

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедение

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Формирование композиционных материалов с металлической матрицей на основе алюминиево-магниевого сплава посредством внедрения упрочняющих порошковых частиц из медных сплавов при фрикционной перемешивающей обработке

УДК 669.715.055:669.721.5-048.35:669.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ9К	Добровольский Артем Романович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
гл. н.с.	Тарасов С.Ю.	Д.Т.Н. профессор ОМ		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук И.В.	К.Т.Н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Скачкова Л.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мартюшев Н.В.	К.Т.Н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять <i>глубокие</i> естественнонаучные, математические и инженерные знания при разработке наукоемких технологий изготовления и обработки новых материалов и изделий из них для аэрокосмической техники.
P2	Применять <i>глубокие</i> знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач.
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой материалов и изделий РКТ, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов в аэрокосмической техники.
P4	Разрабатывать технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для изделий РКТ, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке, с подготовкой и анализом технической документации.
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования, расчеты на прочность</i> в области современных технологий обработки материалов, производства узлов, деталей и конструкций в РКТ.
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современное высокотехнологичное производство, обеспечивать его <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать <i>глубокие знания по проектному менеджменту</i> для внедрения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации.
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ9К	Добровольскому Артему Романовичу

Тема работы:

Формирование композиционных материалов с металлической матрицей на основе алюминиево-магниевого сплава посредством внедрения упрочняющих порошковых частиц из медных сплавов при фрикционной перемешивающей обработке	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.04.2021, № 112-21/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом магистерской диссертации являются композиционные материалы на основе алюминиевого сплава АМг6БМ, модифицированные порошками алюминиевых сплавов методом фрикционной перемешивающей обработки.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Изучить литературу по темам: сварка трением с перемешиванием, обработка трением с перемешиванием, модификация поверхностного слоя материала. Произвести модифицирование приповерхностной структуры данного сплава. Исследовать влияние состава армирующего компонента и количества проходов на структурные и механические характеристики.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В.
Социальная ответственность	Скачкова Л.А.
Разделы, выполненные на иностранном языке	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ9К	Добровольский Артем Романович		

РЕФЕРАТ

Работа включает в себя 119 страниц, 29 таблиц, 50 рисунков, 5 глав, приложение А (на английском языке), 66 литературных источников.

Ключевые слова: Фрикционная перемешивающая обработка, алюминиевые сплавы, Al-Cu композиты, модификация поверхности, сварка трением с перемешиванием.

Объектом исследования является технологический процесс модификации алюминиевого сплава АМг6БМ порошками медных сплавов с помощью фрикционной перемешивающей обработки.

Цель работы – формирование композитов на основе алюминиево–магниевого сплава АМг6БМ методом фрикционной перемешивающей обработки с внедрением порошковых частиц медных сплавов.

В ходе исследования рассматривались образцы полученных методом фрикционного перемешивания композитов с алюминиевой матрицей. В качестве основного материала композитов выступал алюминиевый сплав АМг6БМ. Армирующие компоненты для модифицирования представляли собой порошковый материал следующих составов: медь М1 ПМС-1, латунь Cu80Zn20, латунь Cu50Zn50, нейзильбер Cu64Zn21Ni1. Исследование макроструктуры образцов и их механических свойств производилось при помощи металлографического микроскопа и универсальной разрывной машины.

Обозначения, сокращения, нормативные ссылки.

ФПО – фрикционная перемешивающая обработка;

СТП – сварка трением с перемешиванием;

ЗТМВ – зона термомеханического влияния;

ЗП – зона перемешивания;

ЗТВ – зона термического влияния;

КТР – коэффициент термического расширения;

НИР – научно-исследовательская разработка;

ГОСТ 1583-93 – МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ Сплавы
алюминиевые литейные Технические условия;

ГОСТ 1497-84 – МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ МЕТАЛЛЫ

Методы испытаний на растяжение;

Оглавление

Введение	10
1. Обзор и анализ литературы.....	12
1.1 Способы модификации и упрочнения алюминиевых материалов и сплавов	12
1.2 Сущность процесса сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов	15
1.3 Сущность метода перемешивающей фрикционной обработки	24
1.4. Влияние модификаторов на структуру и механические свойства материалов, полученных методом фрикционной перемешивающей обработки	32
2. Объект и метод исследования	39
2.1 Оборудование и материалы	39
2.2 Методика проведения эксперимента.....	41
2.3 Проведение исследований макроструктуры образцов сплава АМг6БМ...	45
2.4. Исследование влияния состава армирующего компонента на механические свойства АМг6БМ	52
3. Выводы	59
Заключение	60
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	64
Введение	64
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	65
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	65
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	65
4.1.3 SWOT-анализ.....	68
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	72
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	72
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	74

4.3 Бюджет научно-технического исследования	78
4.3.1 Расчет материальных затрат научно- исследовательской работы	79
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	81
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	83
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	84
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды	85
4.3.6 Накладные расходы	85
4.3.7 Бюджетная стоимость НИР	86
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	87
4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности	87
4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	88
4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	89
Выводы по разделу	91
5 Социальная ответственность	94
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	94
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	94
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	95
5.2 Профессиональная социальная безопасность.	96
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.	96
5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.	96
5.2.2.1 Отклонение показаний микроклимата	98
5.2.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны	99
5.2.2.3 Воздействие химических веществ	99
5.2.2.4 Электрический ток	101

5.2.2.5 Опасность возникновения пожара.....	102
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	102
5.2.3.1 Отклонение показаний микроклимата	102
5.2.3.2 Недостаточная освещенность	103
5.2.3.3 Химические вещества	105
5.2.3.4 Электрический ток	106
5.2.3.5 Опасность возникновения пожара.....	106
5.3 Экологическая безопасность.	107
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.	107
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.	107
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	107
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	108
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.	108
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	108
5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	109
5.4.3.1 Загрязнение АХОВ и ОВ.....	109
5.4.3.2 Пожар	109
5.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность».....	110
Список публикаций.....	112
Список литературы	113
ПРИЛОЖЕНИЕ А	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

В настоящее время конструкционные алюминиевые сплавы имеют существенное практическое значения для производства конструкций и многофункциональных изделий автомобилестроения, судостроения, авиационного и ракетно-космического назначения. Отличительной особенностью данных сплавов является их высокие значения удельной прочности, возможность долговременной эксплуатации в легких и прочных конструкциях при заданных нагрузках, возможностью выбора в широком диапазоне подходящего состава сплава для достижения необходимых свойств. При этом, ряд негативных свойств алюминиевых сплавов затрудняет их применение, например, в узлах трения, из-за их невысоких трибологических характеристик. Для повышения износостойкости поверхности алюминиевых сплавов возможно получение поверхностных композиционных структур с формированием упрочненных слоёв с наличием компонентов в виде твердых частиц типа оксидов, карбидов или интерметаллидов. Спектр возможных методов получения композиционных материалов с металлической матрицей достаточно широк, и включает в себя как методы, основанные на плавлении металла в зоне формирования композита (лазерные и электронно-лучевые аддитивные технологии, напыление, наплавка и др.), так и на получении композиционного материала путем обработки в твердой фазе [1–8]. Среди твердофазных методов получения композиционных материалов с металлической матрицей, позволяющих формировать изделия с равномерным распределением упрочняющих фаз в объеме материала, одним из наиболее актуальных на настоящее время является фрикционная перемешивающая обработка или обработка трением с перемешиванием.

Фрикционная перемешивающая обработка, наиболее активно изучаемая в последнее десятилетие, внесла значительный вклад в создание функционально-градиентных материалов с плавно изменяющимися структурой и механическими свойствами. С использованием фрикционной

перемешивающей обработки возможно повышение как трибологических свойств изделий из металлов и сплавов, так и прочностных свойств с модификацией тех областей изделия, где необходимы конкретные функциональные свойства в процессе эксплуатации. При этом, имеется ряд неописанных на настоящее время процессов в зоне фрикционной перемешивающей обработки при формировании композиционных материалов с формированием упрочняющих фаз непосредственно в процессе обработки. К ним относятся как механизмы пластического течения материала в зоне обработки по контуру инструмента, так и процессы структурно-фазового приспособления материала при обработке.

Исходя из вышеперечисленного целью настоящей работы является получение и выявление механических характеристик композитов основанных на алюминиевом сплаве АМг6БМ, армированного порошковым материалом медных сплавов посредством фрикционной перемешивающей обработки.

1. Обзор и анализ литературы

1.1 Способы модификации и упрочнения алюминиевых материалов и сплавов

В настоящее время алюминий и его сплавы используются в различных областях промышленности и производства, например, в автомобилестроении и авиакосмической промышленности. Условия эксплуатации авиационной и космической техники определяют крайне жесткие требования к материалам, от качества которых в существенной мере зависят надежность и конкурентоспособность летательных аппаратов.

На сегодняшний день известно множество способов модификации поверхностного слоя материала, к ним можно отнести такие методы, как алмазное выглаживание, вибронакатывание, плазменное напыление и другие. Однако, многие из этих методов имеют существенные недостатки в виде малой толщины модифицированного слоя, стоимости и низкой экологичности.

В настоящее время широкую известность получил такой метод обработки, как фрикционная перемешивающая обработка. Интерес в этом процессе вызывает возможность определения закономерностей взаимодействия материалов при интенсивном термомеханическом взаимодействии в квазивязком состоянии. Также, интерес вызывает возможность упрочнения поверхности без плавления материала. С помощью данного метода возможно создание градиентных материалов с упрочненной структурой поверхностного слоя с ультрамелкодисперсной зеренной структурой.

Метод обработки трением с перемешиванием произошел от технологии сварки трением с перемешиванием и включает аналогичные процессы и принципы [2]. Нагретый трением и пластифицированный металл подвергается сильной пластической деформации при обработке, в результате чего получается однородная рекристаллизованная мелкозернистая

микроструктура. Принципиальная схема процесса ФПО / ФПС показана на рисунке. Подвергаемый обработке металл механически перемешивают с помощью нерасходуемого вращающегося инструмента. Инструмент вращается с высокой скоростью, а затем погружается в заготовку под действием осевого усилия до тех пор, пока плечи инструмента не коснутся поверхности заготовки. Затем инструмент продвигается по заготовке в направлении обработки. При трении между инструментом и заготовкой выделяется большое количество тепла. По мере повышения температуры из-за тепла трения основной металл размягчается в зоне обработки и подвергается интенсивной пластической деформации и увлекается вращающимся и перемещающимся пином. Это основной принцип модификации металлических материалов с помощью FSP, что приводит к образованию подповерхностной градиентной структуры в материале за счет измельчения зерен и микроструктурной гомогенизации. Некоторые методы сварки трением с перемешиванием или обработки включают дополнительные процессы, например, применение ультразвука к зоне сварки / обработки [7] или многопроходная обработка для упрочнения всей поверхности [8].

Изучая литературные источники, посвященные модификации поверхностного слоя методом фрикционной перемешивающей обработки, можно выделить три основных типа модификации поверхностного слоя материала.

Первый тип посвящен упрочнению поверхностного слоя материала посредством измельчения зерен с образованием ультрамелкодисперсной структуры [9–11]. При этом в структуре, например, алюминиевых сплавов, преобладают полностью рекристаллизованные равноосные зерна аналогично со сваркой трением с перемешиванием [11,12]. В качестве примера этого способа можно рассмотреть пластину сплава АМг5 (рисунок 1.1.1), упрочненную методом ФПО.

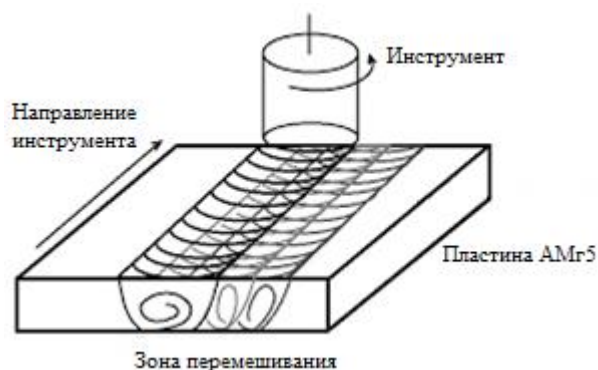


Рисунок 1.1.1 – Пример упрочнению поверхностного слоя материала посредством измельчения зерен [13].

Механические свойства полученных материалов в испытаниях на растяжение увеличиваются в зависимости от сплава как на незначительную величину менее 10...15 %, так и на величину более чем 30 % [11,14,15].

Второй тип работ посвящен упрочнению поверхностного слоя путем замешивания в поверхность различных дисперсных частиц, приводящих к измельчению структуры и повышению эксплуатационных характеристик изделия путем заполнения канавок с проходом инструмента вдоль канавки [11,16,17].

Третий тип работ направлен на получение фрикционной перемешивающей обработкой смеси фаз в поверхностном слое, например, путем внедрения меди в поверхностный слой алюминиевого сплава с помощью порошков или внедряемых элементов [11,18]. При этом для замешивания в поверхностный слой упрочняющих частиц используется как порошковый материал, засыпаемый в углубления в поверхностном слое, так и различные цилиндрические элементы, внедренные в поверхностный слой, а также листовой материал (рисунок 1.1.2).

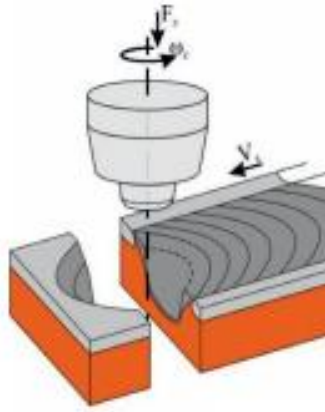


Рисунок 1.1.2 – Фрикционная перемешивающая обработка смеси фаз в поверхностном слое [11].

С помощью таких методик возможно получение композиционных материалов с металлической матрицей различного состава. При этом в основе методов получения материала с разнородной структурой лежит процесс адгезионного трения, включающий в себя процесс пластической деформации и фрагментации материала в зоне трения с образованием пластического течения материала. При этом в условиях наличия в поверхностном слое двух материалов с различными физико-механическими свойствами в процессе образования различных потоков материала и их интенсивного взаимодействия в стесненных условиях происходит образование сложной смеси входящих в реакцию компонентов системы и результатов их взаимодействия в виде твердых растворов или интерметаллидных фаз [11,19].

Однако, при существенных положительных сторонах процесса получения композиционной структуры из разнородных материалов методами фрикционной перемешивающей обработки или сварки имеются и негативные стороны, связанные с ограниченностью формы и размеров получаемых образцов, а также со скоростью получения деталей.

1.2 Сущность процесса сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов

Новые сложнелегированные алюминиевые сплавы, обладая высокими значениями физико-механических характеристик, зачастую отличаются низкой свариваемостью при сварке плавлением. Поэтому особый интерес с этой точки зрения представляет сварка трением с перемешиванием [2,20].

Благодаря ограниченному пространству деформации в сочетании с ограниченным нагревом зоны сварки трением с перемешиванием обладает следующими преимуществами:

- безопасность для окружающей среды, так как не используются вредные газы;
- возможность сварки материалов, недоступных для традиционных способов сварки;
- высокая прочность сварного соединения;
- отсутствие необходимости в присадочной проволоке;
- низкие остаточные напряжения; мелкий размер зерна сварного соединения; малый расход энергии;
- практически полное отсутствие коробления и термических деформаций.

Принцип Сварки трением с перемешиванием продемонстрирован на рисунке 1.2.1 1): вращающийся шпиндель с цилиндрическим инструментом особой формы с плечами и пином в центре погружается в линию соединения подлежащих сварке крепко зафиксированных и плотно прижатых друг к другу деталей. Получаемое при этом количество тепла достаточно для пластификации материала, избегая плавления. Нагретый до пластического состояния металл перемещается из зоны перед пином в зону за ним, формируется заплечиками и при охлаждении образует сварное соединение.

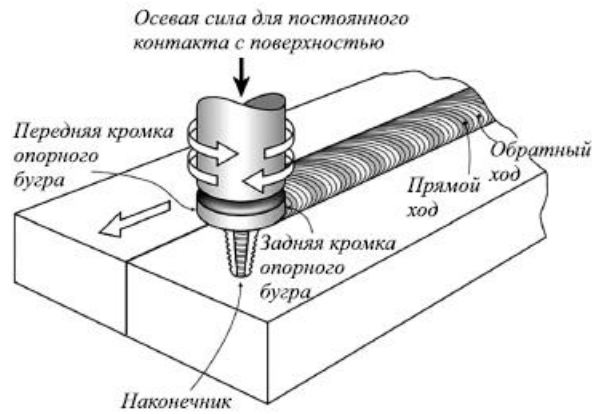


Рисунок 1.2.1 – Схема процесса сварки трением с перемешиванием (СТП) [24].

Так как выделяющейся в процессе СТП теплоты недостаточно для плавления в области формирования соединения, снижается вероятность возникновения многих дефектов, характерных сварным соединениям при сварке плавлением [20–22].

Сварной шов, получаемый согласно рассмотренному способу, несимметричен относительно своей продольной оси (рисунок 1.2.2), так как материал с фронтальной стороны инструмента вытесняется пином по направлению вращения на тыльную сторону – с отступающей стороны сварки [20–22].

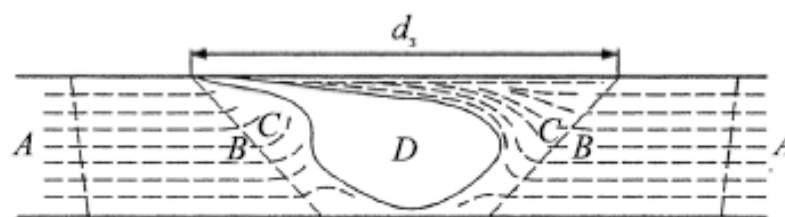


Рисунок 1.2.2 – Схема расположения структурных зон А – основной металл, В – зона термического воздействия, С – зона термо-механического воздействия, D – ядро шва; d_3 – диаметр плеч [20].

Макроструктура швов, полученных сваркой трением с перемешиванием (рисунок 1.2.3), имеет особенности, которые не присущи швам, полученными другими способами. Основным отличием является формирование в центре

соединения ядра, которое независимо от свариваемого сплава содержит концентрические овальные кольца, различающиеся своей микроструктурой [20].

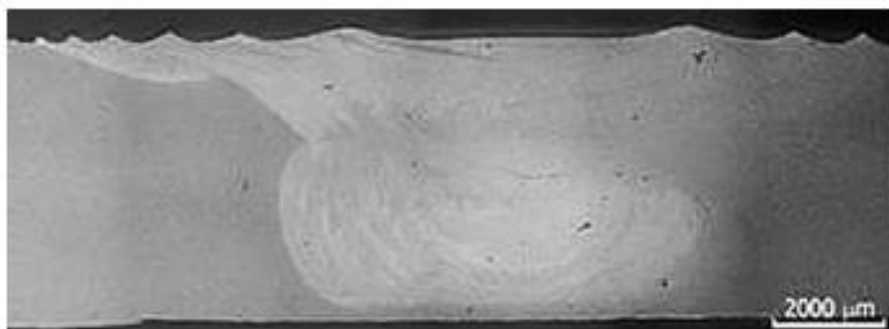


Рисунок 1.2.3 – Макроструктура стыкового соединения листов сплава 1565ЧМ толщиной 5 мм, полученного СТП [25].

Форма ядра шва зависит от свариваемого материала. Диаметр ядра шва незначительно превышает диаметр штыря инструмента. Ядро располагается в нижней части соединения. Непосредственно около ядра и в самом ядре можно отметить существенные изменения структуры, которые вызваны значительной пластической деформацией металла с разворотом зерен на угол до 90° [20].

Анализ микроструктуры соединений различных алюминиевых сплавов показал, что можно выделить четыре структурные зоны:

- Зона А - основной металл;
- Зона В - зона термического влияния (ЗТВ). Она примыкает непосредственно к основному металлу, где металл свариваемых заготовок остается недеформированным и изменяет свою структуру только под действием нагрева в процессе сварки;
- Зона С - зона термомеханического влияния (ЗТМВ), где металл подвержен значительным пластическим деформациям в совокупности с нагревом;
- Зона D – ядро шва, где в процессе сварки протекает динамическая рекристаллизация.

Металл ЗТВ отличается от основного металла меньшей твердостью, снижением плотности дислокаций и повышенной травимостью. В структуре

зоны термомеханического влияния наблюдается изгиб вытянутых зерен основного металла в сочетании с их частичной рекристаллизацией. Под действием термоциклирования и пластической деформации в этой зоне протекают процессы старения и отжига, что приводит к снижению твердости до минимальных значений [20,21,24].

Микроструктура ядра состоит из равноосных зерен, размер которых определяется технологией сварки, используемым материалом и технологией его обработки. Размер зерна в ядре шва не превышает 10 мкм. Твердость этой зоны для термически упрочняемых алюминиевых сплавов и термически неупрочняемых сплавов в нагартованном состоянии ниже, чем у основного металла. В то же время твердость этой зоны превышает твердость термически упрочняемых сплавов в отожженном состоянии [20,24].

При увеличении толщины свариваемых заготовок из алюминиевых сплавов свыше 8-10 мм наблюдается изменение конфигурации шва в поперечном сечении (рисунок 1.2.4). Верхняя часть шва приобретает в сечении форму трапеции, обращенной большим основанием в сторону обрабатывающего инструмента.



Рисунок 1.2.4 – Микроструктура соединения СТП плит алюминиевого сплава АМг5 толщиной 18 мм [25].

Кроме изменения формы шва было установлено, что при увеличении толщины свариваемых заготовок наблюдается уменьшение среднего размера зерна в зоне ядра шва с 2,2-3,5 мкм до 1,5-1,7 мкм [24]. При этом предел прочности металла шва для сплава 1570С возрастает с 355 до 370 МПа.

Основными параметрами процесса СТП принято считать следующие характеристики (рисунок 1.2.5): угол наклона инструмента относительно вертикальной оси θ ; усилие прижатия инструмента к поверхностям соединяемых деталей F ; величину погружения бурта (корпуса) инструмента t ; глубину проникновения пина инструмента в свариваемый металл l_n ; а также скорости вращения инструмента n и его линейного перемещения $V_{св}$ (скорости сварки) [24].

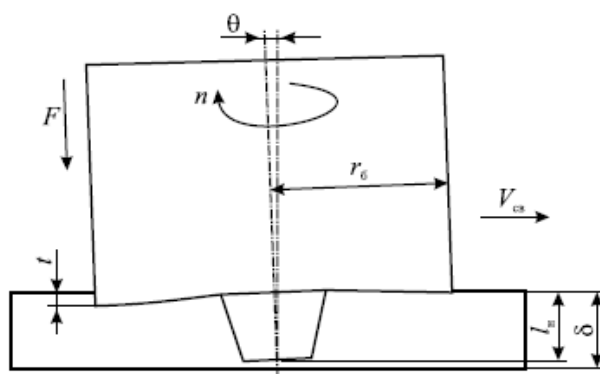


Рисунок 1.2.5 – Основные параметры сварки трением с перемешиванием [25].

В некоторых исследованиях определяются оптимальные соотношения между скоростями сварки и вращения инструмента, выражающими расстояние перемещения инструмента вдоль стыка за один его оборот, в зависимости от толщины свариваемого материала или температурного интервала кристаллизации алюминиевых сплавов [24].

Так, индийские исследователи проводили наблюдение по эволюции микроструктуры алюминиевого сплава AA2219 при сварке трением с перемешиванием [26]. Характеристику структуры сплава они определяли при помощи оптической и просвечивающей электронной микроскопии.

По результатам исследования было определено, что свариваемый металл состоял из очень мелких равноосных зерен. Значительное укрупнение зерен наблюдалось в зоне термического влияния (HAZ), в то время как в зоне термомеханического воздействия (TMAZ) оно происходило в меньшей степени (рисунок 1.2.6).

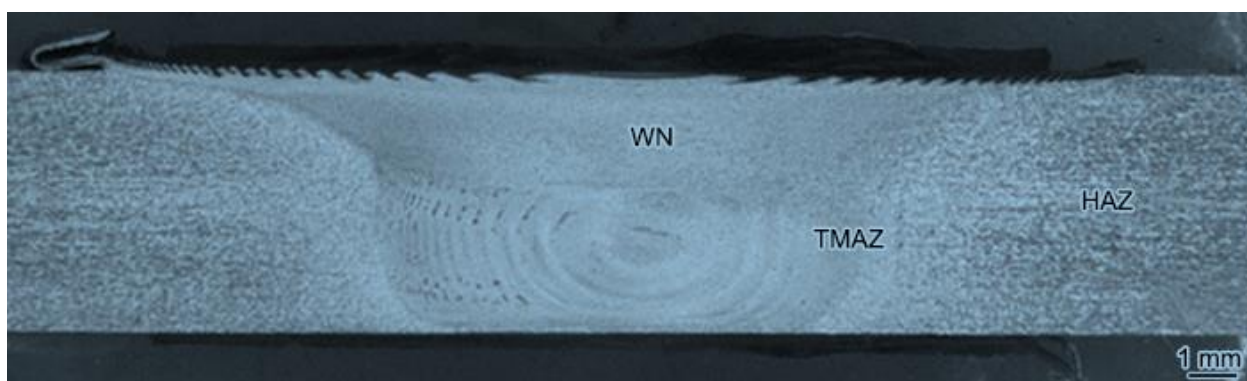


Рисунок 1.2.6 – Микроструктура алюминиевого сплава AA2219 после сварки трением с перемешиванием [26].

На рисунке 1.2.7 показана зона термомеханического влияния на границе с ЗТВ.

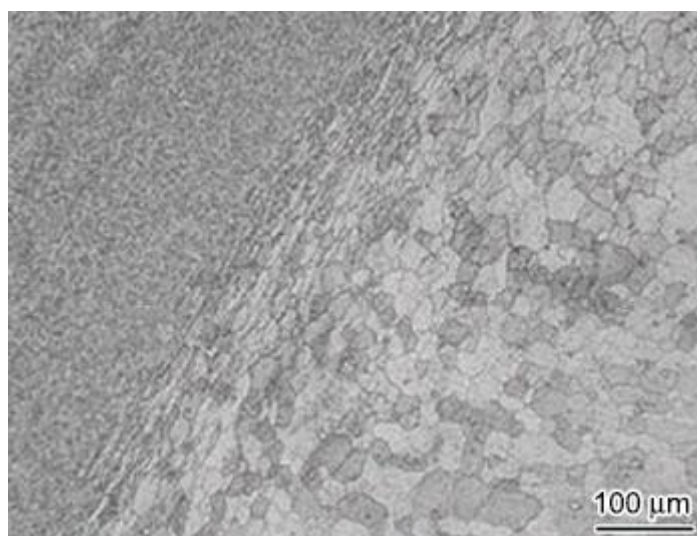
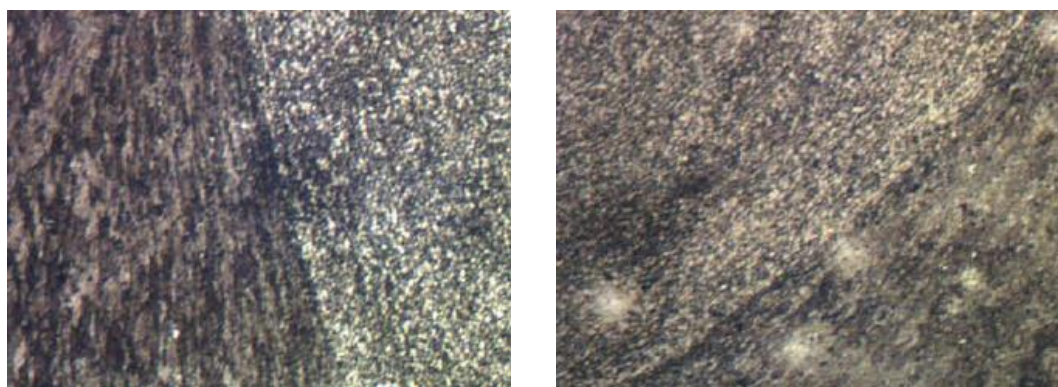


Рисунок 1.2.7 – Зона термомеханического влияния (ЗТМВ) алюминиевого сплава AA2219 [26].

Измерения разориентации границ зерен с использованием EBSD показали непрерывные динамические рекристаллизации зерен в зоне сплавления металла. Прочность на растяжение сварного шва уменьшилась по сравнению с основным металлом, но из-за того, что в процессе сварки в зоне металло шва образовалась мелкозернистая структура, это привело к увеличению энергии Шарпи, что в свою очередь способствует повышению ударной вязкости.

Прочностные характеристики сварных соединений при сварки трением могут зависеть и от последующей термообработки материала. Так, турецкие коллектив авторов из университета Улудаг, исследовали прочностные характеристики алюминиевых сплавов 2024-O, 2024-W, 2024-T4, 2024-T6 [27]. Исследования проводились при помощи оптической и просвечивающей электронной микроскопии.

Оптическое изображения микроструктуры переходной зоны ядра шва и ЗТМВ в сплавах 2024-T6 и 2024-O представлены на рисунке 1.2.8.



а

б

Рисунок 1.2.8 – Оптическое изображение микроструктуры переходной зоны ядра шва и ЗТМВ в сплавах 2024-T6 и 2024-O а – участок переходной зоны алюминиевого сплава 2024-T6; б – участок переходной зоны алюминиевого сплава 2024-O [27].

Ученые установили, что значения микротвердости в зоне сварного шва соединения Al 2024-O выше, чем у основного материала, что свидетельствует о том, что зона сварного шва была усилена процессом ФПО .

Значения микротвердости в сплавах 2024-T4 и -T6 при выдержке материала при температуре 190°C порядка 10 ч оказались частично выше, чем в соединениях 2024-W и -T6 при выдержке материала при температуре 100°C также порядка 10 ч.

Прочность соединений на растяжение повышается по мере дисперсионного отверждения основного материала. Максимальные свойства при растяжении для швов достигаются в шве 2024-T6 (190°C - 10 ч). При этом прочность на растяжение у сплавов оказалась ниже, чем у основного металла.

Было показано, что сварные соединения, выполненные сваркой трением с перемешиванием из алюминиевых сплавов 2024 в разном термообработанном состоянии, имеют разные характеристики расположения трещин при испытаниях на разрыв.

Так, разрыв сплава 2024-О, имеющего полностью стабильное состояние основного материала, произошел в зоне основного металла. У сплава 2024-В, имеющем нестабильное состояние основного металла, место излома находится в центральной зоне металло шва (ядре) и на границе с ЗТВ, тогда как в соединениях 2024-Т4, 2024-Т6, которые состарились до состояния основного металла, трещина произошла в зоне термического и термомеханического влияния.

Сравнительный гистограмма прочностных характеристик алюминиевых образцов при растяжении представлен на рисунке 1.2.9. Исходя из полученных результатов следует, что наибольшее значение прочности (порядка 490 МПа) имеют алюминиевые сплавы типа 2024-Т4 и 2024-Т6б, при этом сплав 2024-Т6б обладает наибольшим значением относительного удлинения.

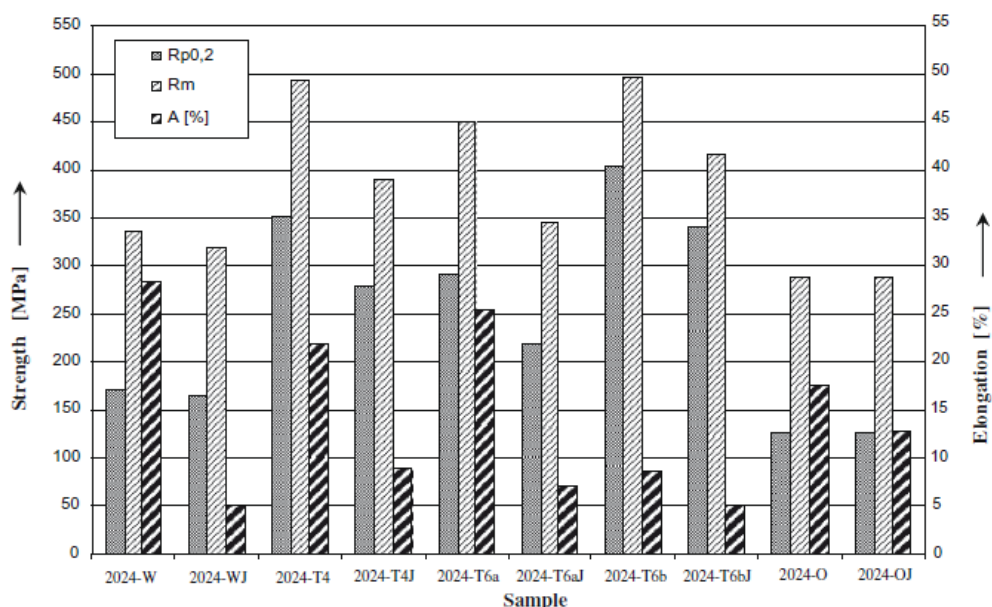


Рисунок 1.2.9 – Сравнение прочности алюминиевых сплавов после испытаний на растяжение[27].

Таким образом, можно однозначно утверждать, что сварка трением с перемешиванием обладает существенными преимуществами по сравнению со сваркой плавлением. При сварке трением с перемешиванием сохраняются свойства близкие к первоначальным, сварное соединение имеет меньший уровень остаточных напряжений и деформаций, отсутствуют негативные последствия термического воздействия такие, как выгорание компонентов сплава и увеличение размера зерна, достигаются высокие скорости сварки при больших объемах производства.

Процессы интенсивной пластической деформации оказывают влияние на формирование микроструктуры сварного шва, от которой зависят его прочностные свойства. Определяющим фактором являются температурно-временные условия, при которых реализуется процесс сварки трением с перемешиванием.

1.3 Сущность метода перемешивающей фрикционной обработки

Существует множество хорошо зарекомендовавших себя методов упрочнения материалов, применяемых для измельчения зерна. К ним относятся такие методы упрочнения как равноканальное угловое прессование, кручение под высоким давлением, многонаправленная ковка и т.д., в то время как фрикционная перемешивающая обработка относительно недавно вошла в этот список.

Фрикционная перемешивающая обработка является одним из основных методов модифицирования поверхности, который непосредственно изменяет микроструктурные особенности материала на поверхности. Данный вид обработки материалов способен улучшать такие свойства поверхности, как сопротивление истиранию, твердость, прочность, пластичность, коррозионную стойкость, усталостную долговечность и формуемость, не влияя на объемные свойства материала.

Первоначально ФПО использовалась для производства сверхпластичных алюминиевых сплавов со сверхмелкозернистым размером зерна и высокой разориентацией границ зерен. Позднее развитие ФПО привело к успешной поверхностной обработке сплавов меди, титана и стали. Метод фрикционной перемешивающей обработки продемонстрировал свою эффективность при гомогенизации алюминиевых сплавов, обработанных методом порошковой металлургии. Данный метод эффективно устраняет дефекты литья, разрушает или растворяет частицы второй фазы и приводит к значительному улучшению свойств материала [1–4].

Многочисленные исследования показали, что интенсивная пластическая деформация при ФПО является эффективным методом получения ультрамелкозернистых материалов [1–6,8-10]. Одним из существенных недостатков применяемых в настоящее время методов интенсивной пластической деформации является необходимость использования нескольких проходов для получения минимально возможного размера зерна и достижения максимально возможной степени деформации. При этом во многих случаях, для того чтобы избежать растрескивания, требуется проводить промежуточные отжиги для снятия наклепа материала.

Результаты исследований поверхностных слоев, образовавшихся при ФПО, показывают, что в результате фрикционного нагрева и интенсивной пластической деформации материал в них сильно фрагментируется и может переходить в ультрамелкодисперсное состояние. Это приводит к изменению механизмов деформирования и влияет на дальнейшее поведение системы трения в целом [8,9].

Эволюция микроструктуры во время ФПО уникальна с динамически рекристаллизованной микроструктурой, имеющей большое количество большеугловых границ зерен [8–11]. Кроме того, большинство методов упрочнения изменяют объемные свойства материала. В тоже время эти методы в отличие от ФПО включает не только модификацию поверхности, но и имеют особенность изменять структуры и свойства основного материала.

Процесс фрикционной перемешивающей обработки состоит из постепенного перемещения твердого вращающегося инструмента - пина, который погружается в заготовку и затем перемещается в заданном ему направлении. Схематическое изображение ФПО показано на рисунке 1.3.1.

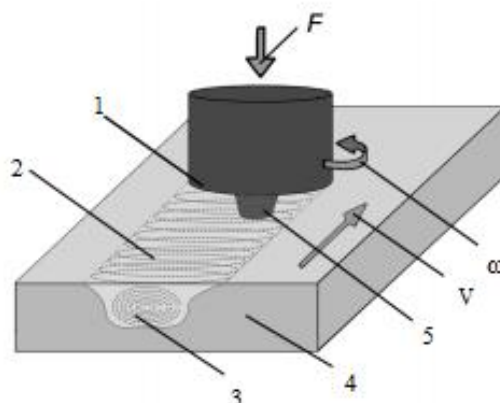


Рисунок 1.3.1 – Фрикционная перемешивающая обработка (ФПО).

Плечи СТП-инструмента 1 с рабочим пином 5 перемещается вдоль обрабатываемой заготовки 4 с определенной скоростью перемещения V . В результате равномерной прилагаемой нагрузки инструмента F и скоростью вращения плеч ω происходит формирование двух зон перемешивания материала: первая зона материала – поверхностная 2, вторая зона материала – внутренняя 3. При этом каждой зоне происходит образование мелкозернистой равноосной структуры материала [1].

Фрикционная перемешивающая обработка применяется в современной науке разных стран во многих сферах материаловедческих исследований. Так, коллектив авторов института исследования металлов Китайской академии наук [28] исследовали влияние ФПО на свойства литого сплава Mg-Al-Zn. Отливка Mg-Al-Zn была подвергнута обработке трением с перемешиванием (ФПО) и последующему старению.

В результате фрикционная перемешивающая обработка привела к значительному разрушению и растворению крупной сетчатой эвтектической фазы β -Mg₁₇Al₁₂, распределенной по границам зерен, и значительному

измельчению зерен (~ 15 мкм), тем самым значительно улучшив свойства отливки при растяжении (рисунок 1.3.2).

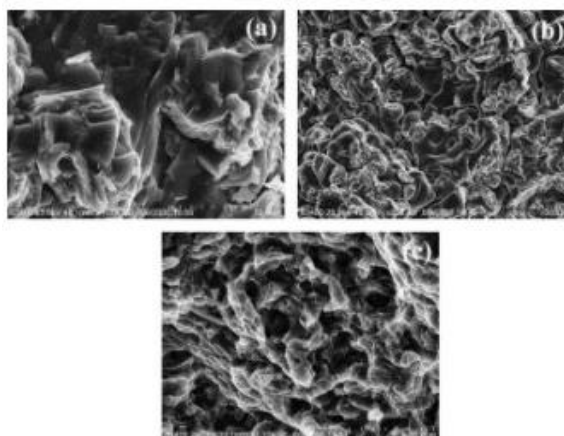


Рисунок 1.3.2 – СЭМ-изображения, показывающие поверхности излома образцов AZ91D: (а) и (б) в отливке и (в) в после ФПО [28].

После старения образец сплава показал значительно повышенный предел текучести и предел прочности на разрыв (177 и 337 МПа), а также пониженное удлинение (10%) из-за обширного непрерывного осаждения мелких частиц β - $Mg_{17}Al_{12}$.

Для достижения поставленной цели, а именно измельчения зерна промышленного алюминия 7075 Al, американские исследователи использовали комбинирующую технологию [30]. Так, комбинируя фрикционную перемешивающую обработку с быстрым охлаждением, были получены образцы с размером зерна 100, 180, 300 и 500 нм.

Зона однопроходной обработки трением с перемешиванием длиной 30 см была получена при скорости перемещения 120 мм / мин и скорости вращения 1000 об / мин. Смесь воды, метанола и сухого льда использовалась для закалки пластины сразу после ФПО. Скорость охлаждения контролировалась, регулируя объемный расход охлаждающей жидкости. В ходе эксперимента были выбраны четыре скорости охлаждения для создания зерен различного размера в полученной обработанной микроструктуре.

Макроизображения поперечного сечения, перпендикулярного направлению обработки показаны на рисунке 1.3.3.

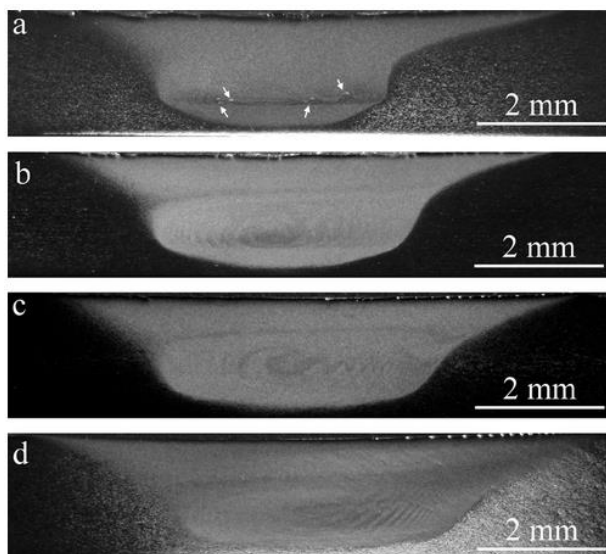


Рисунок 1.3.3 – Макроизображения поперечного сечения, перпендикулярного направлению обработки; из (a) образца А, (b) образца В, (c) образца С и (d) образца D [30].

По результатам исследования выяснилось, что нанокристаллические структуры, сформированные в образце, обработанном с максимальной скоростью охлаждения, состоят из зеренной структуры с преобладанием большеугловых границ и свободны от структур с дислокационными ячейками (рисунок 1.3.4).

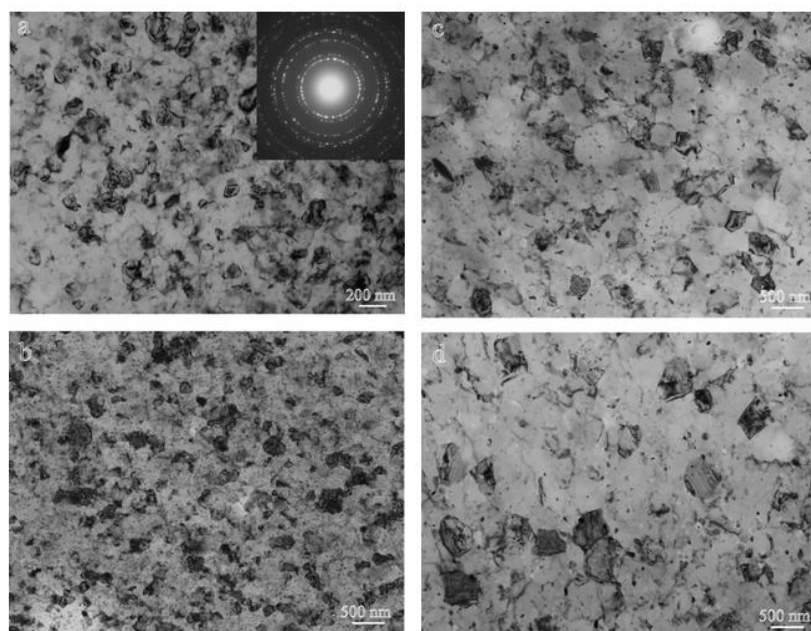


Рисунок 1.3.4 – Микрофотографии сплава 7075 Al после ПЭМ; (а) в образце А с соответствующей структурой SAD, (b) в образце В, (с) в образце С и (d) в образце D [30].

В крупных зернах образцов при более медленных скоростях охлаждения наблюдались дислокации и структуры возврата (рисунок 1.3.5).

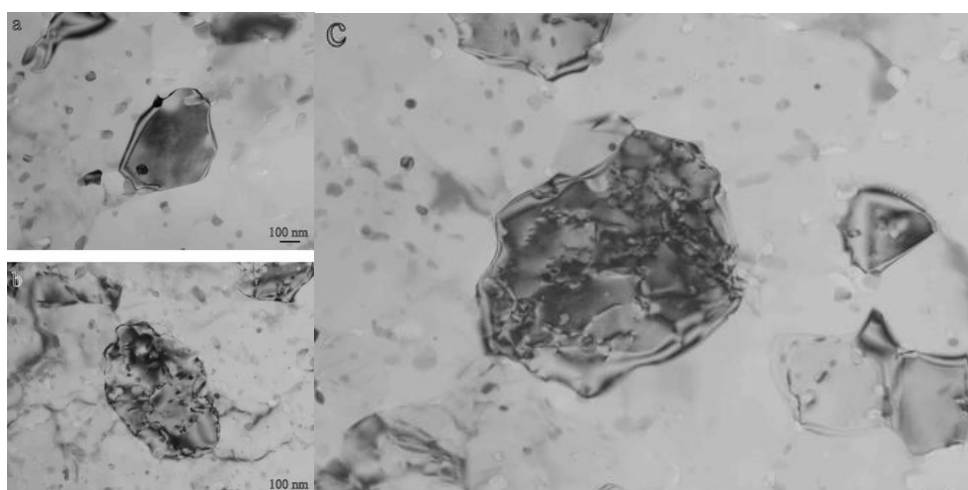


Рисунок 1.3.5 – Зерновые структуры в образцах: а - зерно без дислокаций, b - зерно с высоким уровнем внутренних напряжений и упругих искажений, с - зерно с содержанием дислокаций [30].

Образованные зерна являются результатом эволюции исходных нанокристаллов, сформированных вокруг булавочного инструмента при ФПО. Контролируя скорость охлаждения, происходит образование мелкозернистой

структуры зерна порядка 100, 180, 300 и 500 нм. Дефекты обработки были обнаружены только в образце А, который испытал самую высокую скорость охлаждения. Для образцов с более медленным охлаждением (BD) зоны обработки демонстрируют высокую степень сплошности без дефектов, что свидетельствует о высоком качестве обработки.

Коллективу авторов «Института Физики Прочности и Материаловедения СО РАН» были исследованы механические свойства образцов алюминиевого сплава, полученных перемешивающей обработкой трением листового проката различной толщины [31].

В ходе исследования было определено, что при изготовлении образцов сплава АМг5 толщиной 5 и 10 мм, подвергнутых перемешивающей фрикционной обработке прочностные свойства образцов находятся на уровне прочности исходного материала. В зоне перемешивания происходит разрушение исходной структуры сплава с образованием ультрамелкозернистой зеренной структуры (рисунок 1.3.6).

При этом независимо от толщины исходных листов размер зерна в зоне перемешивания находится на уровне 5–10 мкм.

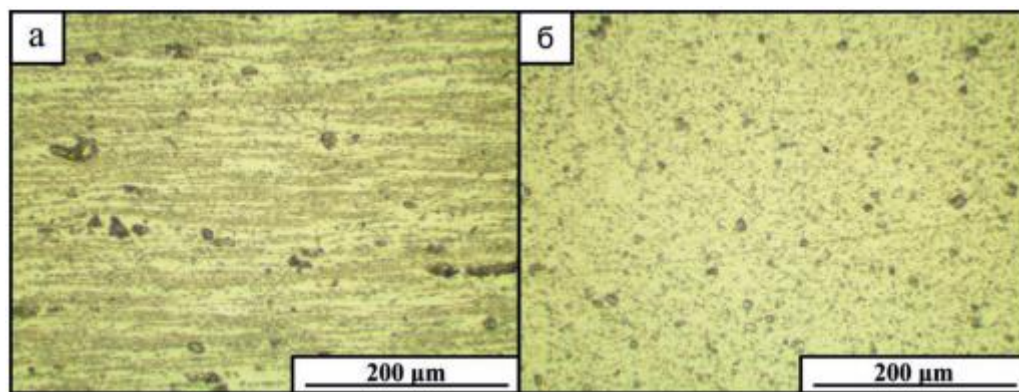


Рисунок 1.3.6 – Структура исходного материала(а) и зоны перемешивания(б) [31].

При этом, несмотря на практически одинаковые значения предела прочности для образцов, полученных из листов различной толщины, закономерности протекания процесса деформации данных образцов

демонстрируют существенные отличия. Такое положение обусловлено условиями охлаждения материалов различной толщины, различными степенями рекристаллизации материала в зоне перемешивания и, как следствие, существенно отличающимися параметрами стадий деформационного упрочнения и картины изломов (рисунки 1.3.7,1.3.8).

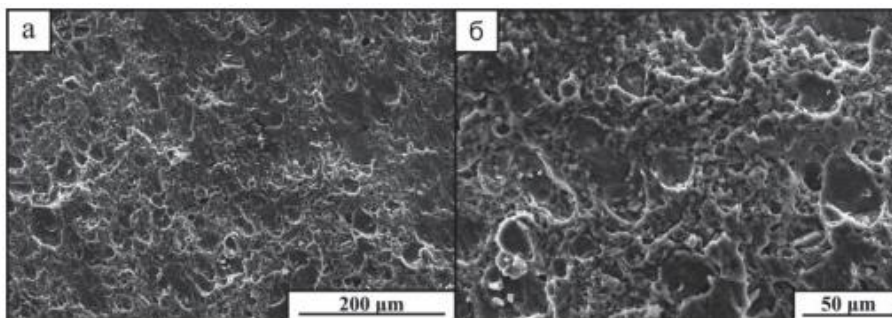


Рисунок 1.3.7 – Строение излома образца, полученного из листа сплава АМг5 толщиной 5 мм [31].

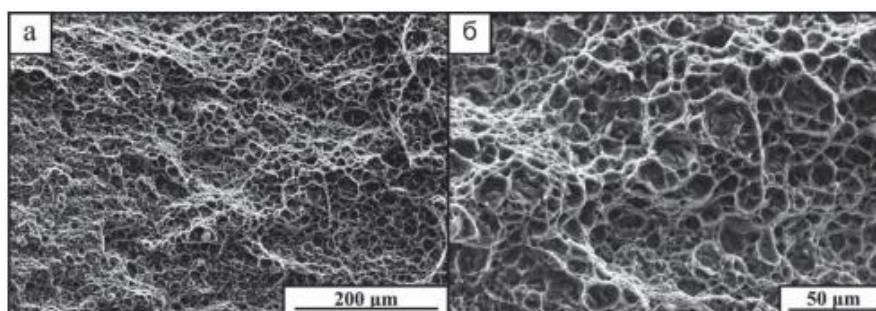


Рисунок 1.3.8 - Строение излома образца, полученного из листа сплава АМг5 толщиной 10 мм [31].

Проведенные исследования показывают, что изготовление образцов алюминиевых сплавов с ультрамелкозернистой структурой методом перемешивающей фрикционной обработки по прочностным характеристикам превосходят образцы исходного материала на величину до 10%.

Изменение режимов, характерных для изготовления образцов из листов проката различной толщины, ввиду различного инструмента и условий обработки, отличия в условиях отвода тепла от области перемешивания и др. приводят к тому, что, несмотря на практически одинаковый размер зерна,

условия испытания и размер образцов, пластическая деформация и разрушение проходят по различным механизмам, что свидетельствует об отличиях в структурно-фазовом состоянии образцов, что должно учитываться при изготовлении деталей из ультрамелкозернистых материалов данным методом.

По результатам проведенного анализа можно утверждать, что технология ФПО является энергоэффективной, экологически чистой, универсальной технологией обработки материалов для получения мелкозернистой структуры материала, поверхностных и объемных композитов из различных алюминиевых сплавов, а также синтеза композиционных и интерметаллических соединений. При этом геометрия инструмента является очень важным фактором, влияющим на дисперсию частиц наряду с их направлением вращения инструмента и оказываемому усилию.

1.4. Влияние модификаторов на структуру и механические свойства материалов, полученных методом фрикционной перемешивающей обработки

Поверхностные свойства алюминиевых сплавов могут быть значительно улучшены за счет нанесения покрытий различных типов на подложку из алюминиевого сплава. Для улучшения свойств поверхности алюминия существуют такие методы, как физическое осаждение из газовой среды, твердое и жидкое анодирование, осаждение ионным пучком и др. Тем не менее, производимые этими методами покрытия слишком тонкие, чтобы выдержать приложенную высокую нагрузку, так как тонкая пленка легко разрушается при деформации подложки из алюминиевого сплава. Кроме того, эти методы являются дорогостоящими, трудоемкими и неэкологичными из-за их дорогостоящих расходных материалов, длительного времени обработки и токсичных выбросов. Также существуют методы упрочнения поверхности

методом образования поверхностного слоя, состоящего из композиционного материала с металлической матрицей, армированной керамическим или интерметаллическим наполнителем, на алюминиевой подложке. На данный момент для получения композиционных материалов с металлической матрицей на основе алюминиевых сплавов были использованы различные техники, в том числе лазерная наплавка [32], плазменное напыление [33] и микродуговое окисление [34]. Метод лазерной наплавки включает плавление металла, которое может вызвать несколько дефектов, таких как растрескивание, пористость, анизотропия структуры и состава, увеличение балла зерна, рост дендритных кристаллов и образование нежелательных фаз из-за межфазной реакции между арматурой и металлической матрицей. При использовании методов плазменного напыления или микродугового окисления существует возможность получения низких значений адгезии между поверхностным композитным слоем и основным материалом, прочность межфазного сцепления ограничена. Преодоление негативных аспектов вышеописанных методов по сей день является одним из основных направлений развития данных технологий.

Фрикционная перемешивающая обработка относительно новая технология твердотельной модификации поверхности, этот метод широко применяется в обработке металлических материалов с целью изменения микроструктуры поверхности [1]. Кроме того, в различных исследованиях уже была продемонстрирована эффективность этого способа введения армирующих частиц в металлическую матрицу для получения композиций как на поверхности материала, так и в его объеме благодаря использованию инструментов различных конфигураций. Для изготовления модификации поверхности данным методом в обрабатываемом материале подготавливаются отверстия или пазы в зоне обработки, заполняемые армирующими частицами (рисунок 1.4.1).

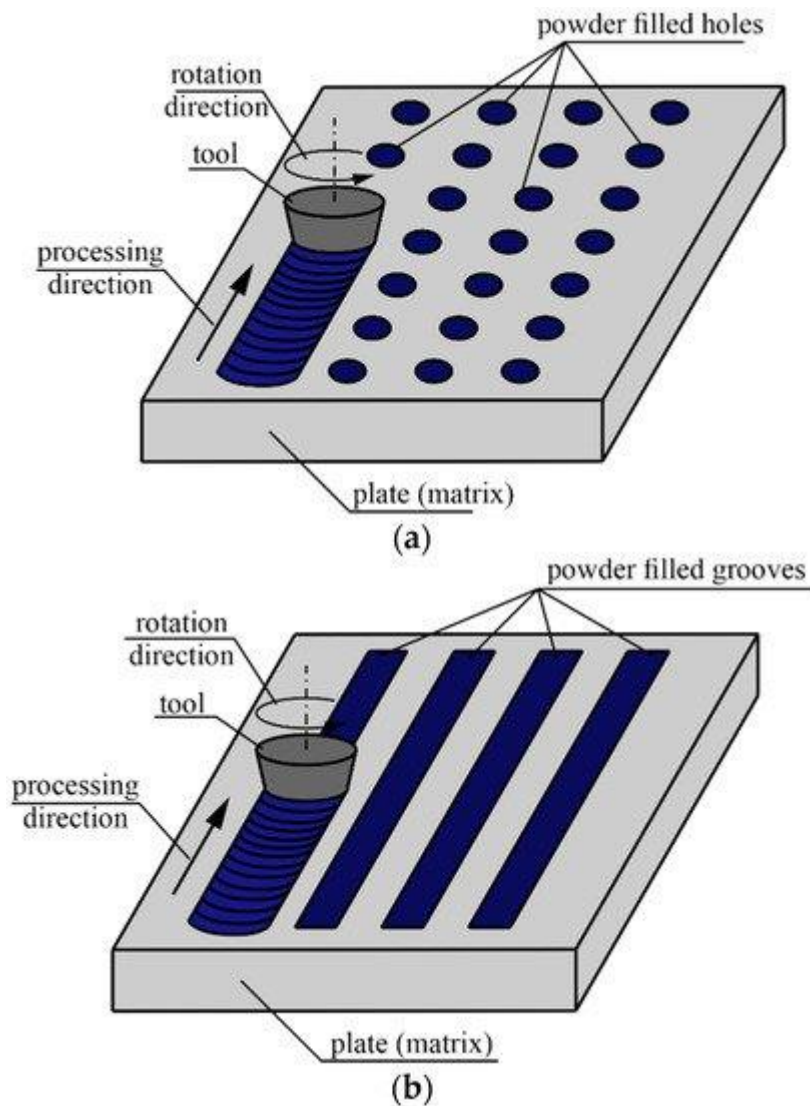


Рисунок 1.4.1 – Методы заполнения листового материала армирующим компонентом при ФПО: а) метод заполнения отверстиями; б) метод заполнения продольными пазами [35].

Для заполнения металла при ФПО методом отверстий на обрабатываемой зоне сверлятся глухие отверстия одинаковой периодичностью. Диаметр, глубина и количество отверстий рассчитываются исходя из целей производства для получения необходимого объёмного содержания модификатора. Метод заполнения пазами по своей сути не сильно отличается от метода заполнения отверстиями. Основной отличительной чертой данного метода является то, что вместо множества отверстий в заготовке подготавливается один продольный паз, что может

упростить обработку фрикционным перемешиванием в массовом производстве.

После наполнения отверстий или пазов армирующим компонентом нерасходуемый вращающийся инструмент с пином и плечами погружаются в заготовку и проходят вдоль пазов или отверстий. Теплота трения, возникающая между инструментом и заготовкой смягчают материалы вокруг инструмента, и сочетание вращения и перемещения инструмента позволяет достичь текучести материала, таким образом, приводит к однородному смешиванию армирующего компонента и основного металла, окончательно формируя композит с металлической матрицей. Исходя из характеристик и правил подготовки и модификации поверхности методом фрикционной перемешивающей обработки, можно выделить следующие положительные стороны процесса:

1) Весь процесс подготовки является энергосберегающим, экологичным и экономичным;

2) Низкая температура обработки с коротким термическим циклом ниже температуры плавления алюминиевых сплавов, позволяет избежать дефектов, связанных с плавлением металла и ограничить межфазную реакцию между армирующим компонентом и алюминиевой матрицей;

3) Толщина композитного слоя может быть дополнительно отрегулирована с помощью изменения конфигурации инструмента, параметров процесса и методов введения армирующих частиц, благодаря чему глубина модифицированного слоя может достигать нескольких миллиметров;

4) Высокая адгезия модифицированного слоя и металлической подложки, позволяющая избежать отслоения поверхностных слоёв от основного металла.

В качестве армирующего компонента во время фрикционной перемешивающей обработки могут быть использованы твердые керамические частицы, такие как SiC [36] и Si₃N₄ [37] и углеродные наноматериалы, такие как графит [38] и углеродные нанотрубки [39]. Композиты, усиленные данным

частицами, имеют несколько недостатков таких, как большая разница между коэффициентами теплового расширения включений и алюминиевой матрицы и их высокая хрупкость.

В качестве армирующих компонентов также можно рассмотреть интерметаллидные соединения. Интерметаллиды имеют низкую плотность, высокий модуль упругости и температуру плавления [40]. Также, интерметаллиды имеют КТР гораздо ближе к алюминиевой матрице и более пластичны по сравнению с рассмотренными выше неметаллическими включениями. Следовательно, использование интерметаллидных частиц в качестве наполнителя является перспективным направлением технических разработок. Из всего многообразия интерметаллидных соединений интерметаллиды на основе алюминия выделяет множество положительных свойств, таких как отличная износостойкость, высокая твердость и стабильность при повышенных температурах. Исходя из вышесказанного, наполнение алюминия металлическими модификаторами является перспективной идеей в качестве научной разработки.

В настоящее время существует два способа получения алюминиевых композитов, модифицированных металлическими частицами методом ФПО: прямой и косвенный (непрямой). Первый способ заключается в заполнении алюминиевой матрицы порошками интерметаллидов напрямую, второй – в образовании интерметаллидных соединений непосредственно в процессе фрикционного перемешивания. Косвенный способ модифицирования имеет ряд преимуществ по сравнению с прямым. Композиты, изготовленные непрямым методом, имеют более однородную микроструктуру, а также более стабильны термодинамически. В частности, межфазные реакции между армирующим компонентом и алюминиевой матрицей обеспечивают металлургическую связь между ними, позволяя передавать нагрузку через границу раздела армирующий компонент / матрица, что, как предполагается, является важным для получения превосходных трибологических свойств [40]. Као и его сотрудники успешно использовали косвенный метод ФПО для

получения алюминий-матричных композитов Al–Al₂Cu [41], Al–Al₁₃Fe₄ [42] и Al–Al₃Ti [43]. Для этого были использованы соответствующие порошки алюминия с медью, железом и титаном. Порошки были смешаны и подвергнуты горячему прессованию для образования объемной заготовки. После этого была произведена фрикционная перемешивающая обработка для образования композитов с алюминиевой матрицей, армированных интерметаллическими частицами. В последние годы некоторые исследования также сообщают о возможности фазовых превращений во время ФПО. Ходабахши и др. [44] модифицировали Алюминиево-магниевый сплав 5052 с помощью титанового порошка с средним диаметром частиц порядка 40мкм. Они использовали заполнение с помощью продольных пазов и для гомогенизации произвели четыре прохода ФПО. Результаты их исследования показали, что частицы титана взаимодействуют с подложкой из алюминия с образованием Al₃Ti. Также Ходабахши и др. [45] использовали тот же метод для изготовления гибридных интерметаллических композитов (Al₃Ti / MgO) с армированной поверхностью на основе системы Al–Mg–TiO₂. Данный метод ФПО имеет некоторые преимущества перед методом, который использовали Као и др. Благодаря данному способу, пропадает необходимость этапов консолидации и спекания перед фрикционной перемешивающей обработкой. Этот факт может быть важным для массового производства, так как он позволяет экономить время и электроэнергию.

Медь является одним из наиболее перспективных элементов, добавляемых в алюминий для формирования армирующих фаз на месте из-за её низкой стоимости и высокой износостойкости интерметаллидов Al–Cu. На данный момент произведено относительно мало исследований на тему АМК, армированных частицами интерметаллидов системы Al–Cu методом ФПО [41,46]. В этих исследованиях методом ФПО были получены интерметаллические армирующие частицы Al₂Cu, а также было проведено исследование влияния этих частиц на структуру и свойства материала. Интересным фактом является то, что в данных исследованиях

образуются только интерметаллиды типа Al_2Cu , но в этих работах [41,46] не была указана причина данной особенности межфазовых превращений, кроме того, имеется ограниченная информация об износе.

Таким образом в исследованиях Хуанга и др.[47] с помощью пяти проходов фрикционной перемешивающей обработки были получены образцы алюминия 1060, модифицированных медным порошком. В результатах данного исследования демонстрируется рентгенограмма образца, показывающая наличие интерметаллидных соединений Al_2Cu в составе композиции (рисунок 1.4.2). Образование интерметаллидов типа Al_2Cu было обосновано наименьшей энергией Гиббса данной фазы системы Al–Cu. При этом композиты продемонстрировали значительное повышение твёрдости в несколько раз ~ 75 HV при твёрдости алюминия в исходном состоянии ~ 24 HV.

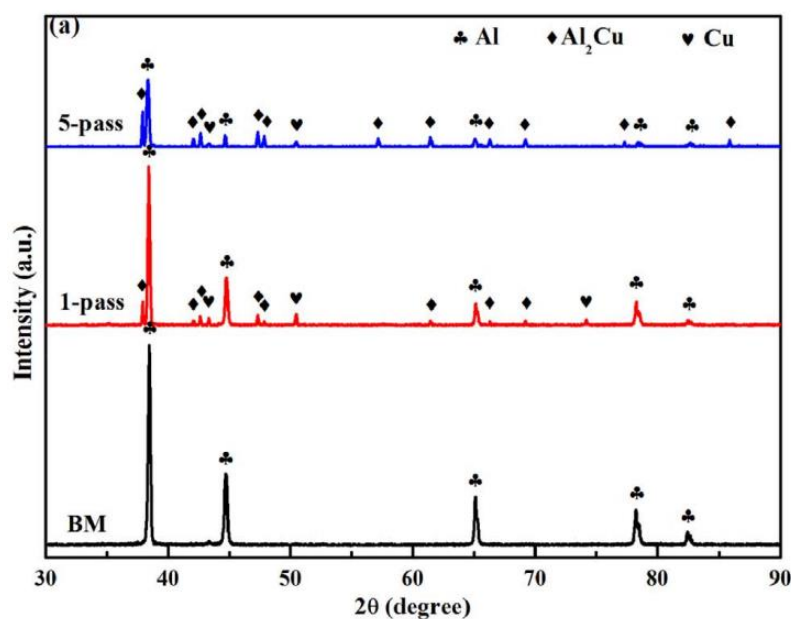


Рисунок 1.4.2 – рентгенограмма композиции Al–Cu, полученной методом ФПО [47].

2. Объект и метод исследования

2.1 Оборудование и материалы

Установка для сварки трением с перемешиванием и фрикционной перемешивающей обработки совместно с оборудованием для тепловизионной съемки представлена на рисунке 2.1.1. На настоящее этапе результаты тепловизионной съемки не представлены.

Установка фрикционной перемешивающей обработки представляет собой перемещающийся в продольном направлении стол, на котором зажимами закрепляются обрабатываемый материал, и вертикально перемещающийся шпиндель, осуществляющий прижим инструмента. Установка снабжена механизмом продольного перемещения, который состоит из привода и ременной или цепной передачи. Кроме того, установка содержит блок управления обрабатывающим инструментом, включающий привод главного вращения, выдвижную гильзу с патроном и обрабатывающим инструментом.

Обработка осуществляется инструментом из штамповой жаропрочной стали 4Х4ВМФС с винтовым пином длиной 3 мм и диаметром плеч 16 мм (рисунок 2.1.2), внедряемым в поверхность детали при вращении под действием силы нормального давления, тепловыделения и размягчения материала за счет силы трения и совершающего далее проходы вдоль линии обработки (рисунки 2.1.3, 2.1.4) по поверхности листового проката из сплава АМг6БМ с формированием упрочненного слоя глубиной 3 мм с измельченной зеренной структурой .



Рисунок 2.1.1 – Установка для сварки трением с перемешиванием и фрикционной перемешивающей обработки совместно с оборудованием для тепловизионной съемки.

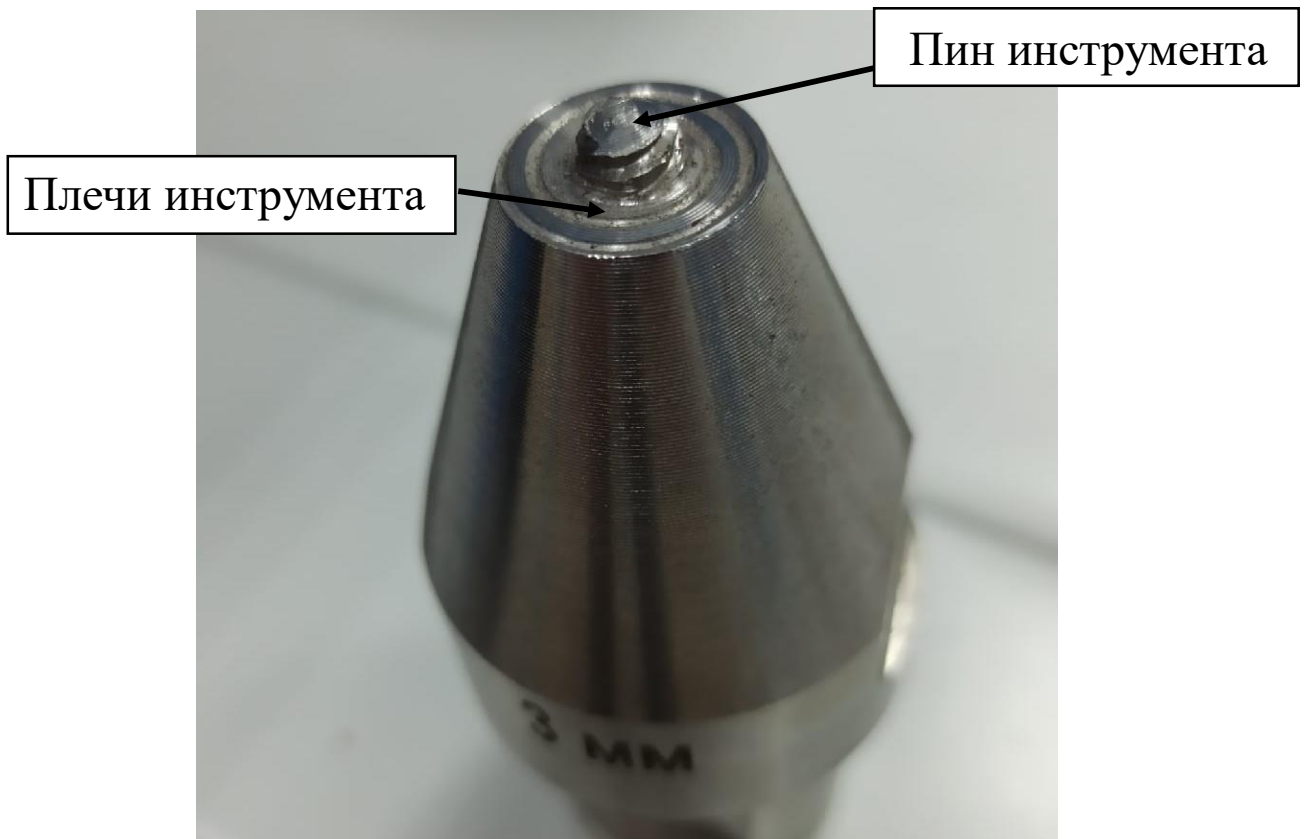


Рисунок 2.1.2 – Инструмент для фрикционной перемешивающей обработки.

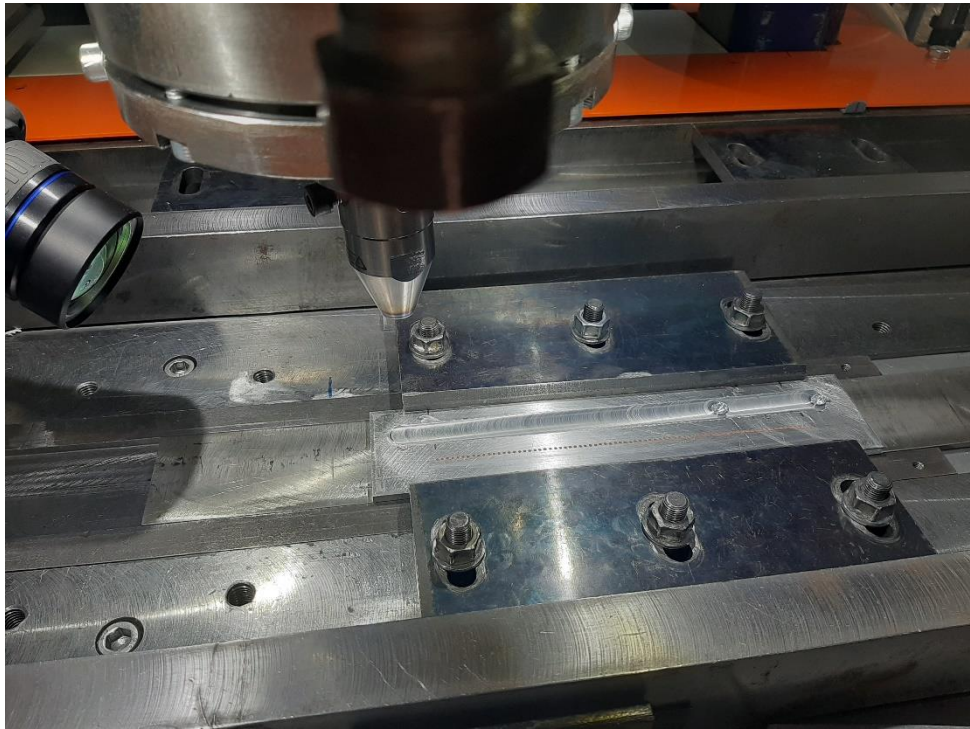


Рисунок 2.1.3 – Зона обработки трением с перемешиванием.

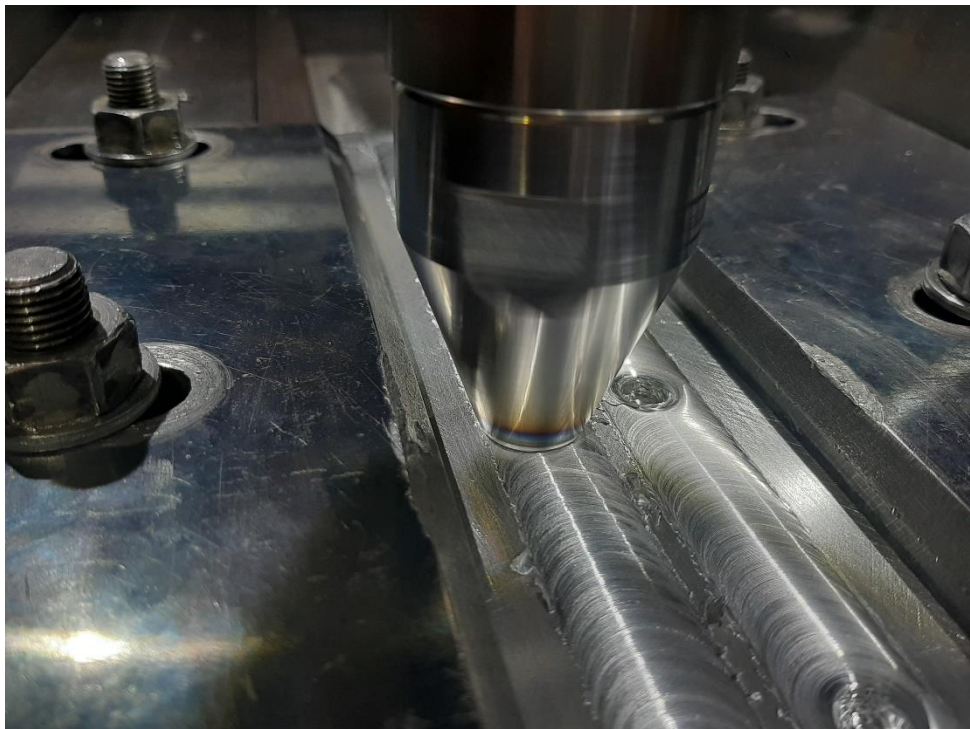


Рисунок 2.1.4 – Движение инструмента вдоль линии обработки.

2.2 Методика проведения эксперимента

Образцы для данного исследования были получены следующим образом. Материал алюминиевого сплава вместе с порошковыми частицами, засыпанными в необходимом объеме в отверстия вдоль линии обработки, претерпевает сложные процессы пластической деформации, фрагментации и течения посредством обработки с помощью нерасходуемого вращающегося инструмента с винтовым пином/штифтом. Инструмент погружается в заготовку под действием осевого усилия при вращении до тех пор, пока плечи инструмента не коснутся поверхности заготовки и не будет достигнуто требуемое усилие. Затем инструмент продвигается по заготовке в направлении обработки. При трении между инструментом и заготовкой выделяется большое количество тепла. При повышении температуры из-за тепла трения основной металл размягчается в зоне обработки и подвергается пластической деформации, увлекаемый вращающимся и перемещающимся инструментом. Это основной принцип модификации металлических материалов с помощью ФПО, что приводит к образованию подповерхностной градиентной структуры в материале за счет измельчения зерна, гомогенизации структуры и образования новых фаз с порошковыми частицами [1–6].

Порошок использовался в состоянии поставки. Используемые порошки: медь М1 ПМС-1, латунь Cu80Zn20, латунь Cu50Zn50, нейзильбер Cu64Zn21Ni1.

Изначально совершается первый проход вдоль линии обработки на максимальную длину для заданной длины пластинки - 240 мм, далее - второй проход на длину 180 мм, затем - третий проход инструментом длиной 120 мм и в конце четвертый проход инструментом вдоль линии обработки длиной 60 мм. Таким образом, зоны, подвергавшиеся одно-, двух-, трех- и четырехкратным воздействиям на образце занимают достаточные габариты для вырезки металлографических шлифов и образцов для механических испытаний на растяжение вдоль линии обработки (рисунок 2.2.1).

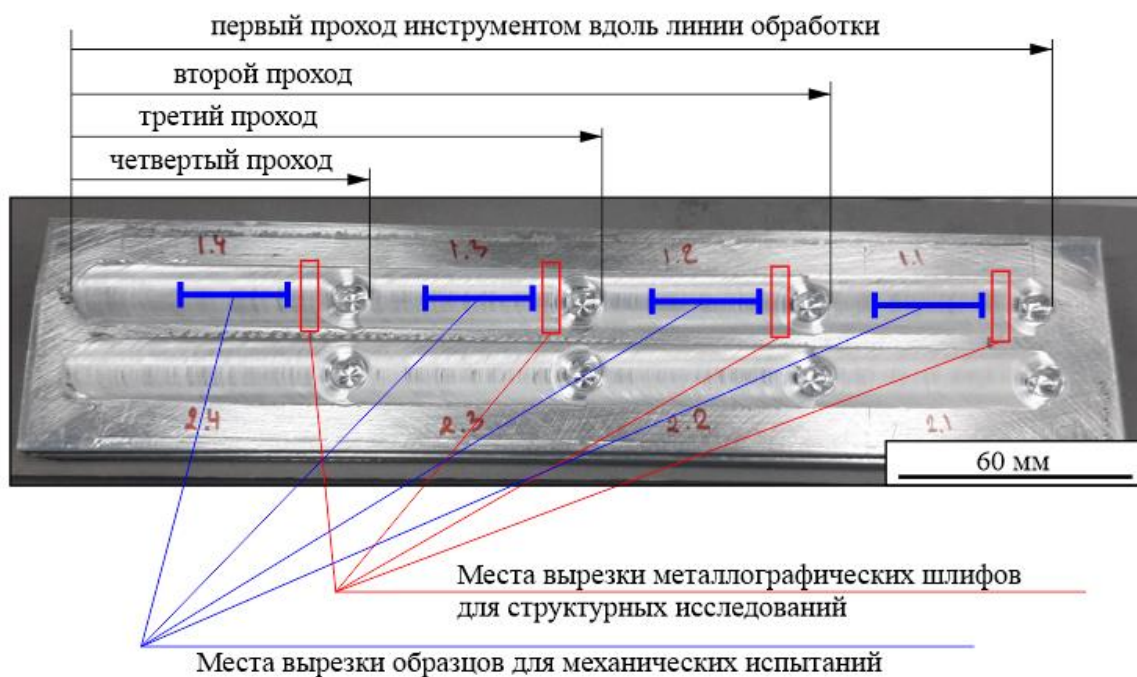


Рисунок 2.2.1 – Снимок пластины после обработки, схема проведения процесса обработки и схема вырезки образцов для металлографических исследований и механических испытаний.

Режимы фрикционной перемешивающей обработки алюминиевого сплава АМг6БМ и объемы и составы вносимых в алюминиевый сплав порошков медных сплавов приведены в таблицах 2.2.1 – 2.2.4, расположенных ниже. Режимы для обработки инструментом с винтовым пином глубиной 3 мм для указанных в таблице значений объема медного порошка не требуют корректировки и соответствуют режимам обработки алюминиевого сплава АМг6БМ без вносимого порошкового материала. С использованием порошка латуни появляется потребность корректировки режимов обработки вследствие фазовых реакций между основным металлом и армирующим компонентом.

Таблица 2.2.1 – Режимы обработки образцов АМг6БМ модифицированных 1,5% Cu.

№ прохода	P_{внел}/P_{свар}, кг	V, мм/мин	ω, об/мин
1	1400/1350	90	500
2	1400/1350	90	500
3	1400/1350	90	500
4	1400/1350	90	500

Таблица 2.2.2 – Режимы обработки образцов АМг6БМ модифицированных 5% Cu80Zn20.

№ прохода	P_{внел}/P_{свар}, кг	V, мм/мин	ω, об/мин
1	1600/1700	90	450
2	1650/1750	90	450
3	1650/1750	90	450
4	1650/1750	90	450

Таблица 2.2.3 – Режимы обработки образцов АМг6БМ модифицированных 5% Cu50Zn50.

№ прохода	P_{внел}/P_{свар}, кг	V, мм/мин	ω, об/мин
1	1400/1350	90	500
2	1400/1450	90	550
3	1400/1500	90	550
4	1400/1550	90	550

Таблица 2.2.4 – Режимы обработки образцов АМг6БМ модифицированных 5% Cu64Zn21Ni15.

№ прохода	$P_{\text{введ}}/P_{\text{свар}}$, кг	V , мм/мин	ω , об/мин
1	1400/1350	90	500
2	1400/1350	90	500
3	1400/1350	90	500
4	1400/1350	90	500

После вырезки металлографических шлифов на электроискровом станке DK7750 проводилась подготовка образцов путем шлифования на наждачной бумаге до зернистости 2000, дальнейшего полирования на алмазной пасте и травления в реактиве Келлера ($H_2O=95$ мл; $HNO_3=2,5$ мл; $HCl=1,5$ мл; $HF=1$ мл) в течение 10–15 секунд. Далее производили съемку на металлографическом микроскопе Altami MET 1С.

2.3 Проведение исследований макроструктуры образцов сплава АМг6БМ

Макроструктура образца после обработки с внедрением порошковых частиц меди в объеме 1,5% представлена относительно неоднородным распределением частиц после выполнения одного прохода инструментом. Дополнительные проходы инструмента по уже обработанной зоне позволяют повысить однородность получаемых композитов, что видно на изображениях макроструктуры (рисунок 2.3.1). Также можно выделить неоднородность распределения в объеме порошковых частиц по длине образца в направлении обработки и увеличение однородности с повышением количества проходов инструментом вдоль линии обработки.

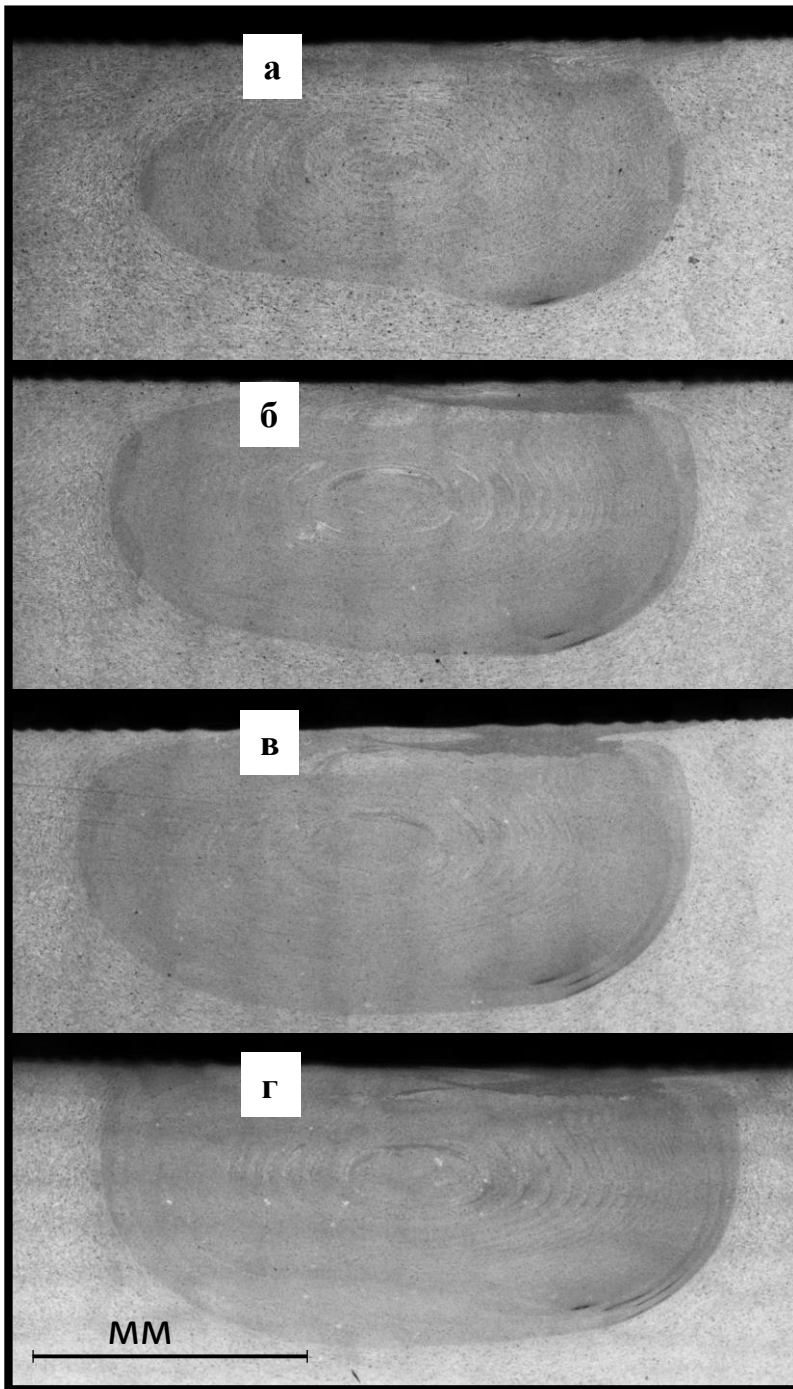


Рисунок 2.3.1 – Макроструктура поперечного шлифа АМг6БМ, модифицированного 1,5% Cu: а) 1 проход; б) 2 прохода; в) 3 прохода; г) 4 прохода.

На представленных металлографических изображениях можно четко выделить области, в которых произошла реакция между внедренными в объем материала порошковыми частицами и сплавом АМг6БМ листового проката. Области четко оконтуривают течение материала в зоне перемешивания

(темные слои) посредством повышения травимости материала сплава при образовании твердых растворов и интерметаллидных фаз на основе алюминия, меди и других элементов порошков. В зоне перемешивания также можно выделить наличие мелких непрореагировавших с материалом алюминиевого сплава частиц медных сплавов как после первого прохода инструментом, так и после второго и третьего прохода. Макроструктура зоны обработки типичная для металлов и сплавов, подвергнутых фрикционной перемешивающей обработке или сварке трением с перемешиванием [].

Выделяется зона перемешивания (центральная часть на рисунках), по краям которой четко выделяется зона термомеханического влияния, переходящая в зону термического влияния и, далее, в основной металл.

Для образцов, модифицированных 5% об. латунного порошка Cu80Zn20 характерна более ярко выраженная структура (рисунок 2.3.2), это можно объяснить увеличением количества интерметаллидных фаз в объеме материала вследствие увеличения концентрации армирующего компонента. Интерметаллиды подвергаются травлению реагентом Келлера лучше алюминиевого сплава АМг6БМ, вследствие чего мы можем наблюдать более четкую текстуру полученного материала. Следует заметить, что при первых проходах однородность образцов несколько ниже, чем это было продемонстрировано с порошком меди. После второго прохода в образцах были замечены достаточно крупные латунные включения. Это можно объяснить двумя факторами, влияющими на технологические свойства материала: 1) повышение объема порошкового материала в образцах; 2) использование порошка цинка. Данные два фактора повышают необходимую для фрикционного перемешивания нагрузку, что демонстрирует таблица 2.2.2, в которой указаны режимы обработки композитов данного состава. Повышение количества армирующего компонента требует увеличивает количество энергии необходимой для протекания вазовых превращений. Влияние цинка в составе порошка будет более наглядно продемонстрировано ниже.

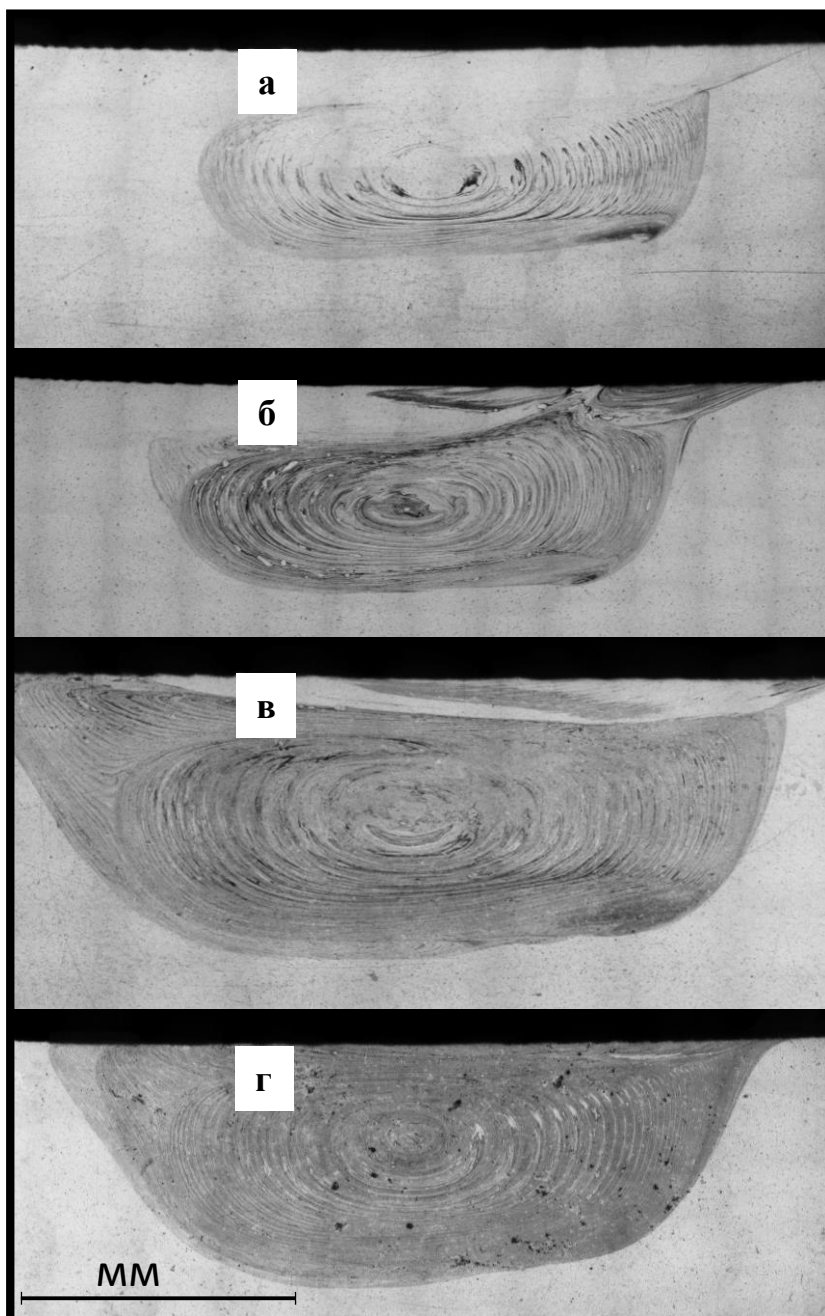


Рисунок 2.3.2 – Макроструктура поперечного шлифа АМг6БМ, модифицированного 5% Cu80Zn20: а) 1 проход; б) 2 прохода; в) 3 прохода; г) 4 прохода.

Получение образцов 5% об. порошка Cu50Zn50 является наиболее проблематичным из всех исследованных составов. На металлографических изображениях данной партии образцов (рисунок 2.3.3) хорошо заметна образовавшаяся в процессе обработки раковина, имеющая неровные рваные края. Подобный дефект образцов объясняется большим содержанием цинка в

используемом порошковом материале. Цинк в сочетании с алюминием может образовывать легкоплавкую эвтектику, температура плавления которой достаточно низкая, порядка 382°C , что является весьма достижимой температурой при фрикционной перемешивающей обработке. Вышеописанная особенность системы Al–Zn вызывает контактное плавление материала в процессе обработки. Несмотря на склонность к дефектам при обработке данного композита, с увеличением количества проходов качество материала повышается. На рисунке 2.3.3(б) видно, что со вторым проходом инструмента раковина заметно уменьшилась в размерах, с третьим проходом – произошло закрытие раковины, а после четвёртого прохода дефект и вовсе отсутствует. Однако, однородность полученных образцов на порядок ниже чем у образцов с меньшим содержанием цинка. Таким образом, АМг6БМ с 5% об. порошка Cu50Zn50 после фрикционной обработки четырьмя проходами по однородности можно сравнить с образцами АМг6БМ с 5% об. порошка Cu80Zn20 после двух проходов ФПО.

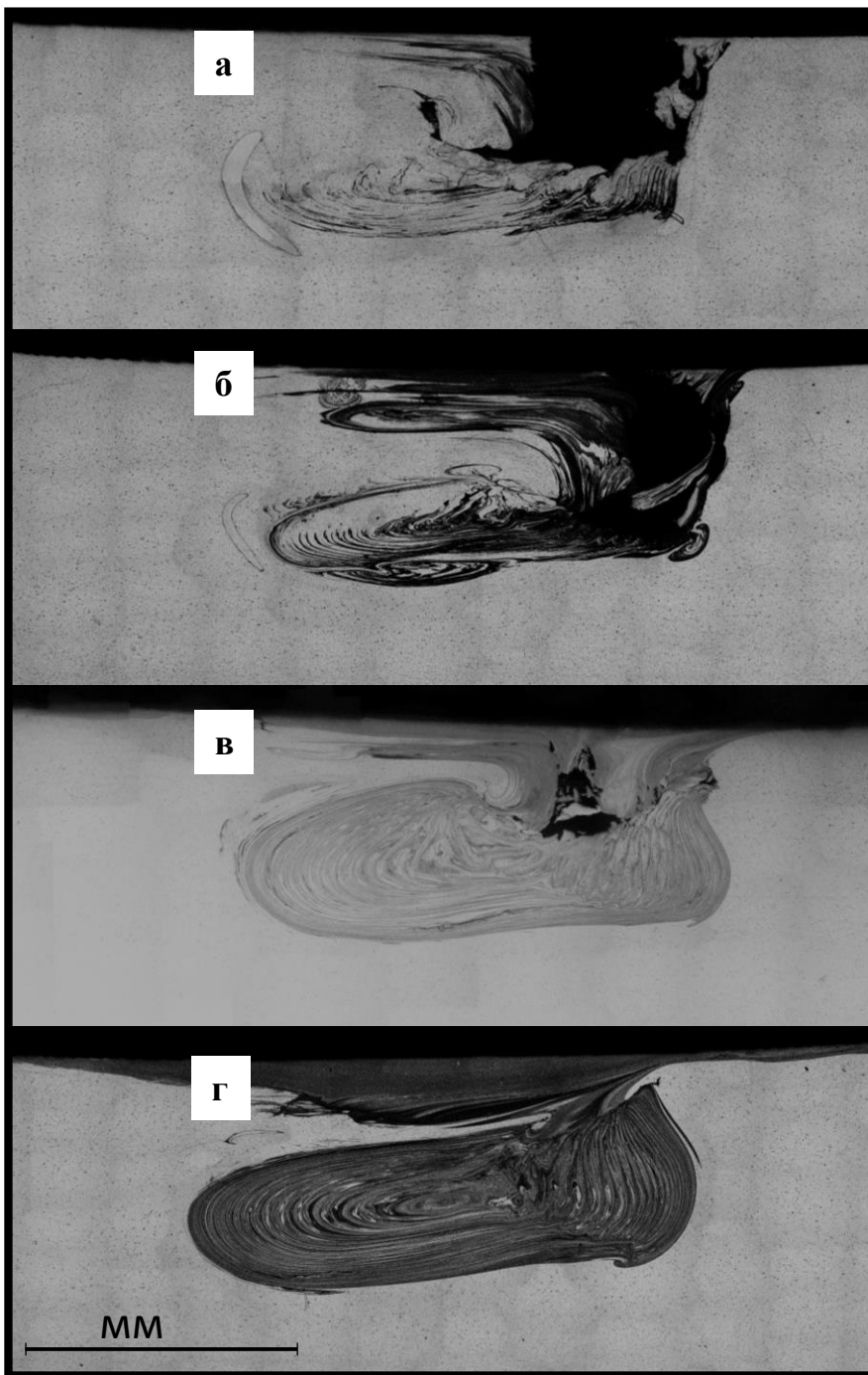


Рисунок 2.3.3 – Макроструктура поперечного шлифа АМг6БМ, модифицированного 5% Cu50Zn50: а) 1 проход; б) 2 прохода; в) 3 прохода; г) 4 прохода.

Последняя партия образцов представлена композитами, модифицированными 5% об. порошка составом Cu64Zn21Ni15. Медный сплав, получаемый соединением меди, цинка и никеля в данном соотношении называется нейзильбером, он характеризуется коррозионной устойчивостью,

повышенной прочностью и упругостью при деформации при меньшей стоимости аналогичного по свойствам мельхиора.

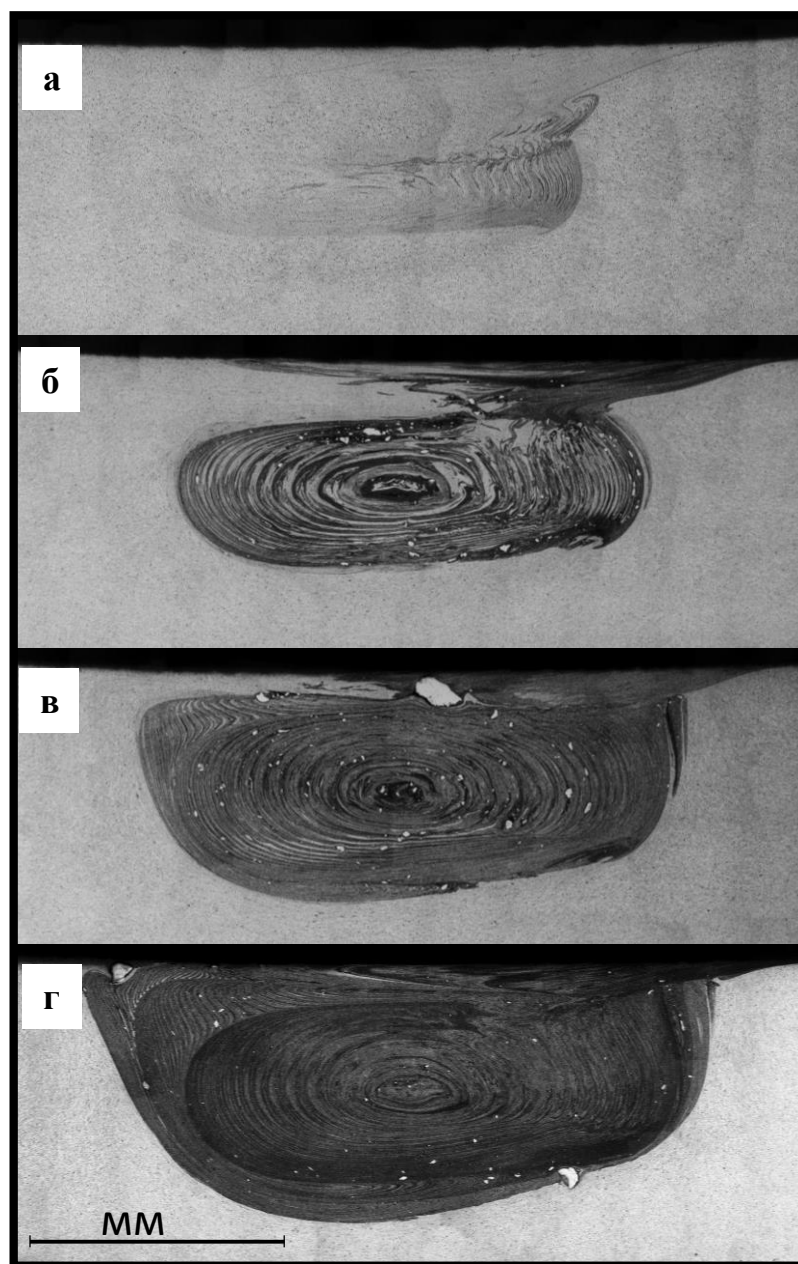


Рисунок 2.3.4 – Макроструктура поперечного шлифа АМг6БМ, модифицированного 5% Cu64Zn21Ni15: а) 1 проход; б) 2 прохода; в) 3 прохода; г) 4 прохода.

Данный состав демонстрирует хорошие технологические свойства при ФПО, что демонстрирует таблица 2.2.4. Однако, на изображениях макроструктуры на рисунке 2.3.4 можно заметить повышенную по сравнению с другими составами склонность этого модификатора к образованию

глобулярных агломераций во время фрикционного перемешивания. Также, можно выделить повышенную травимость образцов, легированных нейзильбером, что демонстрирует повышенное содержание интерметаллидных фаз в объеме образцов.

2.4. Исследование влияния состава армирующего компонента на механические свойства АМгБМ

Исследования влияния порошков медных сплавов, внедренных в алюминиевый сплав АМгБМ, на механические свойства производилось на универсальной испытательной машине УТС 110М в испытаниях на растяжение вдоль линии обработки на образцах, вырезанных по схеме, представленной на рисунке 2.2.1, таким образом, чтобы в рабочей части образца присутствовал только материал зоны перемешивания с внедренным объемом порошкового материала. Результаты испытаний представлены в виде диаграмм напряжение–деформация на рисунках 2.4.1–2.4.5.

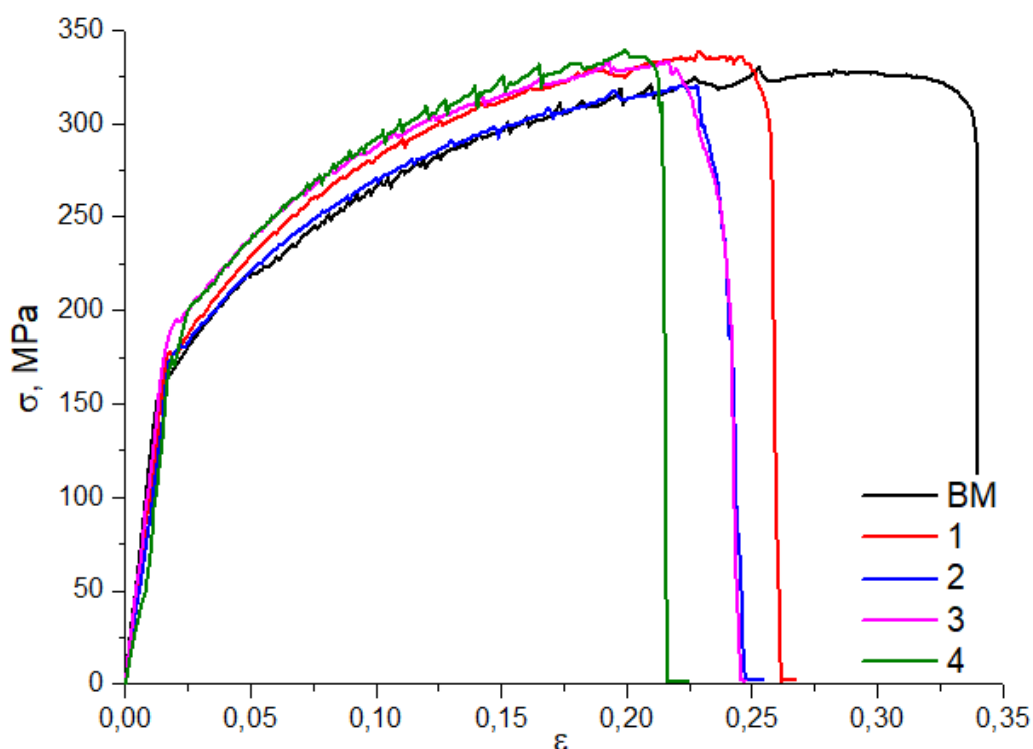


Рисунок 2.4.1 – Диаграммы напряжение–деформация образцов АМгБМ после ФПО без добавления модификаторов

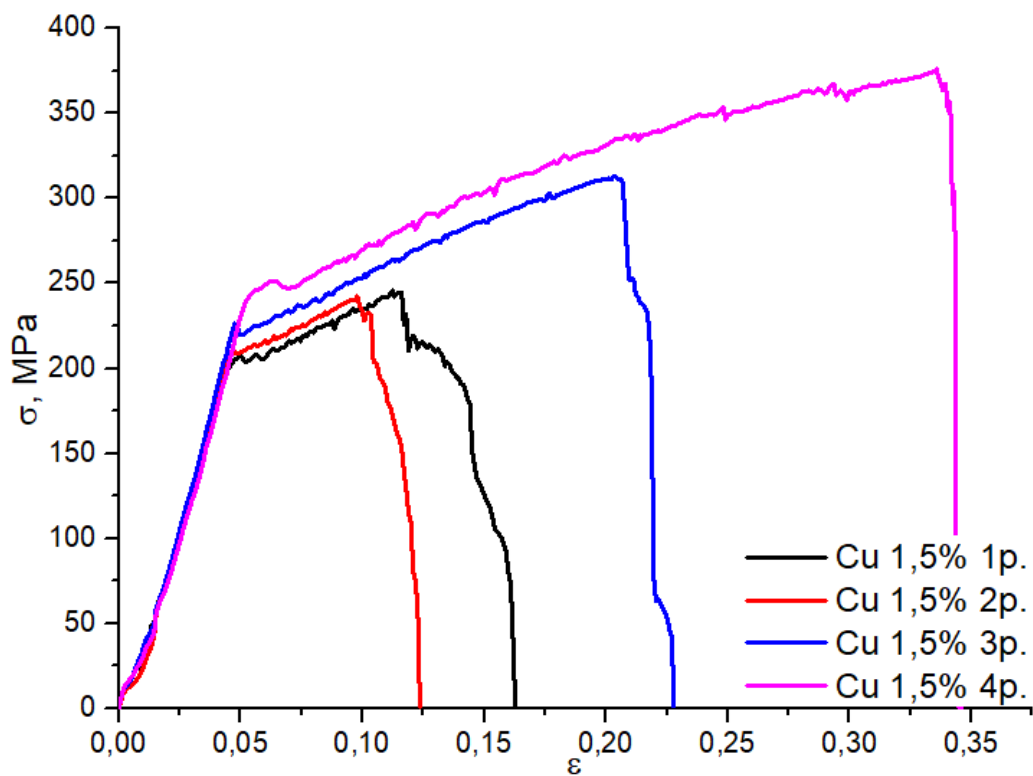


Рисунок 2.4.2(а) – Диаграммы напряжение–деформация образцов АМг6БМ, модифицированных 1,5% Cu.

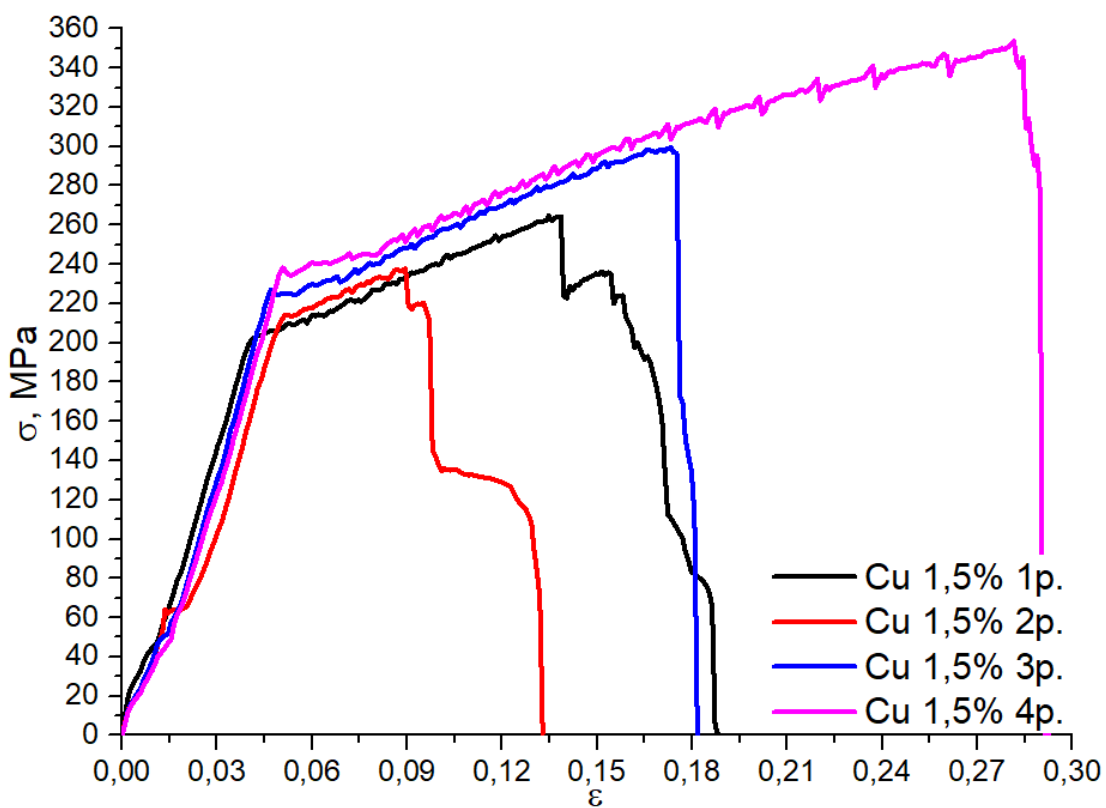


Рисунок 2.4.2(б) – Диаграммы напряжение–деформация образцов АМг6БМ, модифицированных 1,5% Cu.

Из кривых растяжения образцов АМг6БМ, модифицированных 1,5% Cu можно увидеть, что с повышением количества проходов предел прочности σ_b увеличивается с количеством проходов с 222 МПа при одном проходе, до 375 МПа при четырёх проходах, что превышает значение прочности материала до обработки в 325 МПа. При этом сохраняется пластичность материала, что показывает относительное удлинение в 30–35%. Следует отметить, что при первых проходах снижается не только прочность, но и пластичность материала, так после первого прохода относительное удлинение снижается до 12–13%.

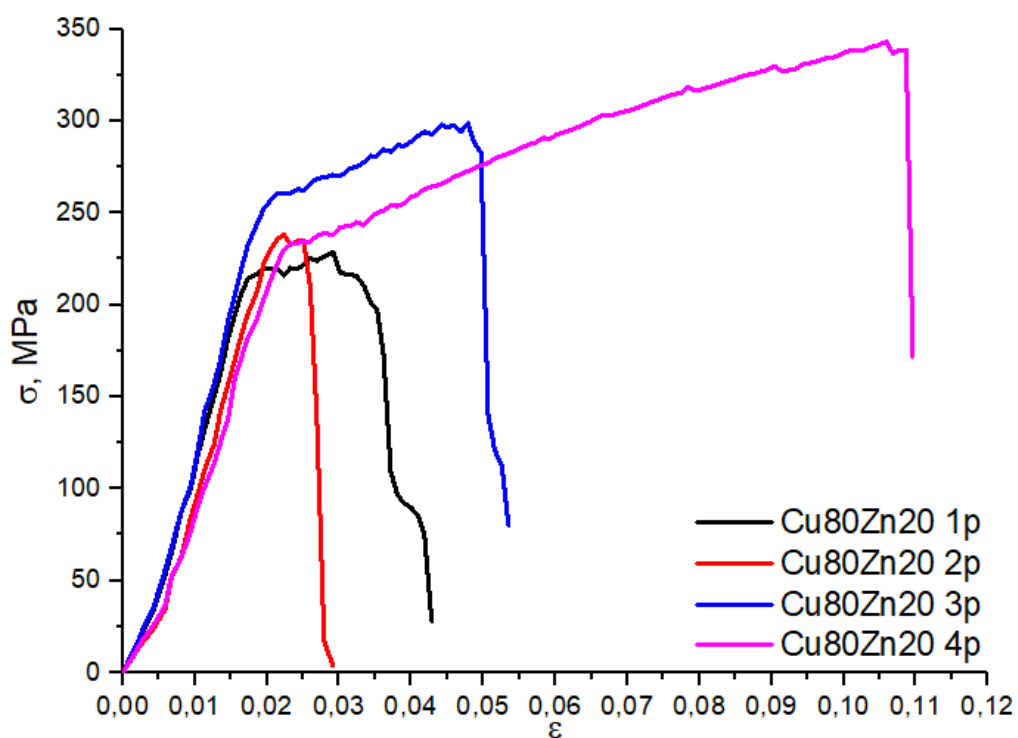


Рисунок 2.4.3(а) – Диаграммы напряжение–деформация образцов АМг6БМ, модифицированных 5% Cu80Zn20.

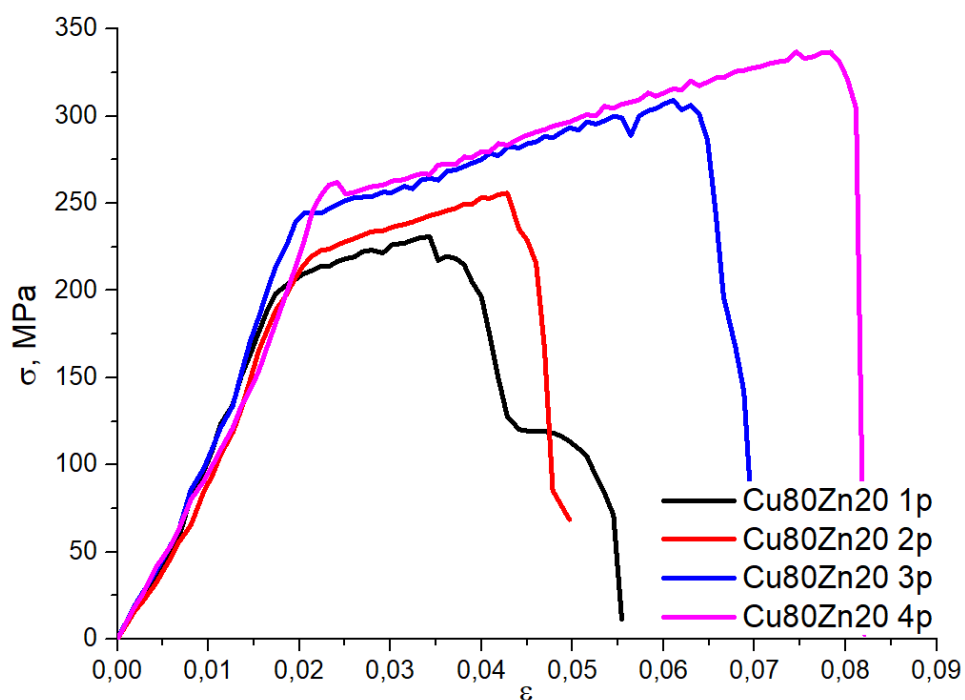


Рисунок 2.4.3(б) – Диаграммы напряжение–деформация образцов АМг6БМ, модифицированных 5% Cu80Zn20.

Диаграммы растяжения образцов АМг6БМ, модифицированных 5% Cu80Zn20 демонстрируют несколько меньшие прочностные характеристики с пределом прочности 337 МПа при четырёх проходах, но полученные значения всё рано находятся в диапазоне необработанного металла, что говорит о процессе ФПО, как об обработке, в результате которой прочность материала не снижается. Также можно выделить то, что данный состав уменьшает пластичность материала и относительное удлинение составляет порядка 8–11% после четырёх проходов.

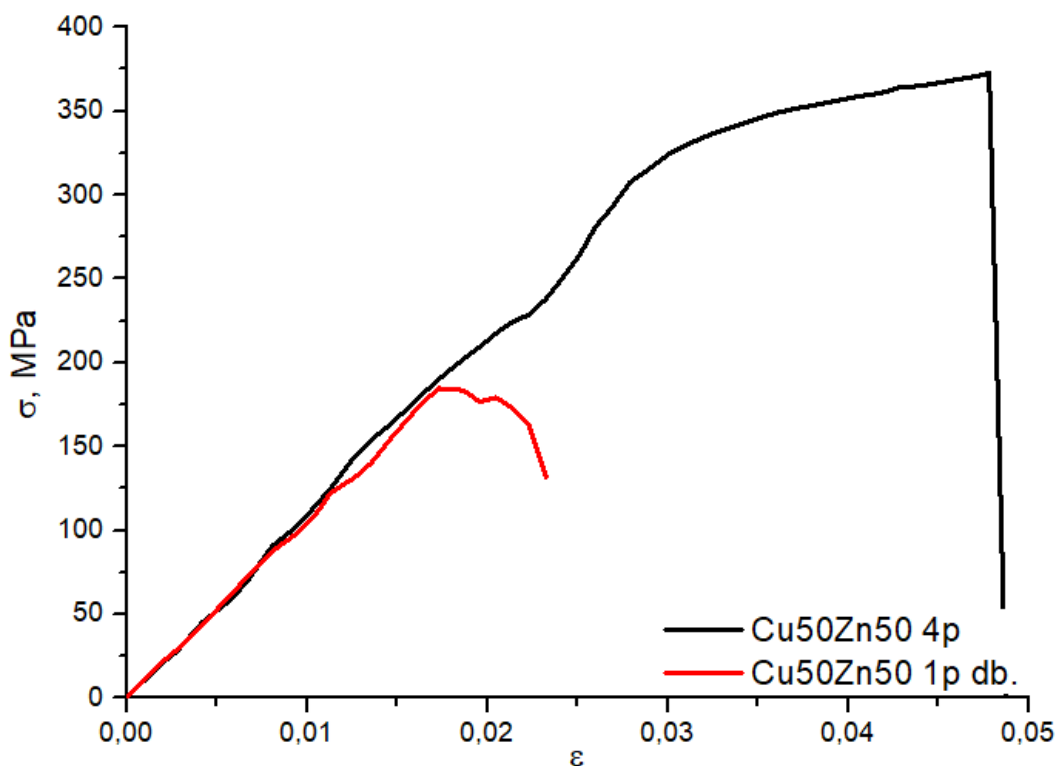


Рисунок 2.4.4 – Диаграммы напряжение–деформация образцов АМг6БМ, модифицированных 5% Cu50Zn50.

Образцы АМг6БМ, модифицированные 5% Cu50Zn50 не удалось полноценно испытать на прочность вследствие дефекта, возникшего при обработке. Однако, нивелирование дефекта посредством четырёх проходов обрабатывающего инструмента позволило сделать некоторые выводы о полученном композите. После четырёх проходов данный состав продемонстрировал значение σ_b порядка 373 МПа, что превышает значение исходного материала, при этом данная композиция продемонстрировала наименьшую пластичность среди исследованных образцов с относительным удлинением 5%.

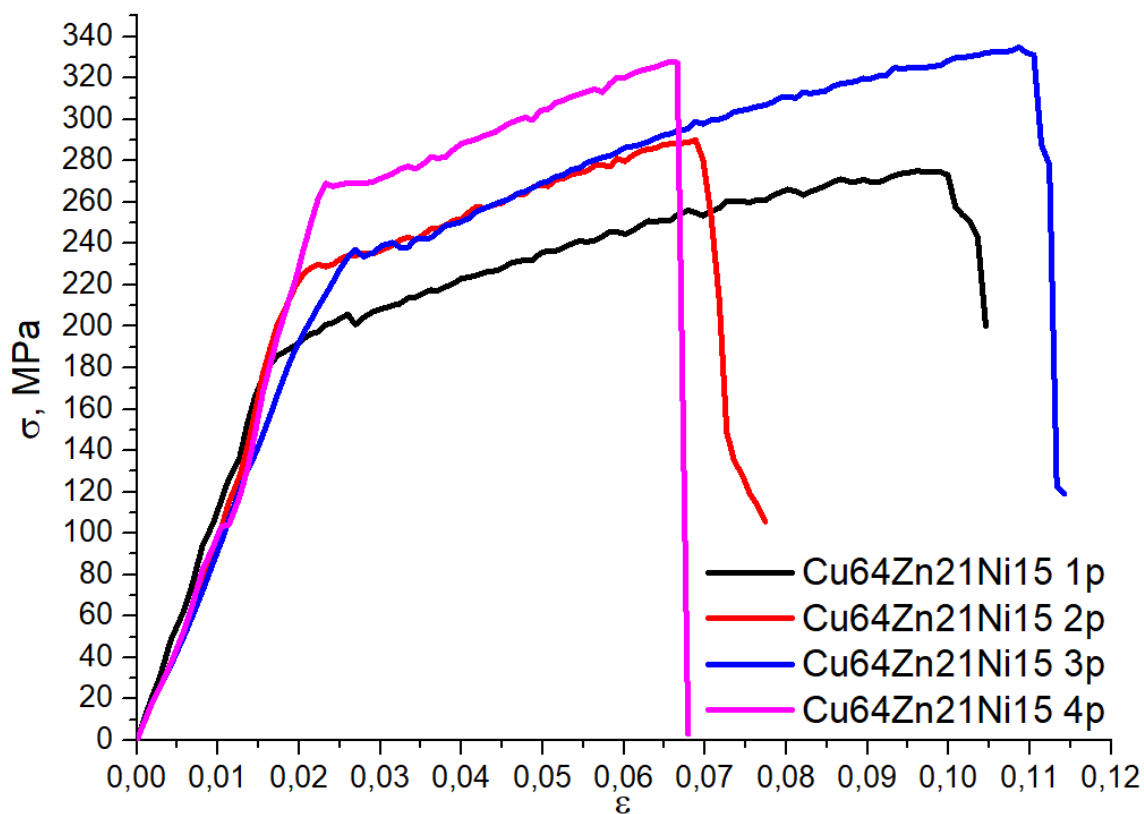


Рисунок 2.4.5(а) – Диаграммы напряжение–деформация образцов АМг6БМ, модифицированных 5% Cu64Zn21Ni15.

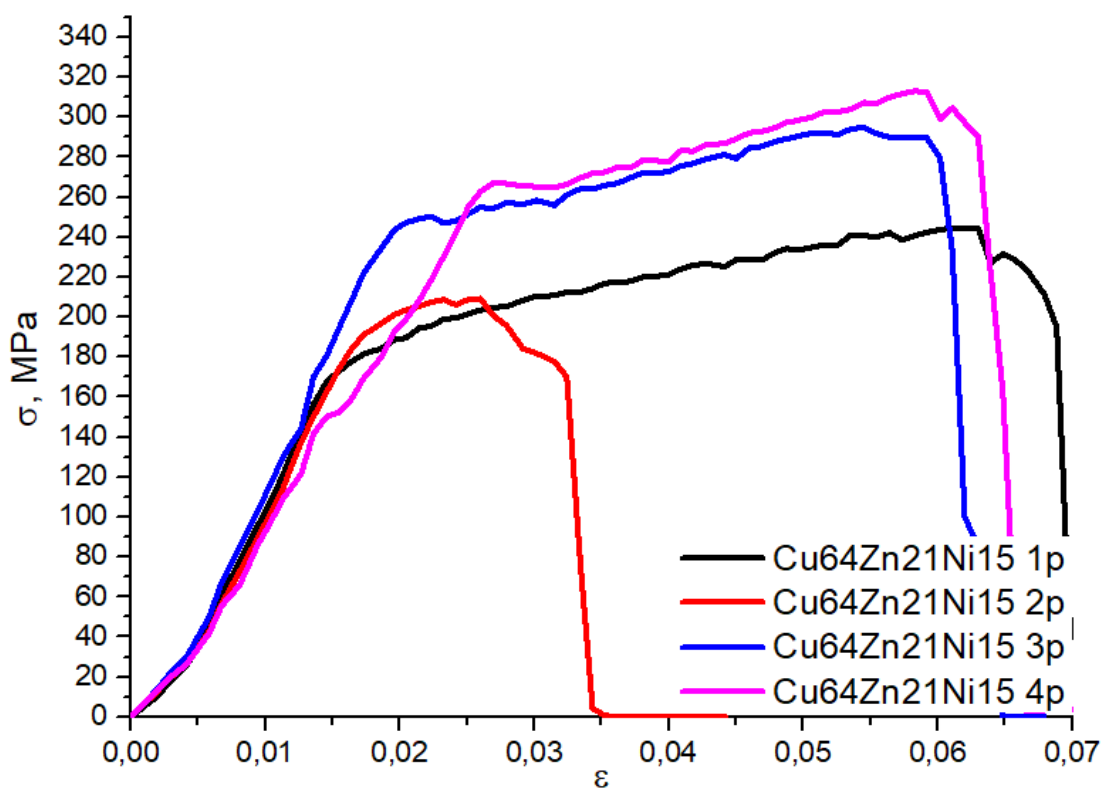


Рисунок 2.4.5(б) – Диаграммы напряжение–деформация образцов АМг6БМ, модифицированных 5% $\text{Cu}_{64}\text{Zn}_{21}\text{Ni}_{15}$.

Образцы АМг6БМ, модифицированные 5% порошка $\text{Cu}_{64}\text{Zn}_{21}\text{Ni}_{15}$ показали самое высокое сопротивление разупрочнению при первом проходе. После первого похода ФПО образцы данного состава имеют предел прочности порядка 275 МПа, который повышается до 328 МПа с увеличением проходов до четырёх. Как в случае с составом $\text{Cu}_{50}\text{Zn}_{50}$, модификация АМг6БМ порошком нейзильбера приводит к уменьшению пластичности (относительное удлинение в пределах 7–12%).

3. Выводы

Проведенные исследования в ходе практической работы в ИФПМ СО РАН показывают, что путем фрикционной перемешивающей обработки возможно упрочнение алюминиевого сплава посредством внедрения в объем материала порошковых частиц медных сплавов. Для исследованных составов армирующего компонента было выявлено разупрочнение материала после первых проходов ФПО. После трёх–четырёх проходов возможно не только восстановление механических свойств материала до прежних значений листового проката АМг6БМ, но и повышение прочностных характеристик сверх прежнего значения. Так композиты, модифицированные порошками меди и латуни Cu50Zn50, данные образцы после четырёх проходов имеют предел прочности 373 МПа и 375 МПа соответственно, что заметно выше значений прочности материала в состоянии поставки (порядка 325 МПа). В большинстве случаев три–четыре прохода достаточно для получения равномерного распределения модификатора. Выявлено, что изменение состава модификатора требует корректировки режима обработки, вследствие изменения фазовых реакций, возникающих во время процесса, например, повышенное содержание цинка в составе модификатора усложняет фрикционную перемешивающую обработку вследствие появления эффекта контактного плавления. Таким образом, содержание цинка в порошковом материале негативно сказывается на технологических свойствах материала, что нивелируется повышением нагрузки внедрения и сварки. Возникающие в процессе фрикционного перемешивания дефекты могут быть исправлены дополнительными проходами инструмента.

Заключение

В ходе данного исследования с помощью технологии фрикционной перемешивающей обработки были получены образцы алюминиевого сплава АМг6БМ, модифицированного порошками медных сплавов. В качестве исследуемых составов порошков были выбраны Cu 1,5% об., Cu80Zn20 5% об., Cu50Zn50 5% об., Cu64Zn21Ni15 5% об.. Для всех четырёх составов были подготовлены по четыре образца с разным количеством проходов инструмента (от одного до четырёх проходов). По результатам ФПО, металлографической микроскопии и механических испытаний на разрывной машине были выявлены следующие закономерности:

1. Для большинства исследованных систем характерно разупрочнение после первых проходов инструментом при замешивании порошков металлов и сплавов.

2. При проведении трех или четырех проходов инструментом вдоль линии обработки механические свойства материала восстанавливаются до уровня листового проката сплава АМг6БМ и выше. Наилучший результат продемонстрировали композиты, модифицированные порошками меди и латуни Cu50Zn50, предел прочности этих образцов после четырёх проходов составил 373 МПа и 375 МПа соответственно, что заметно выше значений прочности материала в состоянии поставки (порядка 325 МПа). Также после ФПО было замечено снижение пластичности, что демонстрирует снижение относительного удлинения при разрыве с 30-35% в состоянии поставки до 5% у состава Cu50Zn50 после четырёх проходов инструмента.

3. Повышенное содержание цинка в составе модификатора усложняет фрикционную перемешивающую обработку вследствие фазовых превращений и контактного плавления материала.

4. Структурно-фазовые взаимодействия в материале в процессе обработки приводят к необходимости управления параметрами режимов

5. Три-четыре прохода инструментом вдоль линии обработки достаточно для получения равномерного распределения упрочняющих частиц в объеме материала.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа 4АМ9К	ФИО Добровольский Артем Романович		
Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Технологии космического материаловедения»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием ИФПМ СО РАН</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
<i>3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР

2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		22.02.21

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ9К	Добровольский Артем Романович		22.02.21

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью магистерской диссертации является определение влияния фрикционной перемешивающей обработки с использованием порошков меди и её сплавов на механические характеристики алюминиевого сплава АМг6БМ.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Большинство деталей машин работают в условиях изнашивания, кавитации, циклических нагрузок, коррозии при криогенных или высоких температурах, при которых максимальные напряжения возникают в поверхностных слоях металла, где сосредоточены основные концентраторы напряжения. Фрикционная перемешивающая обработка алюминиевых сплавов используется длительное время для повышения прочности структуры с целью повышения механических и эксплуатационных характеристик готовых изделий. Для повышения эффективности фрикционного перемешивания при обработке материала может быть добавлен модификатор в виде порошка медного сплава.

Прочность – способность материалов сопротивляться пластической деформации и разрушению под действием внешних нагрузок.

При сохранении достаточно высокой пластичности, вязкости и трещиностойкости данные методы повышают надёжность и долговечность машин и деталей любой сложности и понижает расход металла на их изготовление вследствие уменьшения сечения деталей.

Механические свойства деталей улучшаются пластической деформацией или поверхностным наклёпом. Эти методы широко используются в многих видах промышленности для повышения сопротивляемости малоцикловой и многоцикловой усталости деталей машин.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Основным конкурентом для повышения эксплуатационных характеристик за счет упрочнения поверхностного слоя металла является высокоскоростное газопламенное напыление.

Газопламенное напыление – метод нанесения специального покрытия на поверхность с целью получения дополнительных качеств. В качестве распыляемого материала используют металлические или полимерные порошки. Их нагревают до пластичного состояния с помощью пламени, которое формируется при сгорании смеси кислорода с пропаном или ацетиленом. Перенос на поверхность металла осуществляется с помощью сжатого воздуха.

Преимуществом является:

1) В процессе обработки заготовка не подвергается тепловой деформации и не меняет своих параметров;

2) С помощью установок для газопламенного напыления можно обрабатывать заготовку различными составами. Это позволяет придавать поверхности различные свойства без замены оборудования;

3) Простота рабочего оборудования и его мобильность дает возможность применения газопламенного напыления в труднодоступных местах.;

4) Низкая себестоимость обработки. Лучше всего эффект проявляется при газопламенном напылении больших площадей.;

5) Большая толщина покрытия позволяет использовать метод для реставрации различных деталей. Припуск под обработку не превышает 0,7 мм.;

6) Благодаря широкому выбору присадочных материалов можно получить изделие с заданными свойствами, не прибегая к прочим методам модификации поверхности.

Основным минусом является:

1) Газопламенное напыление малоэффективно при обработке мелких деталей. Это связано с высоким коэффициентом расхода присадочного материала;

2) Тяжелые условия производства. Для предварительной подготовки изделия выполняют пескоструйную обработку, что приводит к повышенному уровню запыленности рабочего участка.

3) В процессе напыления мелкие частицы состава остаются в воздухе. По этой причине к производственным помещениям предъявляют повышенные требования по системе вентиляции;

Таблица 4.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентно-способность	
		Б _ф	Б _к	К _ф	К _к
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда	0,20	5	5	1	0,4
Удобство эксплуатации	0,13	4	5	0,52	0,39
Простота эксплуатации	0,05	3	4	0,15	0,05
Энергоэкономичность	0,03	3	2	0,09	0,06
Надежность	0,07	4	2	0,28	0,14
Уровень шума	0,11	2	2	0,22	0,11
Безопасность	0,15	4	3	0,6	0,45
Экономические критерии оценки					
Конкурентоспособность	0,07	5	4	0,35	0,28
Уровень проникновения на рынок	0,1	4	4	0,4	0,2
Цена	0,05	3	2	0,15	0,1
Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	4	5	0,16	0,08
Итого:	1	45	24	3,92	3,48

Расчет конкурентоспособности, на примере актуальности исследования, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i + B_i = (0,2 \cdot 5) + (0,13 \cdot 4) + (0,05 \cdot 3) + (0,03 \cdot 3) + (0,07 \cdot 4) + (0,11 \cdot 2) + (0,15 \cdot 4) + (0,07 \cdot 5) + (0,1 \cdot 1) + (0,05 \cdot 3) + (0,04 \cdot 4) = 3,92$$

где, K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.3 SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 4.2

SWOT-анализ – это выявление сильных (S – strenght) и слабых (W – weakness) сторон исследуемого объекта, что описывает внутреннюю среду, а также возможностей (O – opportunities) и угроз (T – troubles) внешней среды.

Таблица 4.2 - Матрица SWOT

Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
С1. Имеет преимущества, когда необходимо смешать два материала	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
С2. Минимальное количество используемого оборудования	Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных

С3. Может использоваться для улучшения микроструктурных свойств металлических порошковых объектов С4. Низкие потери при работе. С5. Экологичность технологии.	кадров по работе с научной разработкой. Сл3. Вероятность получения брака;
Opportunities (возможности) В1. Появление потенциального спроса на новые разработки. В2. Технология твердотельной обработки с одностадийной обработкой, которая обеспечивает микроструктурное уточнение, уплотнение и однородность В3. Быстрое внедрение в производство	Threats (угрозы) У1. Отсутствие прототипа научной разработки; У2. Вероятность структурообразования составов; У3. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 4.3-4.6.

Таблица 4.3 - Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	-	-	-	-
	В2	-	-	-	+	+
	В3	+	+	+	-	-

Таблица 4.4 - Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и
ВОЗМОЖНОСТИ»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	-
	B2	-	-	+
	B3	-	+	-

Таблица 4.5 - Интерактивная матрица проекта
«Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	+	+
	У3	-	+	+	-	-

Таблица 4.6 - Интерактивная матрица проекта
«Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	-
	У2	+	-	+
	У3	-	+	-

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Низкие потери при работе.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для
--	---	--

	<p>C2. Возможность модифицирования состава исходного материала;</p> <p>C3. Высокая работоспособность изделия, упрочненным данным методом;</p> <p>C4. Улучшение свойств обрабатываемой поверхности;</p> <p>C5. Снижение себестоимости изделия</p>	<p>соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл3. Вероятность получения брака;</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Освоение новых материалов покрытия.</p> <p>V2. внедрения технологии в производство за счет варьирования состава;</p> <p>V3. Возможность участие в грантах, для повышения производительности изделия;</p>	<p>V1C1</p> <p>V2C4C5</p> <p>V3C1C2C3</p>	<p>V1Сл1</p> <p>V2Сл3</p> <p>V3Сл2</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>У2. Вероятность структурообразования составов;</p> <p>У3. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p>	<p>У1C1</p> <p>У2C2C4C5</p> <p>У3C2C3</p>	<p>У1Сл2</p> <p>У2Сл1Сл3</p> <p>У3Сл2</p>

В результате SWOT-анализа показано, что преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками.

Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения.

Основные направления повышения конкурентоспособности проекта: проведение дополнительных научных исследований, использование новейшего оборудования и дальнейшее совершенствование отдельных узлов.

Основные преимущества данного проекта – универсальность, высокая производительность и возможность создания оптимальных условий формирования поверхностного упрочнения.

Но не смотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. На данном этапе не усовершенствована технология упрочнения не до конца отработана, поэтому возникают некоторые трудности при получении заданных характеристик.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для анализа трудоемкости выполнения НИР используется экспертная оценка. Трудоемкость, выражаемая в человеко-днях, носит вероятностный характер, так как находится в зависимости от большого числа переменных факторов. Этапы данной работы приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень этапов работ, распределение исполнителей

Основные этапы	№ ра б.	Содержание работ	Должность исполнителя
----------------	---------	------------------	-----------------------

Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований в НИР	2	Изучение учебной литературы по теме	Инженер
	3	Изучение актуальных статей по теме	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	5	Планирование эксперимента	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов	Научный руководитель, инженер
	7	Проведение эксперимента	Научный руководитель, инженер
	8	Обработка полученных экспериментальных результатов	Научный руководитель, инженер
	9	Сопоставление полученных результатов с теоретическими	Научный руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель, инженер
	11	Оценка целесообразности дальнейшего проведения ОКР	Научный руководитель, инженер
Оформление отчета по НИР	12	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть затрат составляют заработные платы (порядка 65%), поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Определение ожидаемой величины трудоёмкости проводится по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad ()$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad ()$$

где $Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения графика полученную величину переводят в календарные дни по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{кал}, \quad ()$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях (полученная величина округляется до целого числа);

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Определение величины $k_{кал}$ проводится по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad ()$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

В 2019 году количество выходных и праздничных дней суммарно составит 118 дней.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478 \approx 1,5 \quad ()$$

Все полученные значения T_{ki} приведены в таблице 4.9.

На основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными по времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (таблица 4.9). Построение осуществляется за период времени дипломирования, с разбивкой по декадам и месяцам.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ожг}}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания	1	1	2	2	1	1	1	2

2. Изучение учебной литературы по теме		5		10		12	12	11
3. Изучение актуальных статей по теме		10		12		15	12	18
4. Выбор направления исследований	1		2		1		1	2
5. Планирование эксперимента	2		4		3		3	5
6. Проведение теоретических расчетов	5	5	7	7	6	6	6	5
7. Проведение эксперимента	30	30	36	36	32	32	32	24
8. Обработка полученных экспериментальных результатов	14	14	20	20	16	16	16	12
9. Сопоставление полученных результатов с теоретическим и	3	3	5	5	4	4	4	3



10. Оценка эффективности результатов	5	5	7	7	6	6	6	5
11. Оценка целесообразности дальнейшего проведения ОКР	7	7	10	10	8	8	8	6
12. Составление пояснительной записки		25		30		27	27	41
Итого:	68	105	93	139	77	127	128	134

Примечание: Исп. 1 –научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Календарный план-график проведения НИР

№	Название работы	Исполнители	T_{ki} , кал. дн	Продолжительность выполнения работ														
				янв.	фев.			март			апр.			май			июнь	
					3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление и утверждение технического задания	Науч. рук., инженер	2		█													
2	Изучение учебной литературы по теме	Инженер	11		█	█	█											
3	Изучение актуальных статей по теме	Инженер	18		█	█	█	█	█									

4	Выбор направления исследований	Науч. рук.	2												
5	Планирование эксперимента	Науч. рук.	5												
6	Проведение теоретических расчетов	Науч. рук., инженер	5												
7	Проведение эксперимента	Науч. рук., инженер	24												
8	Обработка полученных результатов	Науч. рук., инженер	12												
9	Сопоставление полученных результатов с теоретическими	Науч. рук., инженер	3												
10	Оценка эффективности результатов	Науч. рук., инженер	5												
11	Оценка целесообразности и дальнейшего проведения ОКР	Науч. рук., инженер	6												
12	Составление пояснительной записки	Инженер	41												
				 - инженер			 - руководитель								

Таким образом, запланированный комплекс работ может быть разделен на 12 этапов. На выполнение поставленных задач заданным коллективом требуется порядка пяти месяцев.

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно- исследовательской работы

Представляют собой суммарную стоимость всех приобретенных материалов, комплектующих, сырья, канцелярских принадлежностей (если они не включены в расходы на использование оборудования или накладные расходы) и т.д., необходимых при проведении НИР. Стоимость возвратных отходов исключается из затрат на материальные ресурсы.

Величина материальных затрат Z_m определяется по формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \times \sum_{i=1}^m (C_i \times N_{расxi}), \quad ()$$

где m - количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении НИР;

$N_{расxi}$ - количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении НИР (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен определяются поставщиками или предприятиями-изготовителями. Их значения можно найти, пользуясь ресурсами сети Интернет.

Коэффициент k_T определяется как отношение затрат по доставке материальных ресурсов к ценам на них. Его величина зависит от таких факторов как условия договоров поставки, вид материальных ресурсов, территориальная удаленность поставщиков и др. и составляет обычно 15-25%.

Рассчитанные материальные затраты на проведение данного исследования приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на получение композиционных материалов на базе алюминиевого сплава АМг6БМ, путем внедрения порошков медных сплавов

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Z_m , руб.
Лист 6мм АМг6БМ	кг	18	425	7650
Фтороводородная кислота	кг	1	140	140
Соляная кислота	кг	1	99	99
Плавиновая кислота	кг	1	105	105
Азотная кислота	кг	1	120	120
Спирт	кг	1	100	100
Порошок Cu	кг	0.5	6000	3000
Порошок Cu80Zn20	кг	0.5	6000	3000
Порошок Cu50Zn50	кг	0.5	6000	3000
Порошок Cu64Zn21Ni15	кг	0.5	7000	3500
Итого				20714

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Данная статья включает в себя расходы по приобретению необходимого оборудования: приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, испытательных машин и т.д., а также амортизационные расходы.

Необходимое для проведения исследования оборудование приведено в таблице 4.12. Цена указана по прейскурантам компаний-поставщиков.

Таблица 4.12 – Стоимость оборудования, необходимого для НИР.

Оборудование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты, руб.
Фрезерный станок	шт	1	300000	0
Лабораторная установка фрикционного перемешивания	шт	1	50000000	0
Универсальная испытательная машина LFM-125	шт	1	10000000	0
Оптический микроскоп HST2000-W	шт	1	80000	0
Персональный компьютер	шт	1	26000	0
Итого				0

Как видно из таблицы, итоговые затраты составили 0 руб., что связано с наличием всего необходимого оборудования на базе ИФПМ СО РАН.

Расчет амортизационных отчислений осуществляется исходя из базовой стоимости оборудования и утвержденных норм амортизации. Расчёт амортизационных отчислений H осуществлялся по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{T_{испi}}{365} \times K_i \times H_{ai}, \quad ()$$

где n - число единиц оборудования;

$T_{исп\ i}$ – время использования i -ой единицы оборудования;

365 – количество дней в году;

K_i – стоимость i -ой единицы оборудования;

$H_{a\ i}$ – норма амортизации i -ой единицы оборудования.

Норма амортизации является величиной, обратной сроку службы оборудования $T_{сс}$:

$$H_a = \frac{1}{T_{сс}} \quad ()$$

Результаты расчета амортизации оборудования представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Затраты на оборудование

Оборудование	Цена	Срок службы, лет	Срок использования в НТИ, кал. дни	H_A , %	H , руб.
Универсальная испытательная машина LFM-125	10 000 000	30	10	3,3	9041
Лабораторная установка фрикционного перемешивания	50 000 000	30	10	3,3	45205
Фрезерный станок	300 000	30	14	3,3	3797
Оптический микроскоп HST2000-W	80 000	20	18	5	1302
Персональный компьютер	26 000	10	60	10	1410
Итого					60755

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате рассчитывается по трудоёмкости выполняемых работ с учётом действующей систем окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. Результаты расчета расходов приведены в таблице.

Основная заработная плата студента и руководителя от предприятия $Z_{осн}$ вычисляется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \times T_p, \quad ()$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней (таблица);

$Z_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Значение величины $Z_{дн}$ определяется как:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \times M}{F_{\partial}}, \quad ()$$

где Z_M - месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_{∂} – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (таблица 4.14).

Таблица 4.14– Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	28
- невыходы по болезни	0	0

Действительный годовой фонд рабочего времени	219	271
--	-----	-----

Расчет значения Z_M проводится по формуле:

$$Z_M = Z_{mc} \times (1 + k_{np} + k_{\partial}) \times k_p, \quad ()$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}=0,3$ – премиальный коэффициент;

$k_{\partial}=0,2$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях - за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия);

$k_p=1,3$ – районный коэффициент (для Томска).

Расчёт основной заработной платы показан в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Z_{mc}	k_{np}	k_{∂}	k_p	Z_M	$Z_{\partial n}$	T_p	$Z_{ocн}$
Руководитель	30765	0,3	0,2	1,3	59992	3013	77	232001
Инженер	13190				25720	1044	127	132588
Итого:								364589

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Определение величины дополнительной заработной платы $Z_{\partial n}$ ведется по формуле:

$$Z_{\partial n} = Z_{ocн} \times k_{\partial n}, \quad ()$$

где $k_{\partial n}=0,12$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Результаты вычислений $Z_{доп}$ приведены в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Расчёт дополнительной заработной платы исполнителей

Исполнитель	$Z_{доп}$
Руководитель	27840
Инженер	15910
Итого:	43750

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Данная статья расходов содержит обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Размер выплат находится по формуле:

$$Z_{внеб} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \times k_{внеб}, \quad ()$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды

Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ), откуда $k_{внеб}=0,3$. Затраты на отчисления приведены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Расчёт отчислений во внебюджетные фонды.

Исполнитель	$Z_{внеб}$
Руководитель	77952
Инженер	44549
Итого:	122501

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.16)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Определение бюджета затрат на НИР приведет в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Стоимость НИР.

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
1	Материальные затраты НИР	20714	31502	п. 4.4.3.1
2	Затраты на оборудование	60755	78630	п. 4.4.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	364589	364589	п. 4.4.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта	43750	43750	п. 4.4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	122501	122501	п. 4.4.3.5
6	Накладные расходы	96369	96369	п. 4.4.3.6
	Итого:	708678	727341	-

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в

качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Таким образом, расчетные затраты не превышают запланированную сумму в 750 тыс. руб. Согласно таблице, наибольшие затраты по проведению НИР формируются за счёт затрат на заработную плату, а также на амортизационные расходы по дорогостоящему оборудованию.

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Фрикционная перемешивающая обработка с использованием медного порошка;
- 2) 1) Фрикционная перемешивающая обработка с использованием медного порошка;

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 708678$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 727\ 341$ руб, $\Phi_{\text{max}} = 919\ 400$ руб.

$$I_{\phi}^{\text{тек.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{708678}{919400} = 0,77$$

$$I_{\phi}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{727341}{919400} = 0,79$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по двум вариантам разработки проектируемый вариант считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Рыночная цена данного метода упрочнения на рынке 919 400 руб.

Разрабатываемая технология подразумевает уменьшение количества отходов и количества комплектующих.

4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР(I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.19).

Таблица 4.19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2
1. Безопасность при использовании установки	0,25	4	4

2. Стабильность работы	0,25	5	4
3. Удобство в эксплуатации	0,3	5	3
4. Энергосбережение	0,1	4	5
5. Материалоёмкость	0,1	5	3
ИТОГО	1	4,65	3,7

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,65$$

$$I_{p2} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 = 3,7$$

4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}} \quad (3.17)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,76} = 6,1, \quad I_{исп.2} = \frac{3,7}{0,79} = 4,9$$

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_i}{I_1} \quad (3.18)$$

$$\mathcal{E}_{cp.1} = \frac{6,1}{6,1} = 1, \quad \mathcal{E}_{cp.1} = \frac{4,9}{6,1} = 0,8$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.20).

Таблица 4.20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,77	0,79
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	6,1	4,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,8

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 134 день; общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 127 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 77 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 708678 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,77, что является показателем того, что ИР является относительно выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,7;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 6,1, по сравнению с 4,9, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ9К	Добровольский Артем Романович

Школа	новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Технологии космического материаловедения»

Тема ВКР:

Формирование композиционных материалов с металлической матрицей на основе алюминиево-магниевого сплава посредством внедрения упрочняющих порошковых частиц из медных сплавов при фрикционной перемешивающей обработке	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются образцы металлических композитов на основе алюминиевых и медных сплавов. Исследования проводились в помещениях ИФПМ СО РАН. Результаты исследования могут быть применены для усиления трущихся элементов алюминиевых конструкций.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- ТК РФ от 30.01.2001 №197 ФЗ - ПНД Ф 12.13.1-03 - ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ - ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	- Вредные: отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, вредные химические вещества - Опасные: вредные химические вещества, электрический ток, опасность возникновения пожара

3. Экологическая безопасность:	- Возможно попадание вредных химических веществ в атмосферу и гидросферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- Загрязнение местности и атмосферы АХОВ и ОБ - Пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.03.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ9К	Добровольский Артем Романович		

5 Социальная ответственность

Данный раздел, в соответствии с международным стандартом ICCSR26000:2011 «Социальная ответственность организации. Требования» [49], нацелен на принятие проектных решений, предотвращающих возникновение несчастных случаев на производстве, а также на уменьшение вредных воздействий на окружающую среду.

Тема данного исследования обусловлена необходимостью локального повышения механических характеристик алюминиевых сплавов в трущихся элементах конструкций.

Объекты данного исследования представляют собой образцы алюминиевого сплава марки АМг6БМ, модифицированного фрикционной перемешивающей обработкой (ФПО) с использованием порошков из медных сплавов. Образцы разделены на 4 группы первая группа модифицирована медным порошком, вторая группа модифицирована сплавами Cu80Zn20 третья – Cu50Zn50, четвёртая – Cu64Zn21Ni15. В каждой группе по 4 образца с различным количеством проходов при ФПО от одного до четырёх проходов соответственно.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

Работа выполнялась в офисных и лабораторных помещениях лаборатории локальной металлургии в аддитивных технологиях ИФПМ СО РАН, г.Томск. Выполнение некоторых работ сопряжено с вредными и опасными факторами, в связи с чем работодатель по ст.221 ТК РФ [50] обязан

предоставить средства индивидуальной защиты. Данное исследование выполняется научными работниками, поэтому на них распространяется действие гл.52 ТК РФ [50].

При поступлении на работу каждый сотрудник проходит инструктаж по технике безопасности, при работе в лаборатории – вводный и, впоследствии, периодический инструктаж на рабочем месте (ПНД Ф 12.13.1-03 [51]). Факт прохождения инструктажей фиксируется в журнале. Ответственность за безопасность труда по предприятию несут директор и главный инженер.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

При выполнении исследования, работы проводились как в положении сидя, так и стоя. Конструкция рабочего места и взаимное расположение его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям и характеру работы. При работе с органами управления установки, все органы управления должны быть в зоне досягаемости моторного поля, а наиболее важные должны быть расположены ближе всего.

При выполнении работ в любом положении, конструкция рабочего места должна обеспечивать оптимальное положение работающего. При выполнении работ в положении стоя рабочее место и оборудование должны гарантировать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или наклон его вперед не более чем на 15°. Для обеспечения удобного подхода к столу или станку должно быть предусмотрено пространство для стоп.

5.2 Профессиональная социальная безопасность.

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Изучаемый материал не создает каких-либо опасных или вредных факторов физического и химического характера.

5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

Общий ход исследования с точки зрения возникающих вредных или опасных факторов может быть разделен на три основных этапа:

1) разработка: составление программы исследования, проведение теоретических расчётов (работа на персональном компьютере);

2) изготовление образцов, их подготовка к испытаниям (фрикционное перемешивание, механическое шлифование и полирование);

3) эксплуатация: проведение экспериментальных исследований с использованием подготовленных образцов (испытания образцов на растяжение, изучение микроструктуры образцов на оптическом микроскопе);

Все вредные или опасные факторы, которые могут возникнуть на каждом из этапов работ, приведены в таблице 5.2.2.1.

Таблица 5.2.2.1 – Вредные и опасные факторы, возникающие при выполнении данной НИР

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
		Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	

1	Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [52]. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [53].
2	Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [54] СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[55]
3	Токсические, раздражающие и канцерогенные химические вещества	-	+	+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [56]. СанПиН 1.2.3685-21. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [57].
4	Электрический ток	+	+	+	Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [58] ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [59]. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [60].

5	Опасность возникновения пожара	+	+	+	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [61].
---	--------------------------------	---	---	---	--

5.2.2.1 Отклонение показаний микроклимата

Данный фактор может возникать как в течение как теоретического, так и экспериментального этапов, что связано с погодно-климатическими условиями региона, а также с условиями функционирования некоторого оборудования.

Все выполняемые сидя работы классифицируются как лёгкие (Iб), а проводимые в положении стоя, а также подготовка образцов методом шлифования – как средней тяжести (IIа). В соответствии с этим, для указанных видов работ в таблице 5.2.2.1.1 приведены оптимальные (допустимые) параметры микроклимата.

Таблица 5.2.2.1.1 – оптимальные параметры микроклимата.

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб (140-174)	21-23 (19-24)	60-40 (15-75)	0,1
	IIа (175-232)	19-21 (17-23)		0,2
Тёплый	Iб (140-174)	22-24 (20-28)		0,1
	IIа (175-232)	20-22 (18-27)		0,2

Оптимальные значения указанных параметров способствуют сохранению высокого уровня работоспособности в течение рабочей смены. Смещение значений в область допустимых приводит к возникновению ощущений теплового дискомфорта и напряжению механизмов терморегуляции человека, и, как следствие, к снижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

5.2.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

При работе на компьютере, а также при подготовке образцов к испытаниям должна быть обеспечена необходимая освещенность рабочей зоны, так как работа ведется с мелкими предметами. Согласно СП 52.13330.2016 [55], работа на компьютере классифицируется как работа малой точности (V разряд), подготовка образцов к испытаниям – работа очень высокой точности (II разряд, так как толщина образца, достигаемая при шлифовании – 0,15 мм). Отсюда, параметры освещения задаются следующие:

- при работе на компьютере, в том числе при выведении изображения с микроскопа на монитор (подразряд г: контраст средний, фон светлый, освещение общее) – 200 лк, коэффициент пульсации 5 %, коэффициент естественного освещения (КЕО) 1,0 %.

- при подготовке образцов (подразряд г: контраст средний, фон средний, освещение общее) – освещенность 400 лк, коэффициент пульсации 10 %, КЕО 1,5 %.

Несоответствие освещения указанным требованиям вызывает не только зрительное и общее, но также может стать причиной травматизма. Увлечение коэффициента пульсации освещенности снижает зрительную работоспособность, повышает утомляемость, а также могут вызывать неадекватное восприятие объектов за счет появления стробоскопического эффекта.

5.2.2.3 Воздействие химических веществ

В процессе подготовки образцов к испытаниям необходимо проводить работы с применением следующих химических реактивов: реагент Келлера, состоящий из воды $H_2O=95$ мл, азотной кислоты $HNO_3=2,5$ мл, соляной кислоты $HCl=1,5$ мл, плавиковой кислоты $HF=1$ мл (подготовка образцов к микроскопии), этиловый спирт C_2H_5OH (очистка образцов после обработки).

Этиловый спирт по степени воздействия на человека по ГОСТ 12.1.007-76 [56] относят к веществам 4-го класса опасности (малоопасные вещества). Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров этилового спирта в воздухе рабочей зоны (среднесменная) - 1000 мг/ м^3 (ГОСТ Р 55878-2013 [62]). Спирт обладает наркотическим действием, вызывает сухость кожи, пары спирта раздражают слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей.

Концентрированная азотная кислота и оксиды азота по токсичности относятся к умеренно опасным веществам (3-й класс опасности по ГОСТ 12.1.007). Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров азотной кислоты и оксидов азота в воздухе рабочей зоны производственных помещений - 2 мг/м по ГОСТ 12.1.005 (ГОСТ 701-89 [63]). При попадании на кожу концентрированная азотная кислота вызывает тяжелые ожоги. Пары азотной кислоты и оксидов азота раздражают верхние дыхательные пути, вызывают конъюнктивиты и поражают роговицы глаз. Помещения, в которых проводят работы с концентрированной азотной кислотой, должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией.

Соляная кислота относится к веществам 3-го класса опасности (ГОСТ 12.1.007-76). Предельно допустимая концентрация хлористого водорода в воздухе рабочей зоны - 5 мг/м (ГОСТ 3118-77 [64]). Кислота оказывает прижигающее действие на слизистые оболочки и кожу, сильно раздражает дыхательные пути. При работе с препаратом следует применять индивидуальные средства защиты, а также соблюдать правила личной гигиены и не допускать попадания препарата на слизистые оболочки, кожные покровы, а также внутрь организма. Помещения, в которых проводятся работы

с препаратом, должны быть оборудованы общей приточно-вытяжной механической вентиляцией; анализ препарата следует проводить в вытяжном шкафу лаборатории.

Фтористоводородная кислота - токсична, пожаровзрывобезопасна, относится к группе негорючих веществ по ГОСТ 12.1.044. Предельно допустимая концентрация паров фтористоводородной кислоты в воздухе рабочей зоны - $0,5/0,1$ мг/м (числитель - максимальная разовая, знаменатель - среднесменная концентрации) в пересчете на фтор. Класс опасности - 1 по ГОСТ 12.1.005. При превышении ПДК пары кислоты сильно раздражают верхние дыхательные пути и слизистые оболочки (порог раздражающего действия - $0,008$ мг/дм³), могут вызывать острые и хронические отравления, изменения в органах пищеварения и дыхания, сердечно-сосудистой системе, а также изменения в составе крови (ГОСТ 10484-78 [65]). Фтористоводородная кислота прижигающе действует на кожу, вызывая дерматиты и язвы. Помещения, в которых проводятся работы с препаратом, должны быть оборудованы общей и местной приточно-вытяжной механической вентиляцией, обеспечивающей состояние воздушной среды в соответствии с ГОСТ 12.1.005. Отбор проб и анализ препарата следует проводить в вытяжном шкафу лаборатории. При попадании паров фтористоводородной кислоты в дыхательные пути в качестве первой помощи рекомендуется теплое молоко с содой или боржомом и теплые содовые ингаляции.

5.2.2.4 Электрический ток

При изготовлении образцов возникает необходимость работы на электрооборудовании (станке фрикционной перемешивающей обработки), в результате чего создается вероятность прохождения электрического тока через тело человека. Опасные и вредные воздействия на людей электрического тока проявляются в виде электротравм (судороги, остановка сердца, остановка

дыхания, ожоги и др.) и заболеваний. Результат воздействия тока на человека зависит от величины силы тока, его рода и частоты, продолжительности воздействия и множества других факторов. Причиной поражения электрическим током в условиях лаборатории могут стать случайное прикосновение к токоведущим частям или появление напряжения на металлических частях оборудования.

Напряжение прикосновения и токи при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать 8 В и 1 мА, соответственно (постоянный ток) или 2 В, 0,3 мА (переменный ток частотой 50 Гц).

5.2.2.5 Опасность возникновения пожара

Возникновение пожара может быть обусловлено двумя причинами. Некоторые из приведенных выше химических веществ являются легковоспламеняющимися (этиловый спирт), пожароопасными (азотная кислота) или взрывоопасными (фтористоводородная кислота). Кроме того, возможно возникновение пожара в результате неполадок в работе электрического оборудования.

5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

5.2.3.1 Отклонение показаний микроклимата

Для обеспечения нормативно-заданных параметров микроклимата в помещениях при необходимости нужно устанавливать кондиционеры и обогреватели. В противном случае, время работы в помещении должно быть ограничено в соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96 [53].

При проведении исследования, во всех помещениях параметры микроклимата соответствовали оптимальным значениям, за исключением помещения для проведения ПЭМ-исследований. Здесь температура воздуха поддерживается на уровне 19-20 °С для обеспечения стабильной работы оборудования. В тёплый период года это значение температуры выходит за рамки допустимых, поэтому время работы в этом помещении ограничено (8 часов).

5.2.3.2 Недостаточная освещенность

Источниками света могут быть как естественные, так и искусственные объекты. Естественным источником в помещении служит солнце, искусственными являются электрические лампочки. При длительной работе в условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров световой среды зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли.

По нормативу [49] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50° до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Так как часть исследования проводилась в цеху на экспериментальной установке для сварки трением, то следует рассчитать число искусственных светильников в рабочей зоне цеха.

В цехе применяется искусственное освещение комбинированного типа. Используются люминесцентные светильники типа ОДА, ПВЛ–1. Для создания благоприятных рабочих условий, степень освещенности в производственных помещениях нормируется, норма освещения составляет 300 лк [52].

Площадь участка составляет 432 м², длина 24 м, ширина 18 м, высота 8,4 м.

Число светильников для цеха определяется по формуле:

$$n = \frac{ESzk}{FUm},$$

где: E – нормированная освещенность, E=300лк;

S – площадь помещения, S = 432 м²;

z – поправочный коэффициент светильника, z = 1,2;

k – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации, k = 1,2;

F – световой поток одной лампы, ЛД 40, F=2500лм;

U – коэффициент использования, U = 0,55;

m – число ламп в светильнике, m = 2.

$$n = \frac{300 \times 432 \times 1,2 \times 1,2}{2500 \times 0,55 \times 2} = 67,9$$

Расчетное количество ламп ЛД 40 составило 68 штук. Высота подвеса светильников должна быть не меньше 1 м.

План расположения светильников представлен на рисунке 5.2.3.2.1.

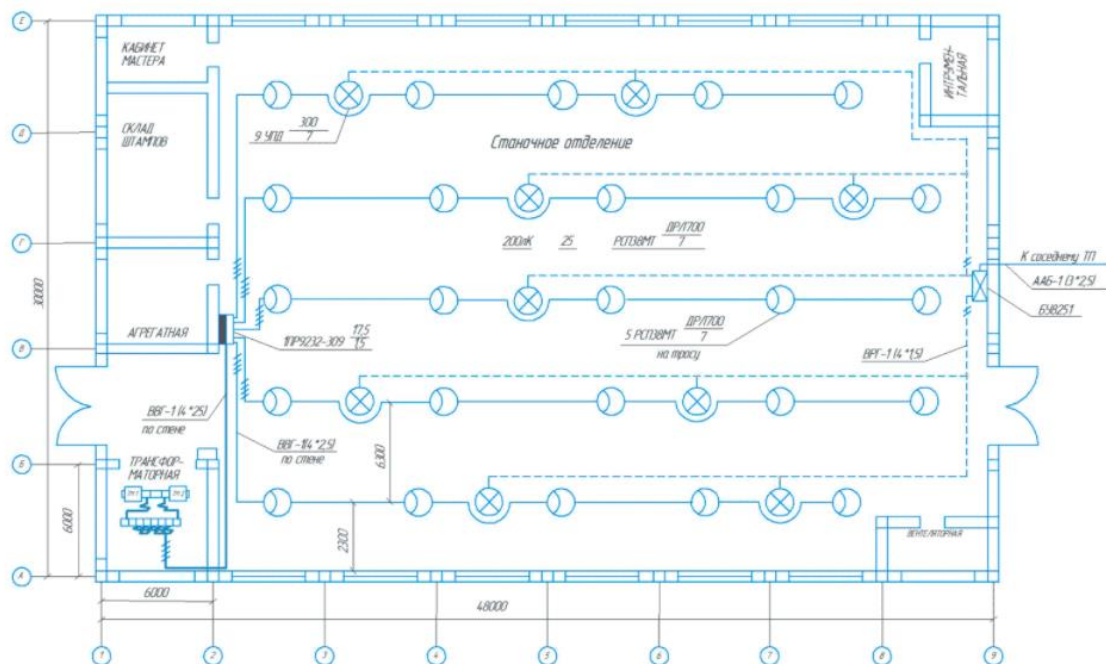


Рисунок 5.2.3.2.1 – Схема расположения светильников в цехе

5.2.3.3 Химические вещества

Помещения, в которых проводятся работы со всеми указанными реактивами, должны быть оборудованы общей приточно-вытяжной вентиляцией. Все операции с веществами следует проводить в вытяжном шкафу лаборатории. При смешивании веществ необходимо соблюдать очередность их внесения, чтобы избежать выплескивания кислот из пробирки.

При работе со всеми реактивами следует применять индивидуальные средства защиты, включающие в себя респиратор, халат, резиновые перчатки (их следует надевать поверх халата, чтобы не оставлять оголенных участков кожи), а также защитные очки. Так как серная кислота является очень едкой, работающие с ней должны быть обеспечены специальной одеждой: костюмами для защиты от кислот (ГОСТ 12.4.103 [67]), специальной обувью, герметичными защитными очками, а также кислотозащитными перчатками. Лаборантам также необходимо соблюдать правила личной гигиены.

5.2.3.4 Электрический ток

Несмотря на присутствие химических реактивов, по степени опасности поражения людей электрическим током помещение лаборатории относится к помещениям без повышенной опасности, так как используемые реактивы не могут вызвать растворение изоляции токоведущих частей. Температура и относительная влажность воздуха рабочей зоны, материал пола (мрамор) и отсутствие токопроводящей пыли также соответствуют предъявленным требованиям к помещениям без повышенной опасности.

Согласно ПУЭ [58], для защиты от поражения электрическим током при нормальном режиме работы электроустановки должны быть применены меры защиты от прямого прикосновения (для данной установки: основная изоляция токоведущих частей и применение малого напряжения) и от косвенного прикосновения (защитное заземление, зануление, автоматическое отключение питания и др.)

Непосредственно в процессе эксплуатации установки работающему необходимо перед началом выполнения работ удостовериться в целостности их изоляции или, в случае её отсутствия, убедиться, что они расположены вне зоны досягаемости для работающего. Из СИЗ при работе с установками напряжением менее 1000 В используются диэлектрические перчатки.

5.2.3.5 Опасность возникновения пожара

Для предотвращения возникновения пожара химические вещества следует хранить в небольших количествах и в герметичной таре: заводской или разрешенной к применению для данных веществ. При проведения данного исследования реактивы хранились в количествах в пределах сменной потребности. Кроме того, необходимо соблюдать требования к совместному

хранению веществ. Нельзя допускать возникновения открытого огня вблизи реактивов.

Во избежание возникновения пожара вследствие неисправности электрооборудования, следует соблюдать правила по его эксплуатации.

5.3 Экологическая безопасность.

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.

Объект исследования оказывает влияние на окружающую среду только в процессах его производства и утилизации. Рассмотрение влияния процесса выплавки алюминиевого сплава изучаемой марки не может быть рассмотрен достаточно подробно в рамках данной работы. Утилизация образцов алюминия легко осуществима, так как он не оказывает вредного влияния на окружающую среду вследствие высокой коррозионной стойкости алюминия и меди, а размеры образцов малы. Также образцы могут быть вторично использованы в виде лома.

5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.

Процесс исследования не оказывает значимого влияния на окружающую среду. Однако при проведении работ в химической лаборатории возможно попадание вредных веществ в окружающую среду, в связи с чем необходимо принять защитные меры.

5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.

Для предотвращения попадания едких и токсичных химических веществ в водопроводную сеть, после проведения травления образцов все отходы реактивов, а также их смеси должны быть нейтрализованы.

Для обеспечения значений концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны ниже ПДК, все работы проводятся в вытяжном шкафу. С целью предотвращения попадания вредных веществ в атмосферу, для задержки газов, паров и аэрозолей в вентиляционной системе устанавливается специальное фильтрующее оборудование.

Уровень загрязнения окружающей среды при проведении данных исследований не превышал допустимых требований по ГН 2.1.6.3492-17 [68].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

Изучаемые образцы не могут инициировать возникновение каких-либо ЧС, так как не производят поражающих факторов физического и химического характера.

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

При проведении исследований возможно возникновение двух ЧС: возникновение пожара, а также загрязнение местности и атмосферы аварийно-химически опасными веществами (АХОВ) и отравляющими веществами (ОВ). Разлив или рассыпание химических веществ может происходить по причине ненадлежащего хранения, а также по неосторожности работающего. Причины возникновения пожара приведены в разделе 5.2.2.

5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

При возникновении ЧС должен быть разработан следующий комплекс мероприятий:

- рассредоточение и эвакуация;
- обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- организация медицинской помощи пострадавшим.

Для обеспечения успешной эвакуации на стенах в коридорах должны быть размещены планы эвакуации, сотрудников нужно с ними ознакомить. Также следует назначить ответственного за проведение эвакуации, отвечающего за исправность дверных проемов, проходов, лестниц и своевременное открытие эвакуационных выходов. Для обеспечения своевременной первой помощи, все сотрудники должны знать правила её оказания. Необходимые медикаменты хранятся в аптечке в лабораториях ИФПМ СО РАН.

5.4.3.1 Загрязнение АХОВ и ОВ

Так как хранимые в лабораторных помещениях запасы химических веществ малы, то в большинстве случаев данная ЧС может быть ликвидирована силами сотрудников предприятия. При возникновении ЧС, сотрудники должны защитить органы дыхания при помощи СИЗ. На случай разлива кислот в лаборатории должен быть запас химических веществ для нейтрализации кислоты (сода или известь).

5.4.3.2 Пожар

При возникновении пожара необходимо незамедлительно обратиться в службу спасения. Затем оповестить персонал о возникновении пожара нажатием на кнопку сигнализации. При опасности поражения электротоком, помещение необходимо обесточить. После чего можно приступать к тушению пожара. При тушении пожара, вызванного указанными химическими веществами, применяют порошковые, пенные, и углекислотные огнетушители, а также песок. Для тушения электрооборудования применяют углекислотные огнетушители.

В соответствии со СНиП 2.01.02-85 [69] все лаборатории ИФПМ СО РАН оборудованы следующими средствами пожаротушения: огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом, ящик с песком (в коридоре). Каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

5.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Таким образом, при проведении данной работы, исполнители взаимодействуют с несколькими вредными и опасными факторами, такими как отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, вредные химические вещества и электрический ток. Их действие может быть минимизировано за счёт соблюдения необходимых норм и мер безопасности, что уже в полной мере реализуется в ИФПМ СО РАН.

Объект исследования не оказывает значимого влияния на окружающую среду. При проведении работ возможно попадание вредных веществ в атмосферу и гидросферу. Во избежание этого необходимо соблюдать правила по утилизации использованных реактивов, а также проводить все работы с вредными химическими веществами в вытяжном шкафу. План эвакуации из рабочих помещений ИФПМ СО РАН представлен на рисунке 5.5.1.

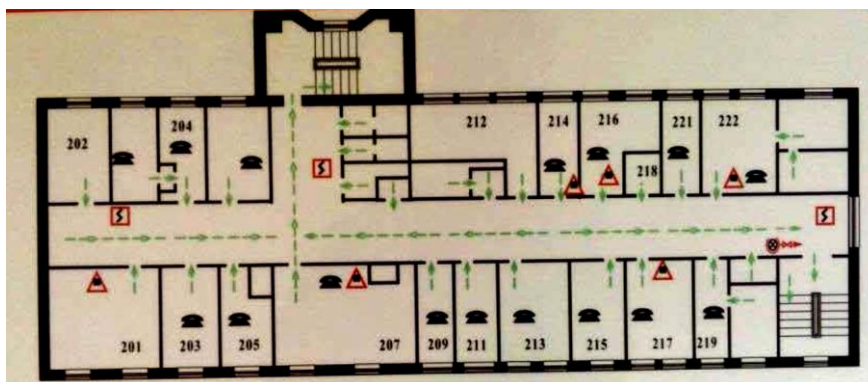


Рисунок 5.5.1 – План эвакуации из рабочих помещений ИФПМ СО РАН

Основными ЧС, которые могут возникнуть при проведении данного исследования, являются пожар и загрязнение АХОВ и ОВ. Для предотвращения возникновения данных ЧС сотрудники должны регулярно проходить инструктаж, соблюдать правила по работе с оборудованием и химикатами. Все необходимые средства для нейтрализации химических веществ и средства пожаротушения имеются в помещениях ИФПМ СО РАН.

Список публикаций

1. Доклад, представленный на XVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» (Томск, 27-30 Апреля 2021 года).

Список литературы

1. Ma, Z.Y. Friction Stir Processing Technology: A Review. *Metall. Mater. Trans. A* 2008, 39, 642–658.
2. Mishra, R.S.; Ma, Z.Y. Friction stir welding and processing. *Mater. Sci. Eng. R Reports* 2005, 50, 1–78.
3. Li, K.; Liu, X.; Zhao, Y. Research Status and Prospect of Friction Stir Processing Technology. *Coatings* 2019, 9, 129.
4. Węglowski, M.S. Friction stir processing – State of the art. *Arch. Civ. Mech. Eng.* 2018, 18, 114–129.
5. Padhy, G.K.; Wu, C.S.; Gao, S. Friction stir based welding and processing technologies - processes, parameters, microstructures and applications: A review. *J. Mater. Sci. Technol.* 2018, 34, 1–38.
6. Mishra, R.S.; Ma, Z.Y. Friction stir welding and processing. *Mater. Sci. Eng. R Reports* 2005, 50, 1–78.
7. Tarasov, S.Y.; Rubtsov, V.E.; Fortuna, S.V.; Eliseev, A.A.; Chumaevsky, A.V.; Kalashnikova, T.A.; Kolubaev, E.A. Ultrasonic-assisted aging in friction stir welding on Al-Cu-Li-Mg aluminum alloy. *Weld. World* 2017, 61, 679–690.
8. Kalashnikov K.N., Tarasov S.Y., Chumaevskii A.V., Fortuna S.V., Eliseev A.A., Ivanov A.N. Towards aging in a multipass friction stir-processed AA2024 // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2019. – Vol. 103. – Iss. (5-8). – P. 2121-2132.
9. Azimi-Roeeen G., Kashani-Bozorg S.F., Nosko M., Švec P. Reactive mechanism and mechanical properties of in-situ hybrid nano-composites fabricated from an Al-Fe₂O₃ system by friction stir processing. *Materials Characterization*, 2017, vol. 127, pp. 279–287.
10. Singh S.K., Immanuel R.J., Babu S., Panigrahi S.K., Janaki Ram G.D. Influence of multi-pass friction stir processing on wear behaviour and machinability

of an Al-Si hypoeutectic A356 alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 2016, vol. 236, pp. 252–262. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2016.05.019.

11. Калашникова Т.А., Гусарова А.В., Чумаевский А.В., Княжев Е.О., Шведов М.А., Васильев П.А. Закономерности формирования материалов с композитной структурой с использованием аддитивной электронно-лучевой технологии, сварки трением с перемешиванием и фрикционной перемешивающей обработки// *Обработка металлов (технология - оборудование - инструменты)*. - 2019. - Т. 21, № 4. - С. 94-112

12. Tarasov S.Yu., Rubtsov V.E., Kolubaev E.A. A proposed diffusion-controlled wear mechanism of alloy steel friction stir welding (FSW) tools used on an aluminum alloy // *Wear*. – 2014. – Vol. 318 (1–2). – P. 130–134.

13. Васильев П.А., Шведов М.А., Смирнов В.М., Христофоров О.В., Григорьев В.С. Сварка трением с перемешиванием биметаллического соединения 6082-АМг5. Журнал «Сварщик в России» г. Москва. 2018. № 1. с. 6-8.

14. Friction-stir welding of ultra-fine grained sheets of Al-Mg-Sc-Zr alloy / S. Malopheyev, S. Mironov, V. Kulitskiy, R. Kaibyshev // *Materials Science and Engineering: A*. – 2015. – Vol. 624. – P. 132–139.

15. Superplasticity of friction-stir welded AlMg-Sc sheets with ultrafine-grained microstructure / S. Malopheyev, S. Mironov, I. Vysotskiy, R. Kaibyshev // *Materials Science and Engineering: A*. – 2016. – Vol. 649. – P. 85–92

16. Fullerene/A5083 composites fabricated by material flow during friction stir processing / Y. Morisada, H. Fujii, T. Nagaoka, K. Nogi, M. Fukusumi // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2007. – Vol. 38. – P. 2097–2101. – DOI: 10.1016/j.compositesa.2007.07.004.

17. Lee C.J., Huang J.C. High strain rate superplasticity of Mg based composites fabricated by friction stir processing // *Materials Transactions*. – 2006. – Vol. 47. – P. 2773–2778.

18. Dixit M., Newkirk J.W., Mishra R.S. Properties of friction stir-processed Al 1100-NiTi composite // *Scripta Materialia*. – 2007. – Vol. 56. – P. 541–544.
19. Microstructure and mechanical property of multi-walled carbon nanotubes reinforced aluminum matrix composites fabricated by friction stir processing / Q. Liu, L. Ke, F. Liu, C. Huang, L. Xing // *Materials and Design*. – 2013. – Vol. 45. – P. 343–348.
20. Курицын Д.Н. Разработка технологического обеспечения сварки трением с перемешиванием в производстве аэрокосмических конструкций: диссертация на соиск. ст. канд. наук (05.07.02) / Курицын Денис Николаевич; МАИ. – Москва, 2018. – 177 с.
21. Volpone M., Mueller S.M. Friction stir welding (FSW): le ragioni di un successo// *Rivista Italiana della Saldatura*. – 2005. – №1. – P. 23 – 30.
22. Dalle Donne C., Lima E., Wegener J. et al. Investigation on residual stresses in friction stir welds// *Proc. of the 3rd International Friction Stir Welding Symposium, Kobe, Japan, 27 – 28 September, 2001*.
23. Zykova, A. P.; Tarasov, S. Y.; Chumaevskiy A.V.; Kolubaev, E. A. A Review of Friction Stir Processing of Structural Metallic Materials: Process, Properties, and Method. *Weld. World* 2020, 1-40.
24. Овчинников, В.В. Технологические особенности сварки трением с перемешиванием алюминиевых и магниевых сплавов (обзор) // *Машиностроение и инженерное образование*. – 2016. – №4. – С. 22–45.
25. Дриц, А.М., Овчинников, В.В., Бакшаев, В.А. Критерии выбора параметров режима сварки трением с перемешиванием тонких листов из алюминиевого сплава 1565ч. // *Цветные металлы*. – 2018. – №1. – С.85–93.
26. P.B. Srinivasan, K.S. Arora, W. Dietzel, S. Pandey, M.K. Schaper, Characterisation of microstructure, mechanical properties and corrosion behaviour of an AA2219 friction stir weldment, *Journal of Alloys and Compounds*, 492 (2010) 631-637.

27. Genevois C, Deschamps A, Denquin A, Doisneau-coottignies B. Quantitative investigation of precipitation and mechanical behaviour for AA2024 friction stir welds. *Acta Mater* 2005;53:2447–58.

28. Deng Y. Effects of Sc and Zr on mechanical property and microstructure of tungsten inert gas and friction stir welded aerospace high strength Al–Zn–Mg alloys / Y. Deng, B. Peng, G. Xu, Q. Pan, Z. Yin, R. Ye, Y. Wang, L. Lu // *Materials Science & Engineering A*. – 2015. – V. 639. – P. 500–513.

29. Kalashnikova, T., Chumaevskii, A., Kalashnikov, K., Fortuna, S., Kolubaev, E., Tarasov, S. Microstructural analysis of friction stir butt welded Al–Mg–Sc–Zr alloy heavy gauge sheets // *Metals*. – 2020. Vol. 10(6). – article 806. – P. 1-13.

30. Mahoney, M. W. Properties of friction-stir-welded 7075 T651 / M. W. Mahoney, C. G. Rhodes, J. G. Flintoff, R. A. Spurling, W. H. Bingel // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 1998. – V. 29. – P. 1955-1964.

31. Елисеев А. А. Механические свойства сплава АМг5 в ультрамелкозернистом состоянии, полученного перемешивающей фрикционной обработкой листового проката различной толщины / А. А. Елисеев, Т. А. Калашникова, А. В. Филиппов, К. Н. Калашников, В. А. Белобородов, А. В. Чумаевский // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 12-2. – С. 278-283.

32. J.K. Sahu, C.K. Sahoo, M. Masanta, In-situ TiB–TiC–AlO composite coating on aluminium by laser surface modification, *Mater. Manuf. Process*. 30 (2015) 736–742.

33. O. Sarikaya, S. Anik, S. Aslanlar, et al., Al–Si/B₄C composite coatings on Al–Si substrate by plasma spray technique, *Mater. Des*. 28 (2007) 2443–2449.

34. H.X. Li, V.S. Rudnev, X.H. Zheng, et al., Characterization of Al₂O₃, ceramic coatings on 6063 aluminum alloy prepared in borate electrolytes by micro-arc oxidation, *J. Alloys Compd*. 462 (2008) 99–102

35. Zykova, A. P., Tarasov, S. Y., Chumaevskiy, A. V., & Kolubaev, E. A. (2020). A review of friction stir processing of structural metallic materials: Process, properties, and methods. *Metals*, 10(6), 1-35. [772].
36. F. Khodabakhshi, A.P. Gerlich, P. Švec, Fabrication of a high strength ultra-fine grained Al-Mg-SiC nanocomposite by multi-step friction-stir processing, *Mater. Sci. Eng. A* 698 (2017) 313–325.
37. M.A. Moghaddas, S.F. Kashani-Bozorg, Effects of thermal conditions on microstructure in nanocomposite of Al/Si₃N₄ produced by friction stir processing, *Mater. Sci. Eng. A* 559 (2013) 187–193.
38. F. Khodabakhshi, S.M. Arab, P. Švec, et al., Fabrication of a new Al-Mg/graphene nanocomposite by multi-pass friction-stir processing: dispersion, microstructure, stability, and strengthening, *Mater. Charact.* 132 (2017) 92–107.
39. F. Khodabakhshi, S.M. Arab, P. Švec, Reactive friction-stir processing of an Al-Mg alloy with introducing multi-walled carbon nano-tubes (MW-CNTs): microstructural characteristics and mechanical properties, *Mater. Charact.* 131 (2017) 359–373.
40. M.A. Munoz-Morris, J.I. Rexach, M. Lieblich, Comparative study of Al-TiAl composites with different intermetallic volume fractions and particle sizes, *Intermetallics* 13 (2005) 141–149.
41. C.J. Hsu, P.W. Kao, N.J. Ho, Ultrafine-grained Al-Al₂Cu composite produced in situ by friction stir processing, *Scr. Mater.* 53 (2005) 341–345.
42. I.S. Lee, P.W. Kao, N.J. Ho, Microstructure and mechanical properties of Al-Fe in situ nanocomposite produced by friction stir processing, *Intermetallics* 16 (2008) 1104–1108.
43. C.J. Hsu, C.Y. Chang, P.W. Kao, Al-Al₃Ti nanocomposites produced in situ by friction stir processing, *Acta Mater.* 54 (2006) 5241–5249
44. F. Khodabakhshi, A. Simchi, A.H. Kokabi, et al., Friction stir processing of an aluminum-magnesium alloy with pre-placing elemental titanium powder: in-situ formation of an Al₃Ti-reinforced nanocomposite and materials characterization, *Mater. Charact.* 108 (2015) 102–114.

45. F. Khodabakhshi, A. Simchi, A.H. Kokabi, Surface modifications of an aluminum-magnesium alloy through reactive stir friction processing with titanium oxide nanoparticles for enhanced sliding wear resistance, *Surf. Coat. Technol.* 309 (2016) 114–123.

46. M. Azizieh, D. Iranparast, M.A.G. Dezfuli, et al., Fabrication of Al/Al₂Cu in situ nanocomposite via friction stir processing, *Trans. Nonferrous Metals Soc.* 27 (2017) 779–788.

47. Guoqiang Huang, Wentao Hou, Junping Li, Yifu Shen, Development of surface composite based on Al-Cu system by friction stir processing: Evaluation of microstructure, formation mechanism and wear behavior, *Surface and Coatings Technology* 344 (2018) 30–42.

48. И.Г. Видяев. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницына // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

49. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности. – М.: Стандартинформ, 2014. – 124 с.

50. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)

51. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). – М., 2003. – 29 с.

52. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008. – 48 с.

53. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 20 с.

54. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. - Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2021. – 28 с.
55. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – М., 2016. – 102 с.
56. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.:Стандартинформ, 2007. – 6 с.
57. ПУЭ СО 153-34.20.120–2003. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М., 2003. – 330 с.
58. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 7 с.
59. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты – М.: Стандартинформ 2019. – 20 с.
60. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М: Стандартинформ, 2006. – 64 с.
61. ГОСТ Р 55878-2013. Спирт этиловый технический гидролизный ректифицированный. Технические условия. – М.:Стандартинформ, 2014. – 18 с.
62. ГОСТ 701-89. Кислота азотная концентрированная. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 10 с.
63. ГОСТ 3118-77. Реактивы. Кислота соляная. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 10 с.
64. ГОСТ 10484-78. Реактивы. Кислота фтористоводородная. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 10 с.
65. ГОСТ 12.4.103-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.
66. СНиП 2.01.02-85* Противопожарные нормы. – М.: Госстрой СССР, 1991. – 16 с.

