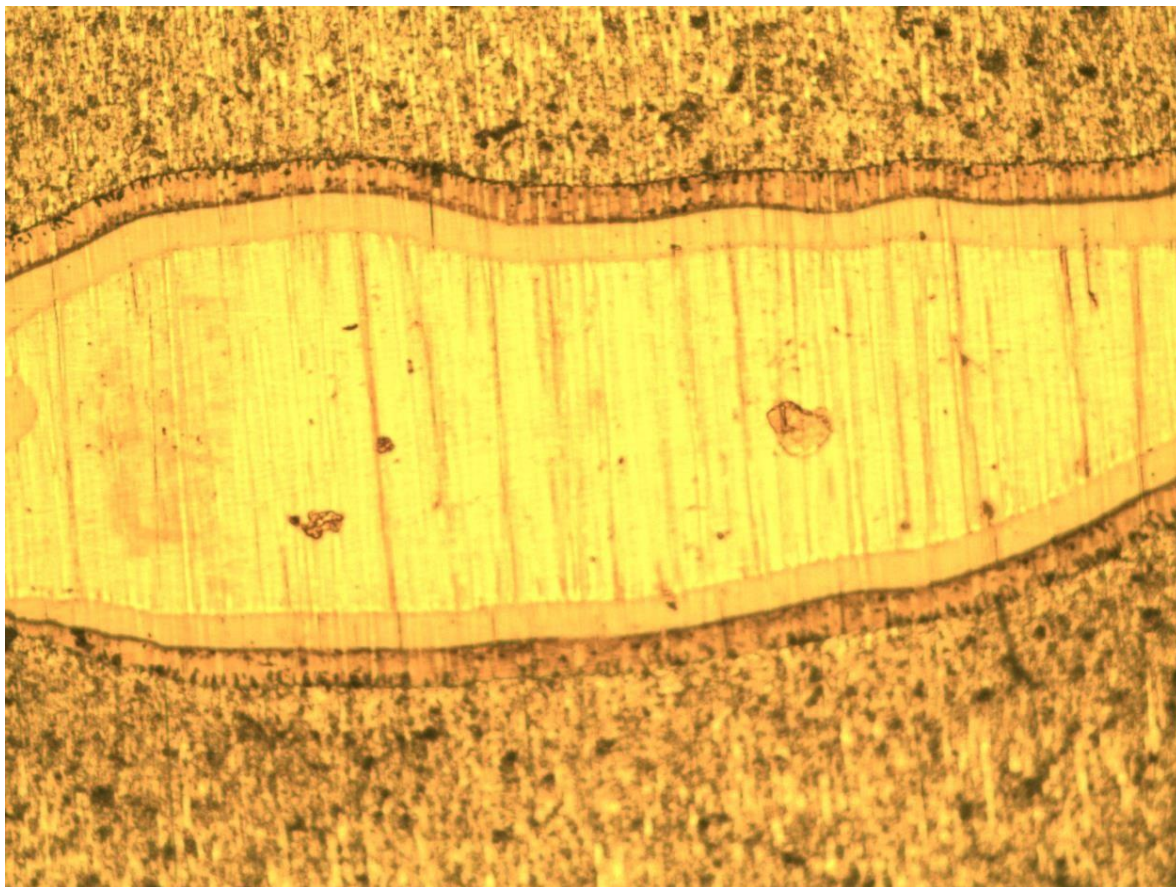


Рисунок 3.3 – Полученные образцы Al–Cu

Исследователями [28] установлено, что овальная форма волокна обеспечивает получение качественного соединения материала матрицы и волокна, без непроваров по поверхности соединяемых элементов и исключения образования участков оплавленного металла, как на границе матричных слоев так и на границе волокно-матрица.

3.1 Изучение структуры

Образцы подвергались термической обработке от 450°C до 550°C в течении от 1 часа до 10 часов. Показанных на рисунок 3.5



×200

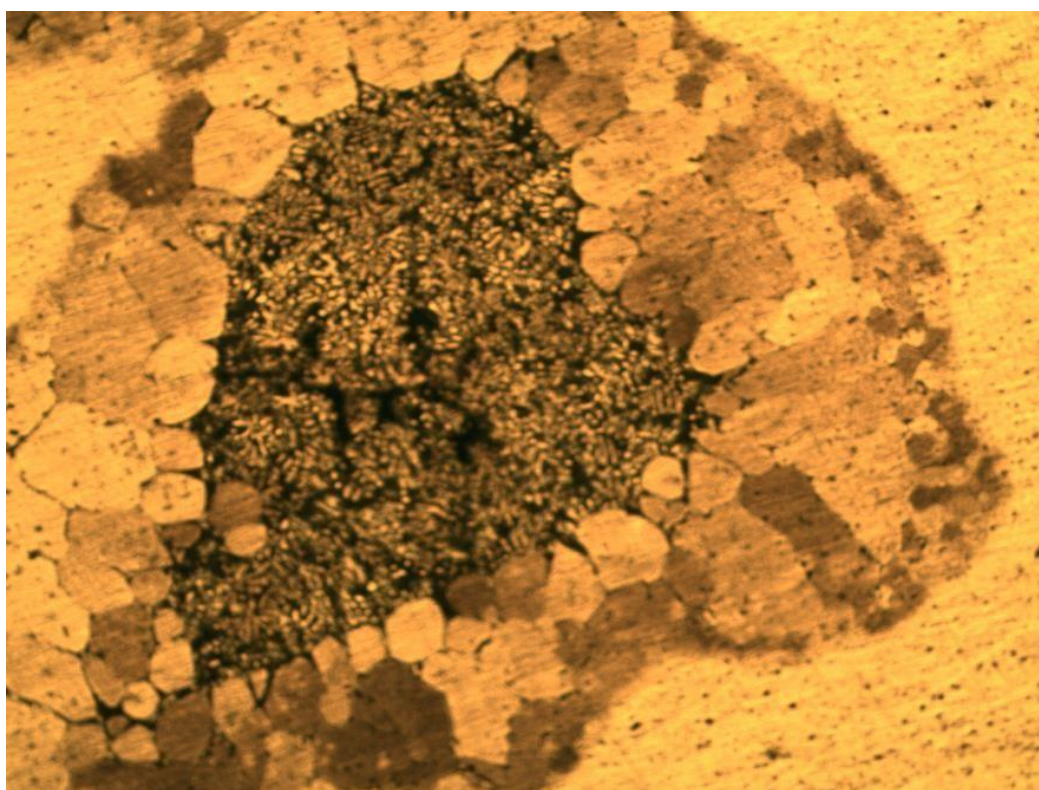
Рисунок 3.5 – Микроструктура образца при 550 °С, выдержка 3 ч

Точность определения толщины прослойки составляла 0,001 мкм. Результаты количественной оценки роста интерметаллической фазы со стороны меди и алюминия представлены на таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения толщины интерметаллической прослойки в композите

Продолжительность термической обработки, ч	Толщина интерметаллических прослойки, мкм	
	450 °C	550 °C
1,0	22,0...25,0	> 500
3,0	37,0...45,0	> 500
5,0	60,0...75,0	> 500
10,0	112,0...120,0	> 500

Установлено, что при температуре 450 °C толщина интерметаллических прослоек 10 часов достигла 120 мкм. С увеличением температуры отжига до 550 °C армирующий материал полностью перешел в интерметаллид, показанный на рисунке 3.6.



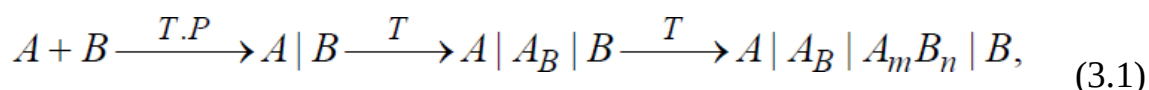
×200

Рисунок 3.6 – Микроструктура образца при 550 °C, выдержка 10 ч

Показатели зон роста интерметаллических прослоек в в КМ сильно отличается от альтернативных соединений. Поэтому необходимо производить расчёт кинетических параметров, таких как энергия зарождения.

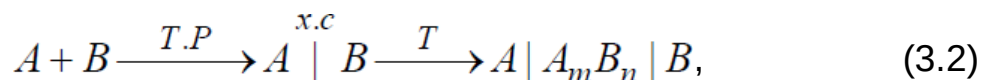
3.2 Расчет параметров образования интерметалидов

Образования и рост интерметаллических прослоек при диффузионном взаимодействии двух металлов A и B различают два механизма образования и роста интерметаллических прослоек при диффузионном взаимодействии двух металлов A и B . В зоне контакта металлов A и B происходит формирование прослойки A_mB_n [29, 30]. Для этого была предложена формула:



Да, именно так. При достижении предела растворимости в пограничном слое одного из металлов, происходит перестройка кристаллической решетки, что приводит к образованию новой фазы в виде интерметаллической прослойки. Такой процесс позволяет получить высококачественную прослойку.

Да, второй механизм, предложенный В. З. Булгаковым, утверждает, что при соприкосновении двух металлов на границе раздела реагирующих металлов может произойти образование интерметаллической прослойки. Для этого было выведено соответствующее значение значение:



Между атомами металла и атомами других веществ в окружающей среде, например, газами или жидкостью. Химические связи, образованные при хемосорбции, могут приводить к дальнейшим реакциям на поверхности металла, что может привести к образованию новой интерметаллической фазы.

$$y^2 = D_T(t - t_{\text{л}}), \quad (3.5)$$

где $t_{\text{л}}$ – время инкубационного (или латентного) периода.

Время латентного периода зарождения интерметаллической прослойки на границе исследуемых металлов можно определить по формуле

$$t_{\text{л}} = t_0 \exp\left(\frac{E_3}{RT}\right), \quad (3.6)$$

Коэффициент диффузии D_T во многом зависит от настоящей структуры металлов и от концентрации. [29, 30].

$$D_T = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (3.7)$$

Для определения значений предэкспоненциального множителя и энергии зарождения процесса образования фазы использовали формулу записанную в следующем виде:

$$\ln t_{\text{л}} = \ln t_0 + \frac{E_3}{RT}. \quad (3.8)$$

Для известных двух значений времени и температуры формулу можно записать в виде

$$\begin{aligned} \ln t_{\text{л1}} &= \ln t_0 + \frac{E_3}{RT_1}; \\ \ln t_{\text{л2}} &= \ln t_0 + \frac{E_3}{RT_2}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Вычитая выражение 3,8 из 3,9, получаем

$$\ln t_{\text{л1}} - \ln t_{\text{л2}} = \frac{E_3}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right). \quad (3.10)$$

Для расчета энергии зарождения процесса образования фазы E_3 используем формулу

$$E_3 = R \frac{(\ln t_{л1} - \ln t_{л2})}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}. \quad (3.11)$$

Значение пред экспоненциального множителя определяли по формуле:

$$t_0 = \frac{t_{л}}{\exp\left(\frac{E_3}{RT}\right)}. \quad (3.12)$$

Определены значения энергий зарождения процесса образования фазы $E_3 = 444425,5$ Дж/моль. Рассчитаны значения пред экспоненциального множителя латентных периодов зарождения фаз.

$$E_a = -R \frac{\ln \frac{y^2}{t_1 - t_{л}} - \ln \frac{y^2}{t_2 - t_{л}}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}. \quad (3.13)$$

В таблице 3.3 приведены расчетные значения энергий активации формирования интерметаллических фаз со стороны меди и алюминия, энергий активации процесса образования фазы и коэффициентов диффузии.

На основе полученных данных проведен прогноз роста интерметаллических фаз композиционного материала для получения заданной гетерогенной структуры.

Таблица 3.3 – Расчетные значения параметров кинетики образования интерметаллических фаз

Фаза	Энергия зарождения E_3 , Дж/моль	Пред экспоненциальный множитель t_0	Энергия активации E_a , Дж/моль
<i>CuAl</i>	444425,5	0,320	123290,0

3.3 Изучение механических свойств КМ Al-Cu

Механические характеристики образцов композита точно рассматриваются для и являются одной из главных прогнозируемых вещей в проектируемых изделиях авиастроения. Образцы для проведения испытаний изготавливали из полуфабрикатов композита, полученных с помощью сварки взрывом.

Для расчета временного сопротивления можно использовать несколько формул, однако применяли уравнение аддитивности. Формула аддитивности при оценке прочностных характеристик армированного композиционного материала имеет следующий вид [2, 15]:

$$\sigma_{\text{ВКМ}} = \sigma_{\text{ВМ}} \times (1 - V_{\text{В}}) + \sigma_{\text{ВВ}} \times V_{\text{В}} \quad (3.14)$$

где $\sigma_{\text{ВКМ}}$ – временное сопротивление композиционного материала, МПа;

$\sigma_{\text{ВМ}}$, $\sigma_{\text{ВВ}}$ – соответственно временное сопротивление матрицы и волокна, МПа;

$V_{\text{В}}$ – объем волокон, %.

Временное сопротивление по формуле 3.14 армированного композиционного материала на основе алюминиевого сплава с 5% объемом волокон составляет 167,3 МПа.



Рисунок 3.7 – Внешний вид образцов армированного композиционного металлического материала

Таблица 3.4 – Механические свойства образцов композита после термической обработке при температуре 450 °С

Номер	Объемное содержание интерметаллида, %	Механические свойства				
		Временное сопротивление σ_B , МПа	Модуль упругости E , ГПа	Относительное удлинение δ_5 , %	σ_B/g_p , км	$\frac{E}{g_p}$, 103 км
1	1,0...2,0	186,2	76,68	11,6	7,72	3,17
2	1,0...2,0	184,5	77,56	12,0	7,64	3,21
3	3,0...4,0	197,0	80,56	9,3	8,16	3,33
4	3,0...4,0	196,3	81,06	10,7	8,13	3,35
5	3,0...4,0	197,5	79,65	9,7	8,18	3,30
6	6,0...8,0	220,5	82,76	8,3	9,13	3,42
7	6,0...8,0	221,3	83,23	7,4	9,17	3,44
8	6,0...8,0	224,7	83,07	7,6	9,31	3,44
9	13,0...15,0	240,4	81,74	5,8	9,96	3,38
10	13,0...15,0	240,3	81,65	5,9	9,95	3,38
11	13,0...15,0	241,1	81,80	5,6	9,99	3,38

Таблица 3.5 – Механические свойства образцов композита после термической обработке при температуре 550 °С

Номер	Объемное содержание интерметаллида, %	Механические свойства				
		Временное сопротивление σ_B , МПа	Модуль упругости E , ГПа	Относительное удлинение δ_5 , %	σ_B/g_p , км	$\frac{E}{g_p}$, 103 км
20	—	153,5	—	4,3	—	—
21	—	157,8	—	4,2	—	—
22	—	135,0	—	1,7	—	—
23	—	126,2	—	1,8	—	—
24	—	126,7	—	2,0	—	—
25	—	147,4	—	1,8	—	—
26	—	137,2	—	1,9	—	—
27	—	161,1	—	2,1	—	—
28	—	113,4	—	2,3	—	—
29	—	137,5	—	1,6	—	—

30	—	139,5	—	1,7	—	—
31	—	115,3	—	1,5	—	—

При объемном содержании интерметаллической фазы в композите до 4,0 % временное сопротивление достигает 197,5 МПа, а модуль упругости 81,6 ГПа. Удельная прочность и жесткость увеличивается до 8,18 и 3,35. При объемном содержании интерметаллической фазы до 8,0 % $\sigma_B = 224,7$ МПа, $E = 83,27$ ГПа.

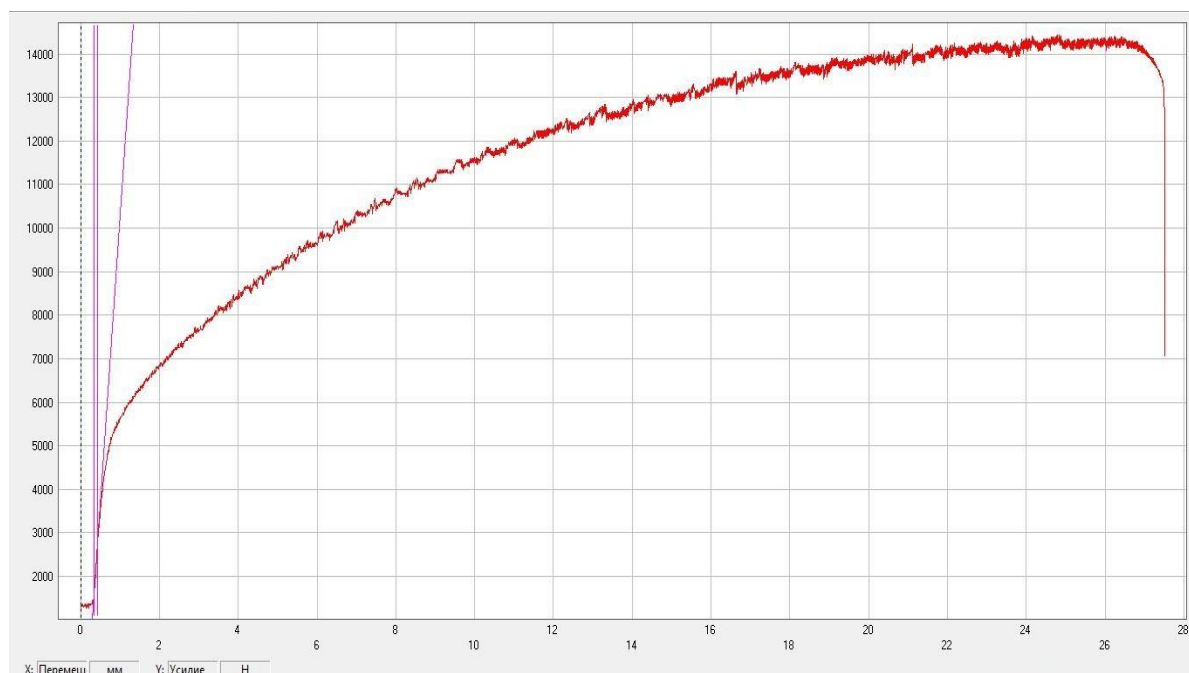


Рисунок 3.8 – Диаграмма растяжения образца армированного композиционного материала: ось y – нагрузка, действующая на образец; ось x – удлинение образца в процессе действия нагрузки

Заключение

В рамках исследования был проведен эксперимент по получению биметаллических сварных соединений методом сварки взрывом. Были использованы металлические образцы из алюминия и стали. После проведения сварки взрывом были получены биметаллические соединения, которые были проанализированы на прочность и микроструктуру. Исследования показали, что использование метода сварки взрывом позволяет получать качественные биметаллические соединения с высокой прочностью и герметичностью.

Также был проведен анализ влияния режимов сварки взрывом на качество полученных биметаллических соединений. Были исследованы влияние давления, длительности сварочного импульса и расстояния между металлическими образцами на качество сваренного соединения. Результаты исследования позволяют оптимизировать режимы сварки взрывом для получения биметаллических соединений с оптимальными характеристиками.

В целом, полученные результаты показывают перспективность использования метода сварки взрывом для получения биметаллических соединений, особенно в промышленности, где требуется высокая прочность и герметичность соединений при экстремальных условиях эксплуатации. КМ сваркой взрывом.– изучены и рассмотрены свойства, а так же дальнейшее возможное использование в отраслях промышленности и не только, материала алюминий-медь.

Взаимосвязь структуры и механических свойств композиционного материала, армированного интерметаллическими волокнами. Установлено, что при объемном содержании интерметаллической фазы до 8,0 % модуль упругости композита достигает 83,27 ГПа, удельная жесткость увеличивается до 3400 км. При объемном содержании интерметаллической фазы 15,0 % временное сопротивление достигает 241,1 МПа, удельная прочность при этом увеличивается до 9,9 км. Показано, что при полном переходе армирующего компонента в интерметаллид, свойства композита снижаются.

Список используемой литературы

1. **Казакевич Г.С. Металлические композиционные материалы** [Текст]: учеб. пособие / Г.С. Казакевич. - Л.: ЛПИ, 1989. - 63 с.
2. **Кобелев, А.Г. Материаловедение. Технология композиционных материалов** [Текст]: учеб. для вузов / А.Г. Кобелев [и др.]. - М.: КноРус, 2016. - 268 с.
3. **Тарасенко, Л.В. Материаловедение** [Текст]: учеб. пособие / Л.В. Тарасенко [и др.]. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 473 с;
4. **Ковалева, А.В. Композиционные материалы в технике и исследование возможностей получения изделий из разнородных материалов в литейном производстве** [Текст]: учеб. пособие / А.В. Ковалева, А.А. Черный. - Пенза: ПГУ, 2008. - 161 с.
5. **Способ комбинированной сварки взрывом** [Электронный ресурс] – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/251/2516179.html> (дата обращения 29.04.23).
6. **Способ получения композиционных медно-алюминиевых изделий с внутренней полостью сваркой взрывом** [Электронный ресурс] – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/248/2486043.html> (дата обращения 29.04.23).
7. **Способ получения неразъемных соединений сваркой взрывом** [Электронный ресурс] – URL: <http://ru-patent.info/21/85-89/2185942.html> (дата обращения 29.04.23).
8. **Способ получения композиционного материала** [Электронный ресурс] – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/260/2606134.html> (дата обращения 29.04.23)
9. **Способ получения композиционного материала с высокими значения прочности** [Электронный ресурс] – URL: <https://findpatent.ru/patent/252/2522505.html> (дата обращения 29.04.23).
10. **Слоистый композитный материал** [Электронный ресурс] – URL: <https://findpatent.ru/patent/16/167018.html> (дата обращения 29.04.23).

11. Способ получения композиционного материала с особыми тепловыми свойствами [Электронный ресурс] – URL: <https://findpatent.ru/patent/229/2293004.html> (дата обращения 29.04.23).

12. Адашкин, А.М. Материаловедение и технология металлических, неметаллических и композиционных материалов [Текст]: учеб. пособие / А.М. Адашкин, А.Н. Красновский. - М.: Форум, 2011. - 144 с

13. Колесов, Н.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов [Текст]: учеб. для вузов / Н.С. Колесов, И.С. Колесов. - М.: Высшая школа, 2008. - 535 с.

14. Комаров, О.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов [Текст]: справочник / О.С. Комаров, В.Н. Ковалевский, Л.Ф. Керженцева. - Минск: Новое знание, 2009. - 671 с.

15. Люшинский, А.В. Современные технологии сварки. Инженернофизические основы [Текст] / А.В. Люшинский. - Вологда: ИнфраИнженерия, 2013. - 240 с.

16. Тюшляева, Д. С. Изучение влияния термообработки на металлические слоистые материалы, полученные сваркой взрывом / Д. С. Тюшляева // Инновации в материаловедении и металлургии : материалы III Междунар. интерактив. науч.-практ. конф., [Екатеринбург, 17-21 декабря 2013 г.] — Екатеринбург : Изд-во Урал.ун-та, 2013. — С. 128-130.

17. Коржов, В.П. Структура и высокотемпературная прочность при изгибе многослойного композиционного материала из интерметаллидов титана с алюминием [Текст] / В.П. Коржов, М.И. Карпов // Вестн. Тамб. ун-та. Сер. Естественные и технические науки. – 2013. – Вып. 4-2. – С.1673-1675.

18. Ван Флек, Л. Теоретическое и прикладное материаловедение [Текст]: пер. с англ. / Л. Ван Флек. –М. : Атомиздат, 1975. – 472 с.

19. Лякишев, Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем [Текст]: в 3-х т. /Н. П. Лякишев. – М. : Машиностроение, 1996. – Т. 1. – 992 с.

20. **Материалы в машиностроении. Выбор и применение** [Текст]: справочник: в 5-ти томах. Т. 1. Цветные металлы и сплавы /под ред. Л. П. Лужникова. – М. : Машиностроение, 1967. – 238 с.

21. **Лившиц, Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов** [Текст]: / Б. Г. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Линецкий. – М. : – Metallurgia, 1980. – 320 с.

22. **Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки.** [Текст]: ГОСТ 4784–97. - Введ. 1997-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1997.- 30с.:

23. **Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.** [Текст]: ГОСТ 21631–76. - Введ. 1976-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1976.- 25с.

24. **Медь. Марки.** [Текст]: ГОСТ 859–2001.- Введ. 2002-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002.- 17с.

25. **Металлы. Методы испытаний на растяжение** [Текст]: ГОСТ 1497-84.- Введ. 1986-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – III, 35с.

26. **Металлы. Методы испытания на растяжение при пониженных температурах** [Текст]:ГОСТ 11150-84. – Введ. 1986-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. – I, 8 с.

27. **Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах** [Текст]:ГОСТ 9651-84. – Введ. 1986-01-01.М.: Изд-во стандартов, 1984. – I, 6с.

28. **Хорин, А.В. Создание высокопрочного композиционного материала системы «алюминий-медь» с интерметаллическими элементами и керамическим покрытием** [Текст]: автореф. дис... канд. тех. наук / А.В. Хорин. - Пенза: ПГУ, 2004.-19с.

29. **Ларионов, Л. Н. Диффузионные процессы в твердой фазе при сварке** [Текст]: / Л. Н. Ларионов, В. Р. Рябов, В. М. Фальченко. – М. : Машиностроение, 1975. – 192 с

30. **Криштал, М. А. Механизм диффузии в железных сплавах** [Текст]: / М. А. Криштал. –М. : Metallurgia, 1972. – 400 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ФГБОУ ВО Пензенский государственный университет
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Исследование структуры и свойств композиционного материала системы АМг2-М1м, полученного сваркой взрывом

Докладчик: ст. гр.
Руководитель: к.т.н., доцент

Ловинский Д.В.
Хорин А.В.

Цель работы:

Исследовать структуру и механические свойства композита системы АМг2-М1м, полученного путем сварки взрывом

Задачи:

1. Провести патентные исследования и литературный обзор используемых в настоящее время материалов в авиастроении.
2. Определить температурно-временные параметры кинетики роста интерметаллических фаз в структуре композиционных материалов.
3. Исследовать взаимосвязь структуры и механических свойств композиционного материала

Армирование КМ

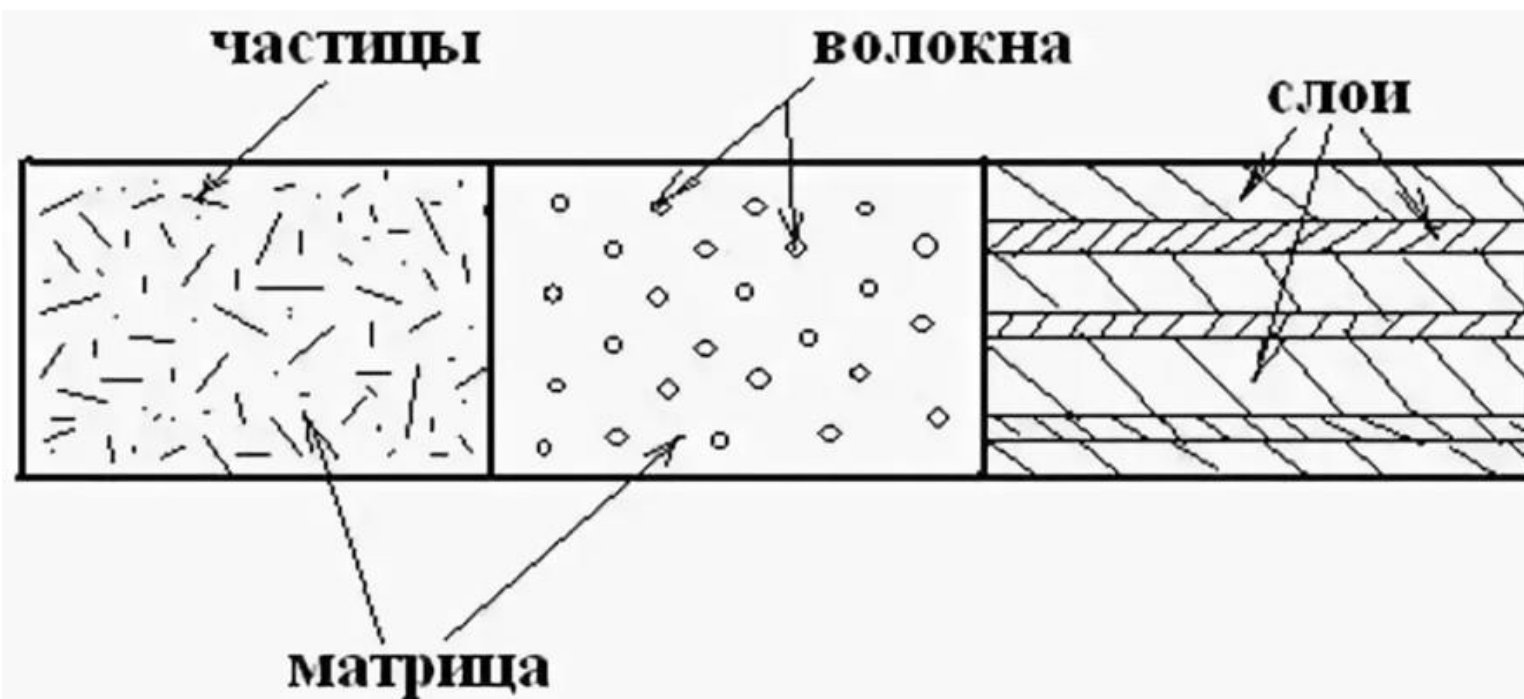
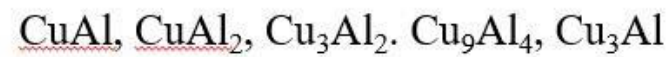


Схема композитных материалов.
а - армированных частицами; б - армированных
волокнами; в - слоистые КМ.

$t, ^\circ\text{C}$ 

Преимущества сварки взрывом

- Малая длительность процесса и значительное давление.
- Возможность получения соединений без образования хрупких промежуточных фаз.
- Возможность получения листовых и трубных заготовок.
- Возможность получения крупногабаритных заготовок.
- Исключение разрушения и разупрочнения волокон.
- Отсутствие необходимости применения сложной технологической оснастки.

Схема сварки взрывом композита

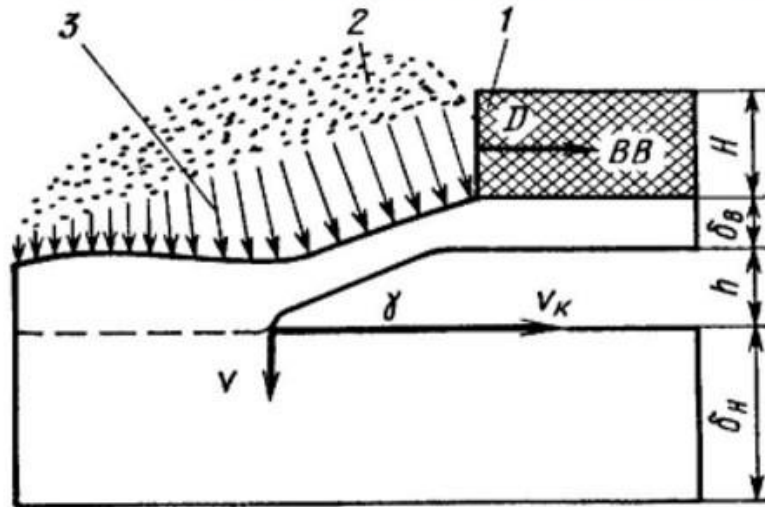


Рисунок 1 - Схема установившегося процесса сварки взрывом. 1 – фронт детонационной волны; 2 – фронт разлета продуктов взрыва ВВ; 3 – фронт волны разрежения; D – скорость детонации ВВ; V – скорость соударения пластин; V_k – скорость кумулятивной струи, перемещения «динамического угла встречи» соударяющихся пластин в направлении сварки; δ_v – толщина метаемой пластины; δ_n – толщина неподвижной пластины.

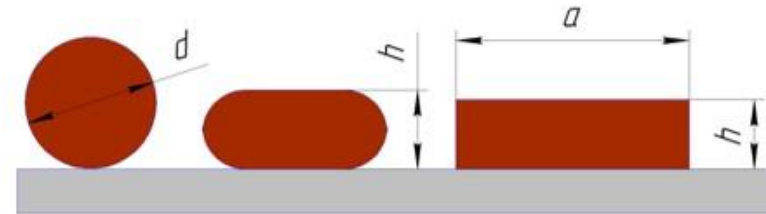


Рисунок 2 - Форма армирующих волокон:

d – диаметр волокна;
 h – высота полосы; a – ширина
 волокна

Режимы ТО полученных образцов

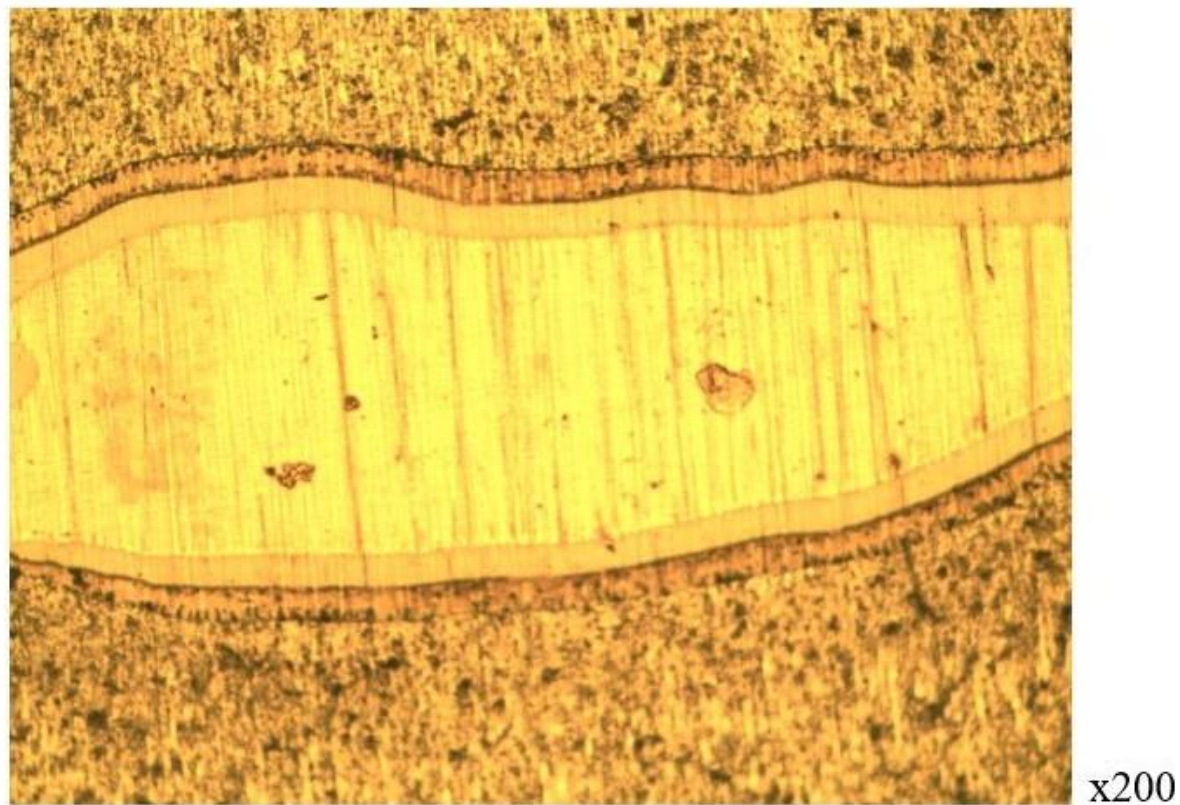
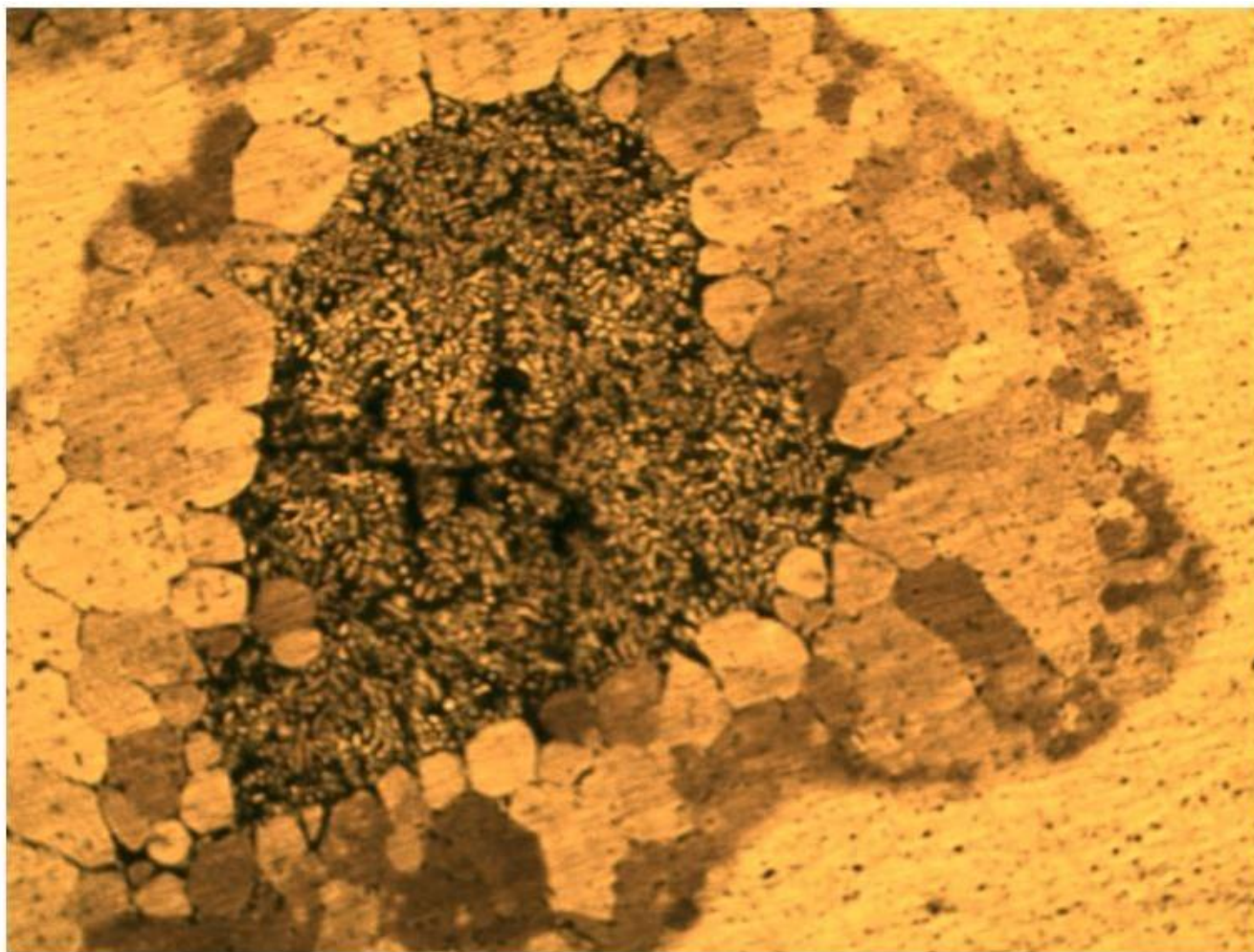


Рисунок 3 - Микроструктура образца при 450 °С, выдержка 3 ч



x200

Рисунок 4 - Микроструктура образца при 550 °С, выдержка 10 ч

Получаемый интерметаллидный слой

Таблица 3 – Значения толщины интерметаллической прослойки в композите

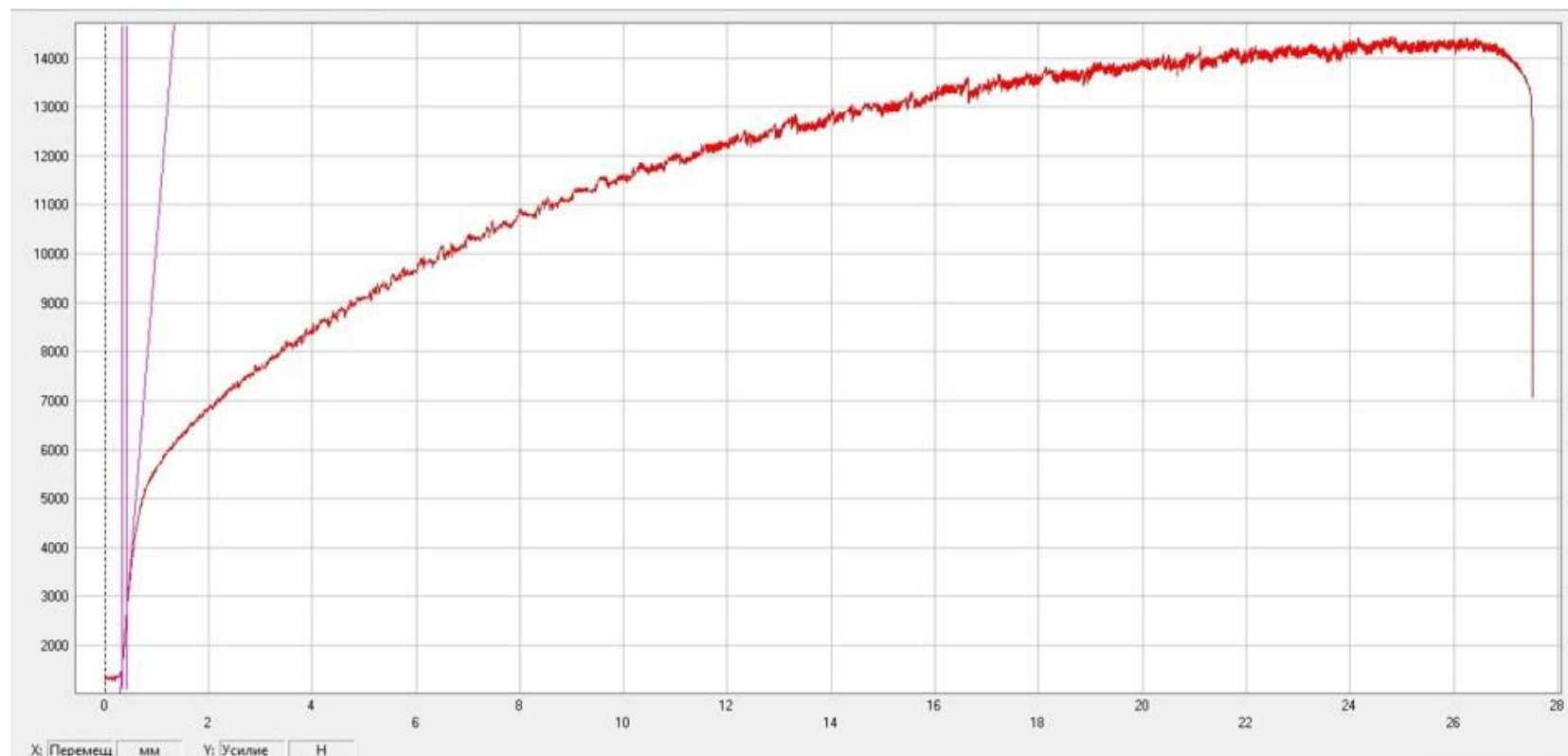
Продолжительность термической обработки, ч	Толщина интерметаллических прослойки, мкм	
	450 °C	550 °C
1,0	22,0...25,0	> 500
3,0	37,0...45,0	> 500
5,0	60,0...75,0	> 500
10,0	112,0...120,0	> 500

Образцы для изучения механических свойств



Рисунок 4 - Образцы для испытаний на разрывной машине по ГОСТ 1497–84.

Диаграмма растяжения ВКМ



Механические свойства образцов КОМПОЗИТА

Номер	Объемное содержание интерметал- лида, %	Механические свойства				
		Временное сопротивление σ_B , МПа	Модуль упругости E , ГПа	Относитель- ное удлине- ние δ_5 , %	σ_B/ρ , км	$\frac{E}{\rho}$, 103 км
1	1,0...2,0	186,2	76,68	11,6	7,72	3,17
2	1,0...2,0	184,5	77,56	12,0	7,64	3,21
3	3,0...4,0	197,0	80,56	9,3	8,16	3,33
4	3,0...4,0	196,3	81,06	10,7	8,13	3,35
5	3,0...4,0	197,5	79,65	9,7	8,18	3,30
6	6,0...8,0	220,5	82,76	8,3	9,13	3,42
7	6,0...8,0	221,3	83,23	7,4	9,17	3,44
8	6,0...8,0	224,7	83,07	7,6	9,31	3,44
9	13,0...15,0	240,4	81,74	5,8	9,96	3,38
10	13,0...15,0	240,3	81,65	5,9	9,95	3,38
11	13,0...15,0	241,1	81,80	5,6	9,99	3,38

Выводы

- Проведен литературный обзор по используемым в настоящее время конструкционным материалам в авиастроении, показаны наиболее часто используемые, определен круг исследуемых материалов.
- Исследована взаимосвязь структуры и механических свойств композиционного материала, армированного интерметаллическими волокнами. Установлено, что при объемном содержании интерметаллической фазы до 8,0 % модуль упругости композита достигает 83,27 ГПа, удельная жесткость увеличивается до 3400 км. При объемном содержании интерметаллической фазы 15,0 % временное сопротивление достигает 241,1 МПа, удельная прочность при этом увеличивается до 9,9 км.
- Показано, что при полном переходе армирующего компонента в интерметаллид, свойства композита снижаются.
- Определены температурно-временные параметры кинетики роста интерметаллических фаз в структуре композиционных материалов.

***Спасибо
за внимание!***