

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ТПУ)**

Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ)  
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»  
 Профиль «Технологии наукоемких машиностроительных производств»  
 Отделение материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Влияние режима спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру, механические и трибологические свойства композитов (Al-9Si)-Sn

УДК 621.762

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Хорошилова Надежда Ивановна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коростелева Е.Н	К.Т.Н		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И	К.Т.Н		

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Ю.П			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коростелева Е.Н	К.Т.Н		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире.
P7	Использовать законы естественнонаучных дисциплин и математический аппарат в теоретических и экспериментальных исследованиях объектов, процессов и явлений в машиностроении, при производстве иных металлоконструкций и узлов, в том числе с целью их моделирования с использованием математических пакетов прикладных программ.
P8	Обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроения.
P9	Осваивать внедряемые технологии и оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.
P12	Проектировать изделия машиностроения, опасные технические устройства и объекты и технологические процессы их изготовления, а также средства технологического оснащения, оформлять проектную и технологическую документацию в соответствии с требованиями нормативных документов, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и с учетом требований ресурсоэффективности, производительности и безопасности.
P13	Составлять техническую документацию, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.
P4	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Универсальные компетенции</b>	
Р5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, знания в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на предприятиях машиностроения и смежных отраслей.
Р6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на производственных предприятиях и в отраслевых научных организациях.
Р14	Непрерывно самостоятельно повышать собственную квалификацию, участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований.

Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ)  
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»  
 Профиль «Технологии наукоемких машиностроительных производств»  
 Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Коростелева Е.Н.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4AM81	Хорошиловой Надежде Ивановне

Тема работы:

Влияние режима спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру, механические и трибологические свойства композитов (Al-9Si)-Sn	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№59-68/с от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><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, энергозатраты; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Цель исследования - получить композит методом жидкофазного спекания брикетов из смеси порошков силумина и олова. Исследовать его структуру, механические и трибологические свойства, а также износостойкость при сухом трении по стали.</p>
--	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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></p>	<p>1.Определить составы смесей порошков силумина (Al-9Si) с различным содержанием олова (Sn), а также режимы их спекания, позволяющие получать высокоплотные композиты с устойчивой к внешним деформационным воздействиям алюминиевой матрицей.</p> <p>2.Исследовать влияние последующего горячего доуплотнения на структуру и механические свойства спеченных композитов (Al-9Si)-xSn.</p> <p>3.Исследовать влияние режима спекания и последующего горячего доуплотнения на трибологические свойства композитов (Al-9Si)-xSn с различным содержанием олова при сухом трении по стали.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Основная часть магистерской диссертации</p>	<p>Коростелева Елена Николаевна</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Александр Иванович</p>
<p>Часть магистерской диссертации на английском языке</p>	<p>Ажель Юлия Петровна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>1. Введение</p>	
<p>2. Обзор литературы</p>	
<p>3. Исследование структуры спеченного и подвергнутого горячему уплотнению композита (Al-9Si)-20Sn и (Al-9Si)-40Sn</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>16.12.2019</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коростелева Е.Н	К.Т.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Хорошилова Н.И		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4AM81	Хорошилова Надежда Ивановна

Школа	ИШНПТ	Отделение	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Тема ВКР:

Влияние режима спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру, механические и трибологические свойства композитов (Al-9Si)-Sn	
<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
Стоимость ресурсов для исследования влияния режима спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру механические и трибологические свойства композитов (Al-9Si)-Sn	Работа с научной литературой и патентами, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования влияния режима спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру

	механические и трибологические свойства композитов (Al-9Si)-Sn
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения НТИ 4. Определение бюджета НТИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	19.02.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н		19.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Хорошилова Надежда Ивановна		19.02.2020

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4AM81	Хорошилова Надежда Ивановна

Школа	ИШНПТ	Отделение	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Тема ВКР:

Влияние режима спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру, механические и трибологические свойства композитов (Al-9Si)-Sn	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объектом исследования данной работы является спеченный композит на основе силумина. Области, в которых планируется применять данные материалы: машиностроение, приборостроение, аэрокосмическая техника.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>• действие фактора на организм человека;</li> <li>• приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>• предлагаемые средства защиты</li> </ul>	Анализ выявленных вредных факторов: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Повышенная температура воздуха;</li> <li>• Запыленность воздуха рабочей зоны;</li> <li>• Вредные вещества</li> </ul> СанПиН 2.2.4.548 – 96 СНиП II-A.8-62



<p>2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>• термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>• электробезопасность;</li> <li>• пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Электрический ток.</li> <li>• Пожарная безопасность</li> <li>• Шлифование</li> </ul>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>• анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>• анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>• разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>В случае нарушения процессов утилизации металлических порошков возможно попадания в водосточные трубы и систему водоснабжения, при этом будет происходить загрязнение литосферы, гидросферы. Для утилизации мелких фракций порошков лаборатория должна иметь специализированные отстойники, в которых порошок будет происходить коагуляцию и седиментацию.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>• выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>• разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>• разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>• разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации ее последствий</li> </ul>	<p>Рассмотрено ЧС техногенного характера -пожар. Каждый сотрудник должен проходить инструктаж и действовать исходя инструкции в случае возникновения возгорания, взрыва и других чрезвычайных ситуаций. В помещении необходимо иметь 2 огнетушителя марки ОП-3, ОУ-3, исходя из размеров помещения, а также средства индивидуальной защиты дыхания.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>• организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>Организация рабочего места должна удовлетворять требованиям СанПин 2.2.2/2.4.1340-03, ГОСТ 12.2.032-78. ГОСТ 12.3.002-75.</p> <p>Процессы производственные. Общие требования безопасности.</p>
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчетному заданию	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	19.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук		19.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ81	Хорошилова Надежда Ивановна		19.02.2020

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 123 страниц, 14 рисунков, 34 таблиц, 29 источников.

Ключевые слова: композиционные материалы, силумин, олово, прессование, горячее доуплотнение, структура, физико-механические свойства, интенсивность изнашивания, сухое трение.

Объектом исследования является композит на основе порошков доэвтетического силумина (Al-9Si) и добавок в него 20 вес.% и 40 вес.% олова (Sn).

Цель работы – исследовать влияние режимов спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру, механические и трибологические свойства композитов (Al-9Si)-xSn.

В процессе исследования решались следующие задачи:

1. Определить составы смесей порошков силумина (Al-9Si) с различным содержанием олова (Sn), а также режимы их спекания, позволяющие получать высокоплотные композиты с устойчивой к внешним деформационным воздействиям алюминиевой матрицей.
2. Исследовать влияние последующего горячего доуплотнения на структуру и механические свойства спеченных композитов (Al-9Si)-xSn.
3. Исследовать влияние олова на трибологические свойства спеченных и подвергнутых горячему доуплотнению композитов (Al-9Si)-xSn.

В первой главе представлен литературный обзор рассмотрены требования к антифрикционным материалам, применяемым в машиностроении, а также достоинства и недостатки порошковой металлургии.

Вторая глава посвящена методам исследования. В ней отражены основные стадии подготовки образцов для исследований и примененные для исследования методы.

В третьей главе приведены экспериментально полученные результаты по структуре, механическим и трибологическим свойствам спеченных композитов.

В четвертой и пятой главе, описаны разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность». Рассчитана стоимость сырья и материалов, размер окладов и выплат исполнителям проекта, показан план работы над проектом. Описаны возможные вредные и опасные производственные факторы.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В настоящей работе были применены следующие термины с соответствующими определениями:

Силумин – сплав на основе алюминия с добавлением кремния.

Антифрикционные материалы – это группа материалов, обладающих низким коэффициентом трения, или материалы способные уменьшить коэффициент трения других материалов (контртел).

Композит – неоднородный сплошной материал, состоящий из двух и более компонентов.

В настоящей работе были использованы следующие обозначения и сокращения:

- КМ – композиционный материал;
- ГД – горячее доуплотнение;
- ПМ – порошковая металлургия;
- РЭМ – растровая электронная микроскопия.

### **Нормативные ссылки:**

СТП ТПУ 2.5.01-2014 Система образовательных стандартов. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления;

ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ Группы и виды опасных и вредных факторов;

СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;

ГОСТ 12.1.003-83 – Шум. Общие требования безопасности;

ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;

ГОСТ 12.1.019-2017 – Система стандартов безопасности труда.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	16
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	18
1.1 Силумины.....	18
1.1.1 Модифицирование силуминов.....	19
1.1.2 Характеристика силуминов.....	19
1.1.3 Достоинства и недостатки силуминов.....	20
1.2 Антифрикционные материалы.....	21
1.3 Порошковая металлургия.....	28
1.3.1 Достоинства и недостатки порошковой металлургии.....	29
2. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЕЧЕННЫХ И ПОДВЕРГНУТЫХ ГОРЯЧЕМУ ДОУПЛОТНЕНИЮ КОМПОЗИТОВ (Al-9Si)-20Sn И (Al-9Si)-40Sn.....	31
2.1 Исходные материалы и методы изготовления образцов.....	31
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	37
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	53
4.1 Предпроектный анализ.....	53
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	53
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	54
4.2 SWOT – анализ.....	55
4.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	58
4.4 Методы коммерциализации результатов научно – технического исследования.....	60
4.5 Инициация проекта.....	61
4.6 Организационная структура проекта.....	61
4.7 Планирование управления научно – техническим проектом.....	62
4.7.1 Контрольные события проекта.....	62
4.7.2 План проекта.....	63

4.8 Бюджет научного исследования.....	64
4.8.1 Полная заработная плата исполнителей исследования.....	66
4.8.2 Дополнительная заработная плата исполнителей исследования.....	68
4.8.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	69
4.8.4 Накладные расходы.....	69
4.9 Организационная структура проекта.....	70
4.10 Реестр рисков проекта.....	71
4.11 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	71
4.12 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	77
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	81
5.1 Анализ выявленных вредных факторов.....	82
5.2 Экологическая безопасность.....	93
5.3 Защита в чрезвычайных ситуациях.....	94
5.4 Производственная безопасность.....	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	99
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	102
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	105

## ВВЕДЕНИЕ

Сплавы системы Al-Si, известные как силумины, широко применяются в различных отраслях промышленности. Хорошие литейные свойства и, в первую очередь – высокая жидкотекучесть, являются главными преимуществами силуминов перед другими литейными алюминиевыми сплавами [1]. Помимо жидкотекучести, кремний также эффективно улучшает износостойкость алюминиевых сплавов, поскольку их структура удовлетворяет принципу Шарпи для износостойких антифрикционных материалов. Однако использовать в узлах трения силумины можно только при наличии большого количества смазки, поскольку кремний заметно ухудшает теплопроводность алюминия. В результате поверхность трения сплавов Al-Si в отсутствии жидкой смазки быстро нагревается, деформируется, и начинает схватываться с контртелом [1,2].

Интенсивность изнашивания алюминиевой матрицы может быть понижена, если в её состав ввести мягкий металл, включения которого могут выдавливаясь на поверхность, размазываться по ней и защищать пару трения от изнашивания схватыванием [3]. В качестве такой добавки наиболее часто используется олово, и сплавы Al-Sn нашли широкое применение в качестве антифрикционных материалов в подшипниках скольжения.

Однако содержание олова в литых промышленных алюминиевых сплавах ограничивают 20 вес.% (ГОСТ 14113-78) по причине дезинтеграции алюминиевой матрицы оловянными прослойками и вызванным ею снижением их несущей способности. Недавно было обнаружено [4], что решить проблему получения алюминиевых сплавов с гораздо более высоким содержанием олова, сохранив при этом связанность алюминиевого каркаса, можно с помощью методов порошковой металлургии. В результате предельная концентрация олова в спеченных композитах Al-Sn, при которой алюминиевый каркас остается связанным, достигает 40 вес.%. [5].



В случае спекания композитов Al-Si-Sn вводить в эту смесь непосредственно частицы кремния с целью упрочнения ими алюминиевой матрицы нежелательно, поскольку жидкое олово будет разделять компоненты и препятствовать их диффузионному взаимодействию. Кроме того, кремний плохо смачивается оловом даже при температуре выше плавления алюминия, поэтому адгезионные границы “Si-Sn” будут являться слабыми местами в таком композиционном материале [6]. Поэтому, в настоящей работе использовались брикеты, полученные из смеси порошков олова с порошками сплава доэвтектического состава (Al-9Si). Кремний при этом будет равномерно распределен непосредственно в алюминиевых частицах, образующих в широком концентрационном интервале Sn непрерывные цепочки, которые при спекании должны трансформироваться в прочный связанный каркас. При этом, спеченный материал обычно содержит поры, которые являются источниками возникновения трещин и вызывают преждевременное его разрушение в процессе деформации. Поэтому с целью их устранения нужно проводить последующую деформационную обработку. Ввиду наличия большого количества частиц кремния и, как следствие, недостаточной пластичности спеченных композитов подвергать их обработке методами интенсивной пластической деформации нельзя. Поэтому, в качестве деформационной обработки был выбран метод горячего доуплотнения в исходной пресс-форме, при котором деформация образца значительно меньше.

Таким образом, **целью** настоящей работы было исследование влияния режима спекания и последующей деформационной обработки методом горячего доуплотнения на структуру, механические и трибологические свойства композитов (Al-9Si)-xSn.

Исходя из цели работы, были поставлены следующие **задачи**:

1. Определить составы смесей порошков Al-9Si с различным содержанием Sn, а также режимы их спекания, позволяющие получать

высокоплотные композиты с устойчивой к внешним деформационным воздействиям алюминиевой матрицей.

2. Исследовать влияние последующей деформационной обработки методом горячего до уплотнения (ГД) на структуру и механические свойства спеченных композитов (Al-9Si)-xSn.

3. Исследовать влияние режима спекания и последующего горячего доуплотнения на трибологические свойства композитов (Al-9Si)-xSn различным содержанием олова при сухом трении по стали.

## **1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР**

### **1.1 Силумины**

Силуминами называют группу алюминиевых сплавов с относительно большим содержанием кремния. Нередко под силуминами предполагают более узкую группу сплавов с содержанием кремния 12-13 %. Это – эвтектические силумины, которые еще именуют как обычные, или нормальные силумины.

У сплава этого типа имеется только два состояния — «твердое» и «жидкое». Полное затвердевание отливки происходит при эвтектической температуре около 577 °С [7].

Силумины также делятся на группы, такие как:

- доэвтектические силумины (с содержанием кремния 4-10 % с добавками меди, марганца и др.);
- изностойкие заэвтектические силумины (с содержанием кремния до 20 % с добавками никеля, магния и др.);
- специальные силумины, такие, как цинковистый силумин.

Эвтектические силумины имеют содержание кремния в интервале от 10 до 13 %, небольшие прочностные свойства, но достаточно высокое для литейных сплавов удлинение. Ключевым их превосходством перед другими литейными алюминиевыми сплавами, в том числе и другими типами

силуминов, являются довольно неплохие литейные свойства и, в первую очередь, – отличная жидкотекучесть. Из всех алюминиево-кремниевых сплавов данные сплавы, содержащие приблизительно 13 % кремния, имеют наилучшую жидкотекучесть [7].

### **1.1.1 Модифицирование силуминов**

Модифицированием силуминов называют специальную обработку сплава, для того чтобы получить мелкозернистый эвтектический кремний в литой структуре. Эвтектическая структура кремния повышает механические свойства отливки, ее относительное удлинение, а также литейные свойства алюминиевого расплава. Как правило, модифицирование силумина производят путем добавления малых количеств натрия и др. [7].

В силуминах с содержанием кремния более 7 % эвтектический кремний занимает большую часть площади образца. При содержании кремния от 7 до 13 % тип эвтектической структуры, например, зернистый или модифицированный, значительно влияет на механические свойства материала, в частности, на пластичность или на относительное удлинение.

Поэтому, когда необходимо получить более высокое относительное удлинение, алюминиевые сплавы с содержанием кремния от 7 до 13 % подвергают модифицированию путем добавления приблизительно 0,004-0,01 % натрия.

Получить мелкозернистый эвтектический кремний в алюминии можно также в порошках Al-Si путем распыления расплава и его быстрой кристаллизации [8].

### **1.1.2 Характеристика силуминов**

Силумин по физическим свойствам не уступает нержавеющей стали, но он значительно легче стали, что является его главным достоинством. Сплав не поддается коррозии. Этому способствует защитная пленка, которая

образуется на поверхности при малейших повреждениях путем взаимодействия кислорода и атомов алюминия [8].

Одной из важнейших механических характеристик силуминов является микротвердость, для повышения которой применяются следующие механизмы:

- Улучшение структуры первичных кристаллов кремния (Уменьшение размеров, сфероидизация, равномерное распределение по объему сплава).
- Уменьшение размера всех структурных компонентов сплава, включая нерастворимые в матрице интерметаллиды (первичные кристаллы, эвтектики, вторые фазы).

Преимуществом силумина также является высокая пластичность. Благодаря этому он подходит для литья сложных форм, требующих равномерного распределения металла.

К технологическим свойствам также относится повышенная износостойкость. Изделия из этого сплава отличаются устойчивостью к механическим нагрузкам и длительным сроком эксплуатации.

Главные отрасли применения силумина – самолетостроение и машиностроение. Связано это с тем, что сплав алюминия с кремнием легкий, прочный и износостойкий. Для техники изготавливаются поршни, детали корпуса, цилиндры и двигатели.

### **1.1.3 Достоинства и недостатки силуминов**

Силумины имеют ряд особенностей.

Достоинства:

- Повышенная жидкотекучесть, обеспечивающая получение тонкостенных и сложных по геометрии отливок;
- Износостойкость;
- Высокая удельная прочность.

Недостатки:

- Высокая склонностью к окислению, а также к насыщению водородом, что приводит к таким видам брака отливок, как газовая пористость, шлаковые и оксидные включения [9].

По этой причине, при плавке и изготовлении отливок одним из методов литья следует учитывать особенности отдельных групп алюминиевых сплавов. Максимальное распространение в промышленности имеют сплавы Al—Si, Al—Si—Mg (AK12, AK9ч, AK9пч, AK7ч, AK7пч, AK8л, AK9, AK7), которые отличаются хорошими технологическими свойствами. Применяются такие сплавы для литья корпусных деталей, работающих под высоким внутренним давлением жидкостей и газов, а также в авиастроении и машиностроении [10].

## **1.2 Антифрикционные материалы**

Материалы относят к антифрикционным, если для них характерны следующие свойства: высокая теплопроводность; хорошая смачиваемость смазкой и прирабатываемость, основанная на способности материала при трении легко пластически деформироваться и увеличивать площадь фактического контакта. При эксплуатации подшипников скольжения из таких материалов периодический контакт их со стальным валом практически неизбежен, например, в моменты пуска и остановки агрегата. Поэтому также необходимо, чтобы при работе в условиях плохой смазки антифрикционный материал обеспечивал низкий коэффициент трения и демонстрировал высокую несущую способность в широком интервале нагрузок и скоростей скольжения [11]. В современном машиностроении применяется более десяти различных групп антифрикционных материалов, в том числе свыше ста марок литых металлических сплавов. В таблице 1 представлены допустимые режимы эксплуатации различных антифрикционных материалов.

Применяются также спеченные самосмазывающиеся антифрикционные материалы, обладающие низким коэффициентом трения и высокой

износостойкостью. Подшипники из этих материалов, как правило, характеризуются высокими свойствами самосмазывания и саморегулирования подачи смазки в зону трения [12]. Пористость способствует прирабатываемости подшипников, а находящееся в порах масло образует смазочную пленку, как в пусковой период, так и при других режимах работы узла трения. Спеченные подшипники, пропитанные маслом, в большинстве случаев могут работать в течение долгого времени без дополнительной смазки, а при более тяжелых режимах нагружения – с дополнительной подачей смазки в зону трения.

В настоящее время существует значительное количество спеченных антифрикционных материалов, которые широко используются как в изделиях общего машиностроения, работающих в обычных условиях, так и в изделиях специального назначения, предназначенных для сложных условий эксплуатации [12].

Таблица 1 - Характеристика антифрикционных сплавов с металлической матрицей [13].

Материал	Твердость, НВ	Коэффициент трения по стали		Допустимый режим работы		
		без смазочного материала	со смазочным материалом	$p$ , МПа	$v$ , м/с	$pv$ , МПа·м/с
<b>Баббиты</b>						
Б83	30	0,07 – 0,12	0,004 – 0,006	15	50	75
Б16	30			10	30	3
БК2	32			15	15	6
<b>Бронзы</b>						
БрО10Ф1	100	0,1 – 0,2	0,004 – 0,009	15	10	15
БрС30	25			25	12	30
<b>Латуни</b>						
ЛЦ16К4	100	0,15 – 0,24	0,009 – 0,016	12	2	10
ЛЦ38Мц2С2	80			10,6	1	10
<b>Алюминиевый сплав</b>						
АО9-2	31	0,1-0,15	0,008	25	20	100
<b>Антифрикцион ные серые чугуны</b>						
АЧС-1	220	0,12-0,23	0,008	2,5	5	10
АЧС-3	160		0,016	6	0,75	5

Основными требованиями, предъявляемыми к технологии изготовления материалов для узлов трения, является возможная простота технологического процесса, его доступность, использование недефицитного исходного сырья, высокий уровень механизации и автоматизации производства данных деталей [13].

Современные условия эксплуатации узлов трения требуют создания самосмазывающихся антифрикционных вкладышей, способных работать в условиях высоких нагрузок и скоростей скольжения. Резервы повышения их работоспособности в режиме самосмазывания далеко не исчерпаны. Их нужно искать в создании материалов с повышенными трибологическими свойствами, в выборе смазок и улучшении конструкций узлов трения [14].

Для того чтобы создавать новые антифрикционные материалы, необходимо знать, какого типа нагрузки будут испытывать данные сплавы в условиях трения. Исходя из условий нагружения, в которых находятся материалы при эксплуатации, сформировался комплекс требований, предъявляемых к сплавам антифрикционного назначения. К таким требованиям относятся:

- а) высокая статическая и динамическая прочность при различных температурах (высокое сопротивление деформированию и выносливость при продолжительной эксплуатации);
- б) хорошая прирабатываемость и высокая несущая способность;
- в) высокое сопротивление изнашиванию, низкий коэффициент трения;
- г) хорошая смачиваемость маслом;
- д) высокая теплопроводность и низкий коэффициент теплового расширения.

Антифрикционному материалу в условиях трения при граничной смазке соответствуют те свойства материала подшипника, которые обеспечивают более низкую температуру на поверхности трения, предохраняющую граничный смазочный слой от разрушения. Этот критерий достигается высокой теплопроводностью материала, а также способностью

легко пластически деформироваться при трении, в результате чего достигается перераспределение передаваемой на подшипник нагрузки и снижение удельных давлений и температуры [15].

Общим технологическим принципом конструирования самосмазывающихся композиционных материалов является получение высоко гетерогенных структур, обеспечивающих высокие триботехнические характеристики. Для материалов такого типа характерны малые величины коэффициента трения и износа.

Главная особенность структуры самосмазывающихся композиционных материалов состоит в том, что функции ее составляющих строго дифференцированы. Одни из них играют роль несущей части (например, сплавы на основе меди и алюминия), другие антифрикционной (твердые смазки типа олова, свинца, графита и др.). При выборе структурных составляющих необходимо знать о смачиваемости и взаимодействии сплавов-смазок с матрицей, поскольку структурно-фазовые изменения на границе их контакта могут существенно изменить общую структуру подшипникового материала, что отразится и на его функциональных свойствах [14].

В зависимости от конкретных условий работы подшипников существуют индивидуальные пути повышения триботехнических свойств материалов [14]. В некоторых случаях изыскивают возможность введения различных твердых смазок и добавок, присутствие которых увеличивает ресурс работы деталей. В других случаях используют новый конструкционный подход, например, создание многослойных подшипников, имеющих в качестве антифрикционного слоя различные как металлические составляющие, так и полимерные [11].

Сплавы на основе алюминия нашли широкое применение в подшипниках скольжения благодаря их высокой усталостной прочности, теплопроводности, отличной сопротивляемости коррозии и сравнительно малой дефицитности.



При этом невысокая стоимость и небольшой расход на единицу изделия вследствие малого удельного веса обеспечивают подшипникам из алюминиевых сплавов высокую экономичность. Первое время в подшипниках на алюминиевой основе упор делался на их несущую способность, которую старались обеспечить даже в ущерб антифрикционным свойствам материала. В таких подшипниках в качестве твердых структурных составляющих выступали алюминиды типа  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{NiAl}_3$ ,  $\text{AlSb}$  [16].

Однако, твёрдые частицы, помимо того, что обеспечивают высокую несущую способность алюминиевых сплавов, так же повреждают поверхность контртела при фрикционном контакте с ним. Потому, с увеличением мощности двигателей возникла необходимость во вкладышах, обладающих улучшенными эксплуатационными свойствами. В связи с этим уже в конце 30-х годов были созданы алюминиевые сплавы, содержащие добавки мягких металлов (олово, свинец, кадмий). Наибольшее распространение получили алюминиевые сплавы с оловом, предельное содержание которого было не более 7 %. [17].

Повысить антифрикционные характеристики алюминиевых сплавов удалось при освоении производства прокатанной слоистой ленты, антифрикционный слой которой прочно удерживается на твёрдой подложке и может выдержать большие нагрузки без деформации. Поэтому удалось уменьшить количество твердых частиц в данном слое, а объёмную долю мягкой фазы увеличить. Подшипниковые вкладыши, плакированные слоем антифрикционного алюминиевого сплава, нашли широкое применение в двигателях речного и морского флота, железнодорожного и автомобильного транспорта [18].

Наиболее широко используются биметаллические вкладыши со слоем алюминиевого сплава, содержащего 20 % Sn и 1 % Cu, известного под торговой маркой АО20-1 (табл. 2). Усталостная прочность такого сплава близка к прочности свинцовистой бронзы Cu-30Pb, но при этом он обладает более высокой коррозионной стойкостью и сопротивлением задирам [19].

Таблица 2 - Марки и химический состав алюминиевых антифрикционных сплавов (ГОСТ 14113-78) [20].

	Основные компоненты						
Марка	Sn	Mn	Cu	Ni	Si	Ti	Al
АО9-2	8,0-10,0		2,0-2,5	0,8-1,2	0,3-0,7		Остальное
АО3-7	2,5-3,5	0,5-0,8	7,0-8,5		0,6-1,2		
АО6-1	5,0-7,0		0,7-1,3	0,7-1,3			
АО9-1	8,0-10,0		0,8-1,2			0,02-0,2	
АО12-1	11,0-14,0		0,8-1,2	0,4-0,6			
АО20-1	17,0-23,0		0,7-1,2			0,02-0,2	

В настоящее время сплавы системы Al-Sn в основном получают путём литья в кокиль. Однако такие отливки отличаются неоднородным градиентным распределением фаз из-за несмешиваемости компонентов системы в твердом состоянии (рис. 1) и большой разности плотностей Al и Sn фаз. Чем выше содержание Sn и ниже скорость охлаждения расплава, тем сложнее получить алюминиевые сплавы с равномерным распределением олова по объёму.

Этому не способствует также большая разность температур кристаллизации Al и Sn, из-за чего при охлаждении расплава первыми выпадают зародыши тугоплавкой алюминиевой фазы, практически не содержащие олова. В процессе роста они оттесняют жидкое олово на периферию, где оно затем кристаллизуется. С увеличением концентрации олова прослойки соединяются в сетку, и когда она становится непрерывной, пластичность и усталостная прочность алюминиевых сплавов резко снижаются ввиду локализации деформации во включениях мягкого Sn.

Поэтому, весовое содержание олова в промышленных сплавах Al-Sn не превышает 20 %, и их структура состоит из алюминиевой матрицы с заключёнными в нее изолированными оловянными включениями. С увеличением содержания олова пластичность сплавов возрастает, но снижается прочность, и для её повышения сплав легируют медью, кремнием, никелем и рядом других элементов [21].

При этом поверхность трения материалов с более высокой концентрацией олова становится значительно глаже, что является следствием образования более качественной защитной оловянной пленки [22].

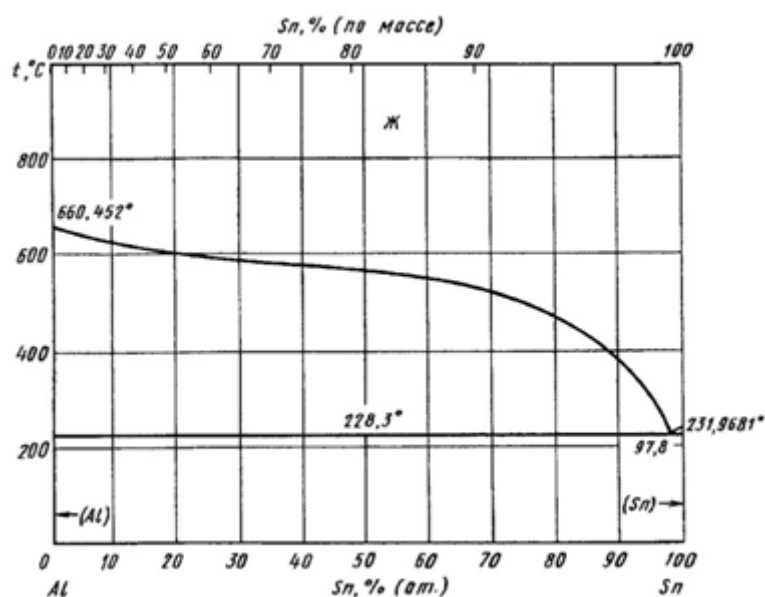


Рисунок 1 - Фазовая диаграмма состояния системы Al-Sn [23].

Предполагается, что в процессе эксплуатации таких материалов прочная матрица воспринимает внешнюю механическую нагрузку и равномерно перераспределяет ее по объему, а мягкие оловянные включения в процессе трения выдавливаются на поверхность и действуют как твердая смазка. Значит, помимо концентрации второй фазы важным фактором, влияющим на триботехнические свойства сплавов Al-Sn, является характер распределения и размер её включений в алюминиевой матрице. И, следовательно, для работы в условиях сухого и граничного трения наиболее благоприятной является структура сплавов, представляющая собой алюминиевую матрицу с равномерно распределенными в ней мелкими изолированными оловянными включениями [22].

Несущая способность сплавов Al-Sn является невысокой. Для ее повышения, в частности, вводят твердые частицы, которые в процессе трения выступают над поверхностью и воспринимают давление твердого контртела, не давая ему соприкоснуться с поверхностью алюминиевой матрицы.

Воспринятую нагрузку частицы передают матрице, которая перераспределяет ее по всему объему композита.

Однако объемную долю твердых частиц вынуждены ограничивать из-за присущего им перколяционного эффекта в замкнутом объеме, то есть способности уже при малых концентрациях образовывать непрерывную сетку. Если такие частицы хрупкие, стыки между ними также легко разрушаются под воздействием растягивающих или сдвигающих напряжений. Это способствует образованию трещин и последующему разрушению материала в процессе его эксплуатации [3].

В случае системы Al-Sn, легирующим элементом, упрочняющим алюминий и не растворяющимся в олове, является кремний. Если спечь смесь порошков силумина с оловом, то можно получить композит с упрочненной алюминиевой матрицей и заданным количеством включений твердой смазки. Можно надеяться, что такие композиты будут демонстрировать повышенную износостойкость при сухом или граничном трении.

### **1.3 Порошковая металлургия**

Порошковая металлургия, область техники, охватывающая совокупность методов изготовления порошков металлов и металлоподобных соединений, полуфабрикатов и изделий из них (или их смесей с неметаллическими порошками) без расплавления основного компонента.

Одним из методов получения порошков является механическое измельчение металлов производят в вихревых, вибрационных и шаровых мельницах. Другой, более совершенный метод получения порошков — распыление жидких металлов. Его достоинства — возможность эффективной очистки расплава от многих примесей, высокая производительность и экономичность процесса. Распространено получение порошков железа, меди,

вольфрама, молибдена высокотемпературным восстановлением металла (обычно из окислов) углеродом или водородом [24].

Технология порошковой металлургии включает следующие операции:

- получение исходных металлических порошков и приготовление из них шихты (смеси) с заданными химическим составом и технологическими характеристиками;
- формование порошков или их смесей в заготовки с заданными формой и размерами, которое осуществляется главным образом прессованием;
- спекание, т. е. термическую обработку заготовок при температуре ниже точки плавления всего металла или основной его части [25].

### **1.3.1 Достоинства и недостатки порошковой металлургии**

Порошковая металлургия имеет следующие достоинства, обусловившие её применение:

1) Возможность получения таких материалов, которые трудно или невозможно получать др. методами. К ним относятся: некоторые тугоплавкие металлы (вольфрам, тантал); сплавы и композиты на основе тугоплавких соединений (твёрдые сплавы на основе карбидов вольфрама, титана и др.): композиции и т. н. псевдосплавы металлов, не смешивающихся в расплавленном виде, в особенности при значительной разнице в температурах плавления (например, вольфрам — медь); композиции из металлов и неметаллов (медь — графит, железо — пластмасса, алюминий — окись алюминия и т.д.); пористые материалы (для подшипников, фильтров, уплотнений, теплообменников) и др.

2) Возможность получения некоторых материалов и изделий с более высокими технико-экономическими показателями. Порошковая металлургия позволяет экономить металл и значительно снижать себестоимость

продукции (например, при изготовлении деталей литьём и обработкой резанием иногда до 60—80% металла теряется в литники, идёт в стружку и т.п.).

3) При использовании чистых исходных порошков можно получить спечённые материалы с меньшим содержанием примесей и с более точным соответствием заданному составу, чем у обычных литых сплавов.

4) При одинаковом составе и плотности у спечённых материалов в связи с особенностью их структуры в ряде случаев свойства выше, чем у литых. В частности, меньше сказывается неблагоприятное влияние предпочтительной ориентировки (текстуры), которая встречается у ряда литых металлов (например, бериллия) вследствие специфических условий затвердевания расплава [25].

Порошковая металлургия имеет и недостатки, ограничивающие ее применение:

- 1) Сравнительно высокая стоимость металлических порошков;
- 2) Необходимость спекания в защитной атмосфере, что также увеличивает себестоимость изделий;
- 3) Трудность изготовления в некоторых случаях изделий и заготовок больших размеров;
- 4) Сложность получения металлов и сплавов в компактном беспористом состоянии. При этом данный недостаток часто можно устранить путем последующего доуплотнения;
- 5) Необходимость применения чистых исходных порошков для получения чистых металлов.

Недостатки порошковой металлургии и некоторые её достоинства нельзя рассматривать как постоянно действующие факторы, так как в

значительной степени они зависят от состояния и развития как самой порошковой металлургии, так и др. отраслей промышленности [26].

## **2. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЕЧЕННЫХ И ПОДВЕРГНУТЫХ ГОРЯЧЕМУ ДОУПЛОТНЕНИЮ КОМПОЗИТОВ (Al-9Si)-20Sn И (Al-9Si)-40Sn**

### **2.1 Исходные материалы и методы изготовления образцов**

В качестве исходного материала в работе использовались промышленные порошки олова марки ПО 2 (ГОСТ 9723-73) и силумина Al-9Si. Используемый порошок олова имел следующий гранулометрический состав: < 45 мкм – не менее 80%; > 71 мкм – не более 2,2 %. Содержание примесей в порошке – (Fe, Pb, Cu, S, O<sub>2</sub>, Sb, Bi, As) – не более 1 %. Химический состав порошка Al-9Si: Si – 9,1 %; Mg – 0,42 %; Fe – 0,1 %; прочие примеси – менее 0,35 %; Al - остальное. Гранулометрический состав: средний размер порошинок – около 40 мкм. Все порошки получены распылением расплавов и имели сферическую форму (рис. 2).

Из исходных порошков готовились механические смеси, весовое содержание олова в которых равнялось 20 и 40 %, что соответствовало его содержанию в наиболее широко применяемом промышленном антифрикционном сплаве АО-20 и содержанию, при котором наблюдалась максимальная износостойкость спеченных двухфазных композитов Al-Sn при сухом трении по стали.

Таким образом, расчет первой смеси **(Al-9Si) и 20 вес.% Sn на 60 грамм** вычислим следующим образом:

$$60 \cdot 0,2 = 12 \text{ г} - \text{Sn, остальное сплав (Al-9Si) - 80\%, т.е. } 60 \cdot 0,8 = 48 \text{ г.}$$

Расчет второй смеси (Al-9Si) и Sn 40 вес.% Sn на 60 грамм:

$60 \cdot 0,4 = 24 \text{ г} - \text{Sn}$ , остальное сплав (Al-9Si) – 60%, т.е.  $60 \cdot 0,6 = 36 \text{ г}$ .

Теоретическая (компактная) плотность полученной смеси определялась по формуле 1:

$$\rho_{\text{теор.}} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\alpha_1 \cdot \rho_2 + \alpha_2 \cdot \rho_1} \quad (1)$$

где  $\rho_1, \rho_2$  - плотности соответствующих компонентов,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - весовые проценты компонентов А и В. При расчете теоретической плотности композитов использовали следующие табличные данные плотностей составляющих компонентов, {г/см<sup>3</sup>}: Si – 2,33; Sn – 7,31; Al – 2,7.

Таким образом, рассчитаем теоретическую плотность Al-9Si:

$$\rho_{(Al-9Si)} = \frac{2,7 \cdot 2,33}{0,91 \cdot 2,33 + 0,09 \cdot 2,7} = 2,66$$

Теоретическая плотность первой смеси (Al-9Si)-20Sn:

$$\rho_{(Al-9Si)-20Sn} = \frac{2,66 \cdot 7,31}{2,66 \cdot 0,2 + 0,8 \cdot 7,31} = 3,05$$

Теоретическая плотность второй смеси (Al-9Si)-40Sn:

$$\rho_{(Al-9Si)40Sn} = \frac{2,66 \cdot 7,31}{2,66 \cdot 0,4 + 0,6 \cdot 7,31} = 3,57$$

Для получения однородных механических смесей различного состава из элементарных порошков использовали смеситель типа "шаровая мельница", смешивание в котором осуществлялось в течение 5 часов.



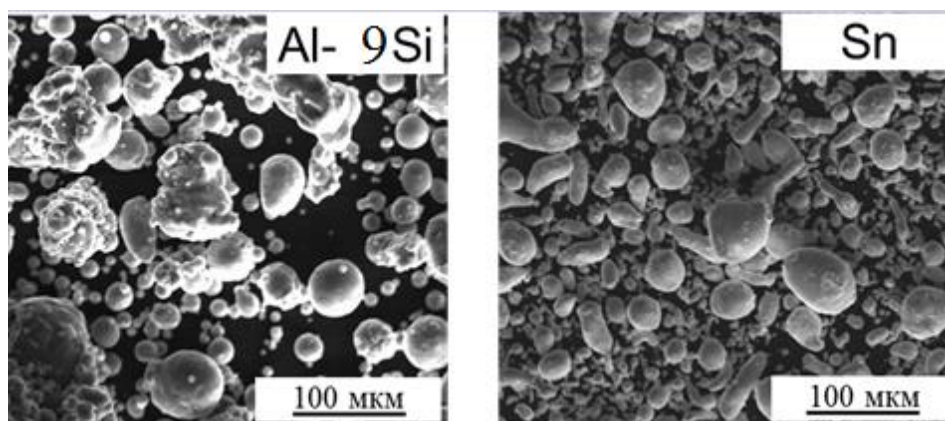


Рисунок 2 - Порошки Al-9Si и Sn

Далее, из полученных смесей с помощью холодного двухстороннего прессования в цилиндрической пресс-форме (рис.3) на машине МС 500 (рис. 4а) формировали брикеты диаметром 20 мм и высотой 7 мм с пористостью  $\approx 10\%$ . С целью получения образцов с требуемой исходной пористостью с помощью специального ограничителя задавался их размер по высоте заданной величины. Брикетирование осуществляли в стальной пресс-форме, боковые стенки которой для предотвращения задиров перед засыпкой порошка покрывали тонким слоем смеси мазута с графитом. Давление на образцы составляло 8-10 тонн.

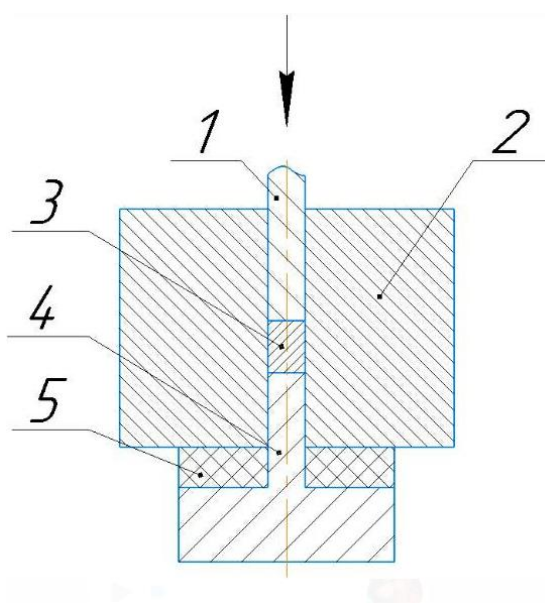


Рисунок 3 – Пресс-форма

где: 1-верхний пуансон; 4-нижний пуансон; 2- полный цилиндр; 5- опорный пятак; 3-образец

Объем сырых прессовок находили по формуле 2:

$$V = h \cdot \pi \cdot R^2 \quad (2)$$

где  $h$  – высота образца 7 мм,  $R$ - радиус образцов, равный 10 мм.

$$V_{(Al-9Si)-20Sn} = 7,02 \cdot 3,14 \cdot 10,05^2 = 2,226 \text{ см}^3$$

Масса прессовок до и после спекания определялась с помощью аналитических весов с точностью до 0,001 г., а их плотность - по формуле 3:

$$\rho_{теор.} = \frac{m}{V} \quad (3)$$

где  $V$ - объем образца.

$$\rho_{теор.} = \frac{6,05}{2,226} = 2,717$$

Пористость образцов определялась по формуле 4:

$$П = \left( \frac{\rho_{теор.} - \rho}{\rho_{теор.}} \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность образца после спекания, а  $\rho_{теор}$  – теоретическая плотность материала из порошковой смеси данного состава.

Тогда, расчет плотности для образцов (Al-9Si)-20Sn, имеет вид:

$$П = \left( \frac{3,05 - 2,717}{3,05} \right) \cdot 100\% = 10\%$$

Далее проводили нагревание образцов в вакууме не ниже  $10^{-2}$  Па в электропечи СНВЭ-1.3.1/16 (рис.4.6). Спекание брикетов проводили в 2 этапа: предварительная выдержка в течение 1 часа при 530°C и последующий нагрев до 570-590°C с выдержкой также 1 час.



а)



б)



в)

Рисунок 4 - Применяемое оборудование

а – Пресс машина МС-500; б - Электродпечь СНВЭ-1.3.1/16; в-  
Шлифовальная машина MECAPOL P 230

Шлифы для металлографических исследований КМ готовили путём шлифования секущей образец поверхности наждачной бумагой с убывающей зернистостью абразива, а затем полированием ее на сукне с нанесённой алмазной пастой. Шлифованную поверхность подвергали химическому

травлению в 4 % растворе азотной кислоты. Далее образец промывался в чистом спирте.

Размер образцов, сделанных для испытания на сжатие, составлял 5x5x10 мм. Сжатие осуществляли на универсальной испытательной машине Walter+Bai AG LFM-125 (рис. 5) с автоматической записью величины перемещения ползуна и соответствующей ей нагрузки. Скорость осадки образцов составляла 0,5 мм/мин.



Рисунок 5 - Испытательная машина Walter+Bai AG LFM-125

Для трибологических испытаний, которые проводили на триботестере фирмы «Tribotechnic» (France) (рис.6), использовались образцы таких же размеров, как и в случае испытания на сжатие, только их торец высотой около 3 мм стачивался до сечения 2x2 мм. В качестве контртела использовали диск из стали 40X, закаленный до твердости 45-47 HRC. Перед испытанием, поверхности образцов и контртела предварительно шлифовали

на наждачной бумаге с убывающим размером абразивных частиц, а затем полировали на сукне с алмазной пастой и протирали спиртом.

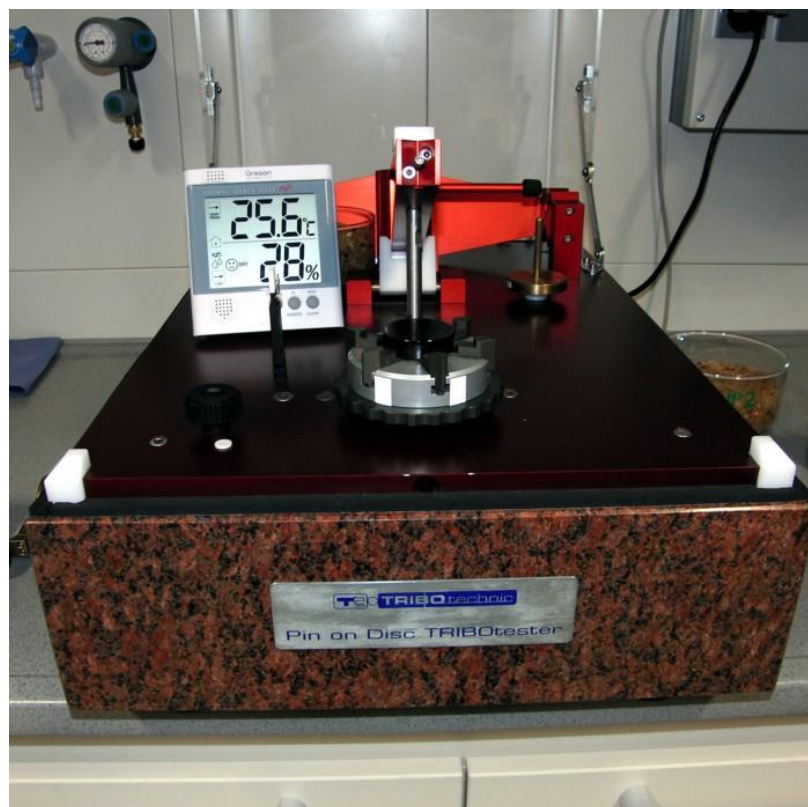


Рисунок 6 - Триботестер фирмы «Tribotechnic» (France)

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 7а приведена структура сырой прессовки (Al-9Si)–40Sn, из которой видно, что порошки олова относительно равномерно распределены по объёму прессовки между окружающими их алюминиевыми частицами. Тогда как мелкие частицы кремния распределены равномерно по объёму алюминиевых порошинок сплава Al-9Si (рис. 7б). Такое расположение частиц кремния указывает, что содержащие их порошки силуминового сплава получены при быстром охлаждении капель расплава в атмосфере охлаждаемого азота. Для получения качественного материала поры между частицами должны быть устранены, а границы их раздела характеризоваться прочными адгезионными связями.



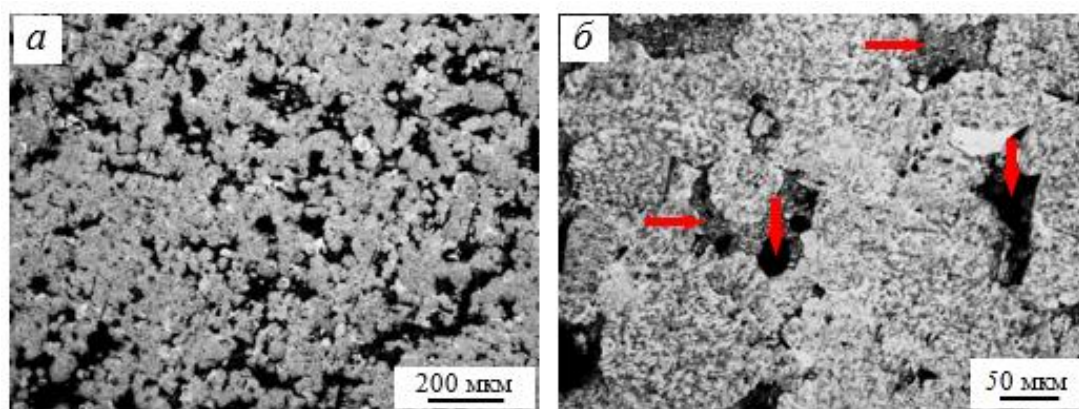


Рисунок 7 - Структура спрессованного порошкового брикета состава (Al-9Si)-40Sn при различных увеличениях. Вертикальными стрелками на рис.7б указаны поры, а горизонтальными – оловянные частицы.

Известно, что все три компонента (Al, Si и Sn) исследуемых композитов в твёрдом состоянии практически нерастворимы в друг друга. Однако двойные их диаграммы указывают, что при контакте компонентов в системе Sn-Al возможно формирование эвтектики (228 °C) между Al и его твёрдым раствором (~ 2 % ат.) в олове, а также эвтектика Al-11,7Si (577 °C) между твёрдым раствором кремния в алюминии (1,5 % ат.) и кремнием. Между кремнием и оловом существует вырожденная эвтектика, то есть, они практически не растворяются друг в друге.

Следовательно, при жидкофазном спекании порошковой прессы исследуемых составов условно следует различать два температурных интервала. Первый, до температуры 577 °C, когда в жидком олове может раствориться некоторое количество алюминия, а оставшиеся порошинки подвергнуться переукладке под влиянием капиллярных сил. Второй этап спекания может наблюдаться выше указанной температуры и характеризуется образованием дополнительного количества жидкой фазы внутри силуминовых порошинок.

На деле же порошки сплава Al-9Si покрыты оксидной плёнкой, которая жидким оловом практически не смачивается, поэтому при расплавлении олово распространиться по прессовке не может. Правда, такая плёнка

хрупкая и легко растрескивается при прессовании Al порошков и изменении их формы. При нагревании порошинки расширяются, трещины становятся больше, и в них может проникать жидкое олово. Далее оно может распространяться по границам зёрен в алюминиевой порошинке из-за более высокой их растворимости в олове как мест с повышенной поверхностной энергией. Именно такой способ его распространения наблюдался в работе [27] при жидкофазном спекании порошков алюминия и олова.

Однако при низких температурах олово плохо смачивает алюминий, поэтому капиллярные силы, под действием которых возможна более плотная переукладка алюминиевых частиц, очень малы. Пористость таких прессовок после спекания остаётся высокой, а соединения порошинок на стыках – слабыми. Быстрое снижение угла смачивания алюминия жидким оловом начинается при температуре выше 600 °C [28]. Однако при температуре выше 577 °C в системе Al-Si появляется жидкость, и поскольку состав алюминиевой матрицы (Al-9Si) близок к эвтектическому, то объём жидкой фазы с ростом температуры быстро увеличивается. В результате нагрев прессовок (Al-9Si)–Sn выше 600 °C становится невозможным из-за потери ими формы вследствие образования большого количества жидкой фазы. Поэтому, спекание исследуемых композитов проводили при температурах 570-590 °C, при которых угол смачивания алюминия расплавом олова становится меньше, а в образце ещё присутствует достаточное количество твердой фазы, обеспечивающее сохранение образцами исходной формы.

Согласно предыдущим исследованиям [27], для растекания олова по прессовке вдоль границ зёрен алюминиевых порошков требуется около 1 часа. Однако если прессовки быстро нагреть выше 577 °C, то выдерживать их такое время, дожидаясь равномерного распределения олова не получается. Появление эвтектической жидкости внутри алюминиевых порошинок приводит к их разблокировке. Жёсткий каркас из частиц ослабляется, и олово, которое не успело растечься по границам зёрен, выдавливается на поверхность прессовок, то есть, выпотеваает и безвозвратно теряется.

Поэтому спекаемые брикеты подвергали предварительной выдержке при более низкой температуре (530 °С) в течение часа, чтобы дать возможность олову распространиться по прессовке и избежать значительного его выпотевания.

На рис. 8 приведена структура спеченного при доэвтектической температуре 570°С композита (Al-9Si)–40Sn после его предварительной выдержки при 530 °С. Видно, что результирующая структура сильно отличается от исходной. Не только олово распространилось по прессовке, но и частицы кремния заметно подросли. Дело в том, что при высоких предплавильных температурах диффузия атомов кремния в алюминии сильно ускоряется. В результате образующие эвтектику мелкие частицы Si коагулируют в более крупные, расположенные на границах зёрен. Когда на такие границы проникает жидкое олово, то частицы кремния оказываются на межфазных границах Al-Sn (рис. 8б). Если содержание олова в прессовке понизить, то таких межфазных границ с частицами кремния образуется меньше (рис. 9б).

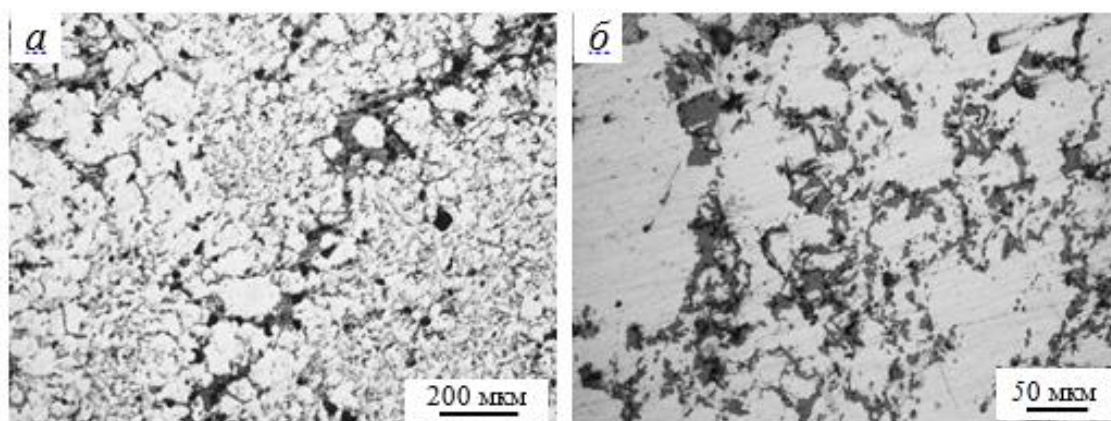


Рисунок 8 - Структура композита (Al-9Si)–40Sn после спекания (570 °С; 1ч) при различных увеличениях.

С появлением небольшого количества жидкого алюминия при 580 °С процессы коагуляции кремниевых частиц несколько ускоряются. При этом за счёт растворения-осаждения атомов кремния через жидкую фазу форма их становится более округлой (рис. 9в, г). Наконец, при 590 °С, когда жидкой



фазы много, большая часть частиц кремния растворяется в жидкости, а оставшиеся принимают округлый вид. При кристаллизации из пересыщенного Al расплава выпадают мелкие округлые частицы кремния. В тех областях матрицы, которые в процессе спекания оставались твёрдыми, частиц кремния практически не выявляется (рис. 9д, е).

Особенности распределения олова по объему композитов хорошо видны на приведенных РЭМ изображениях (рис. 10). Видно, что оловянные прослойки расположены по границам порошинок сплава Al-9Si в виде трехмерной сетки. При малом содержании олова в случае композита (Al-9Si)–20Sn такие прослойки относительно тонкие, а расстояние между ними небольшое. При этом видно, что связанность алюминиевого каркаса остается довольно высокой.

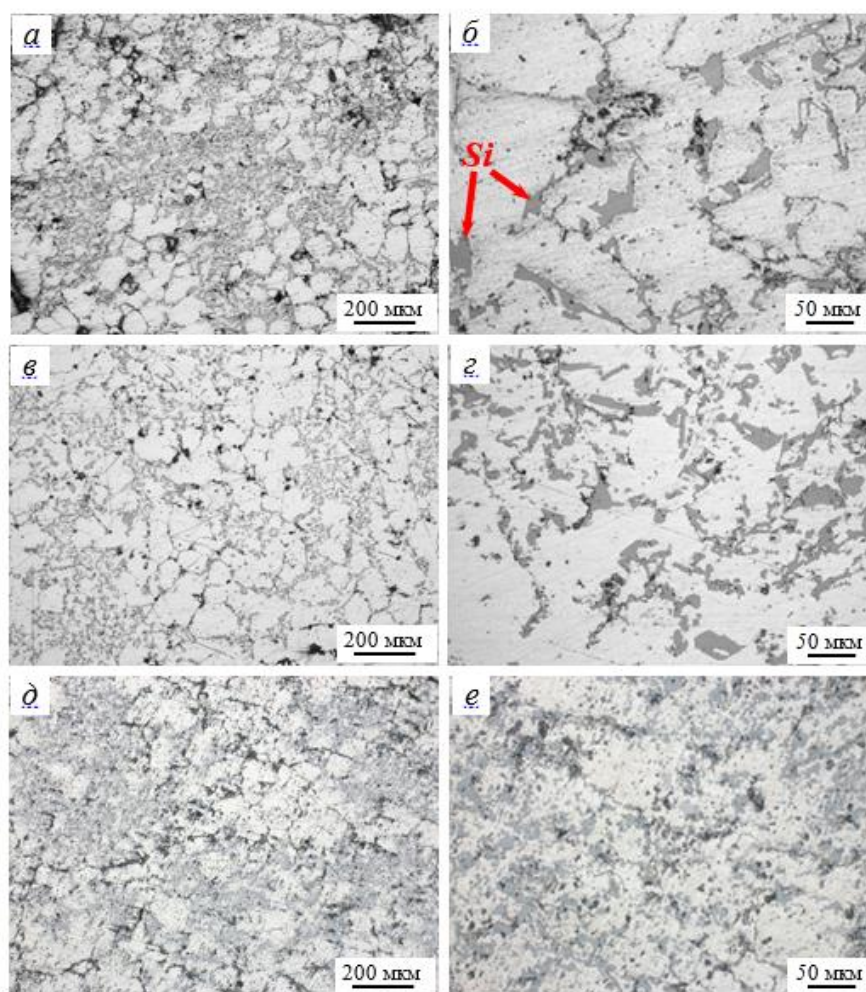


Рисунок 9 - Структура спеченного композита (Al-9Si)–20Sn, подвергнутого последующему горячему доуплотнению. Температура спекания: а, б – 570 °С; в, г – 580 °С; д, е – 590 °С. Время выдержки – 1ч.

В случае композита (Al-9Si)–40Sn оловянные прослойки становятся более толстыми, а связанность алюминиевой матрицы заметно снижается. В результате значительное количество алюминиевых частиц оказывается изолированным от остальных, толстыми включениями олова (рис. 10б). В процессе деформирования материала с такой структурой возникает локализация деформации в оловянных прослойках, что приводит к преждевременному разрушению композита. Из табл. 3 видно, что пластичность (относительное удлинение) спеченного при 570 °С композита (Al-9Si)–40Sn заметно уступает образцу (Al-9Si)–20Sn, полученному при тех же условиях спекания.

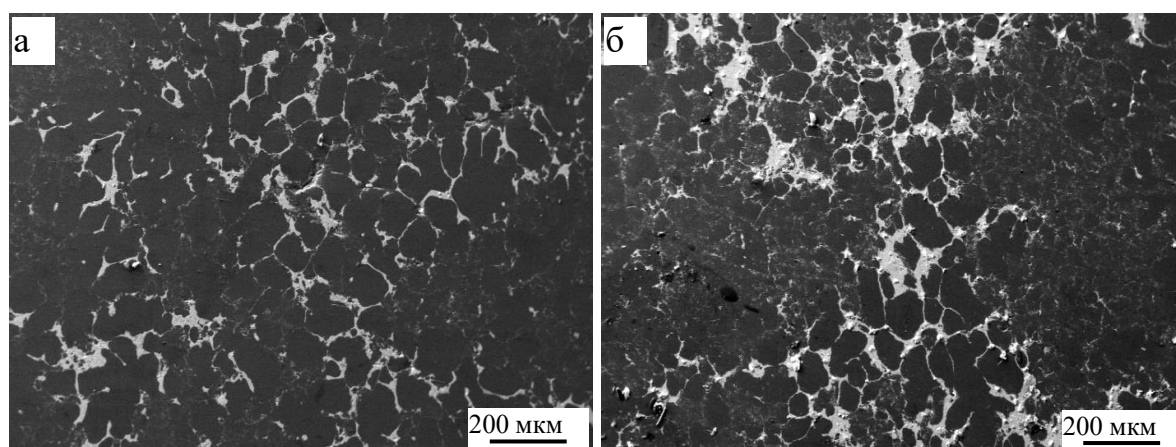


Рисунок 10 - РЭМ изображение структуры спеченных композитов (Al-9Si)–20Sn (а) и (Al-9Si)–40Sn (б).

Температура спекания – 570 °С; время выдержки – 1 ч.

Таблица 3 - Влияние режима спекания и последующего горячего доуплотнения на механические свойства при испытании на сжатие композитов (Al-9Si)-Sn.

Композит	Режим получения	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\sigma_2$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
<i>(Al-9Si)-40Sn</i>	(570 °C;1 ч)	55	71	75	6,8
	(570 °C;1 ч) + ГД 250 °C	83	110	117	18
	(580 °C;1 ч)	47	66	68	3,8
	(590 °C;1 ч)	52	68	73	6,7
<i>(Al-9Si)-20Sn</i>	(570 °C;1 ч)	58	78	97	18
	(570 °C;1 ч) + ГД 250 °C	100	131	145	> 20
	(580 °C;1 ч)	-	-	-	-
	(590 °C;1 ч)	-	-	-	-
	(590 °C;1 ч) + ГД 250 °C	101	120	123	4,5
<i>(Al-12Si)-20Sn</i>	(570 °C;2 ч) + ГД 250 °C	109	138	153	> 20
<i>Al-12Si</i>	(570 °C;2 ч) + ГД 250 °C	152	176	184	14,5
<i>Al--20Sn</i>	(600 °C;1 ч) + ГД 250 °C	66	80	102	> 20

Пористость подвергнутых только предварительной выдержке при 530 °C в течение часа композитов (Al-9Si)–Sn даже немного выше, чем у сырых прессовок (табл. 4). Это указывает на неразвитость процессов усадки в порошковых брикетах. Дело в том, что растворимость алюминия в олове при данной температуре мала, и количество присутствующей жидкой фазы определяется объёмной долей олова. К тому же угол смачивания ею алюминия большой, в результате чего расплав плохо растекается по объёму

прессовки. Основным способом его распространения остаётся проникновение по границам зёрен. Проникающее по границам алюминиевых частиц жидкое олово действует как гидравлический клин и увеличивает их объем. Поскольку частицы образуют каркас, то это приводит к его раздвижению, а, следовательно, и увеличению пористости образца. При невысоких температурах скорость процесса перекристаллизации атомов Al через жидкую фазу маленькая, поэтому переукладка твердых частиц под действием капиллярных сил развивается не в полной мере. В результате, композиты (Al-9Si)-Sn, спеченные при 530 °С, обладали высокой пористостью и низкой прочностью.

Таблица 4 - Влияние режима спекания и последующего горячего доуплотнения на характеристики структуры композитов (Al-9Si)-Sn

Композит	Режим получения	Теоретическая плотность	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %
<i>(Al-9Si)-40Sn</i>	(570 °С;1 ч)	3,55	3,3	7
	(570 °С;1 ч) + ГД 250 °С		3,58	-
	(580 °С;1 ч)		3,22	9,3
	(590 °С;1 ч)		3,29	7,3
<i>(Al-9Si)-20Sn</i>	(530 °С;1 ч)	3,04	2,5	14,8
	(570 °С;1 ч)		2,75	9,5
	(570 °С;1 ч) + ГД 250 °С		3,06	-
	(580 °С;1 ч)		2,63	13,5
	(590 °С;1 ч)		2,71	10,9
	(590 °С;1 ч) + ГД 250 °С		3,02	0,66

\* Исходная пористость: (Al-9Si)-20Sn: 11-13 %; (Al-9Si)-40Sn: 10-11 %

Для её снижения потребовались более высокие температуры спекания. Так, например, при температуре спекания 570 °С угол смачивания алюминия жидким оловом заметно снижается [28], растворимость алюминия в расплаве возрастает, а процессы перекристаллизации его атомов протекают быстрее. Частицы алюминия выходят из зацепления, и под действием капиллярных сил происходит их переукладка в более плотную конфигурацию. Пористость образцов снижается и становится меньше исходной (табл. 4).

В случае нагрева исследуемых образцов выше эвтектической температуры в системе Al-Si образуется дополнительная жидкость. Однако усадка прессовок при этом немного меньше по сравнению с образцами, спеченными при температуре 570 °С. Вероятно, это связано с высвобождением растворённых в частицах силумина газов при их расплавлении. При этом выход высвободившихся газов на поверхность прессовки затруднён из-за заполнения поровых каналов жидкой фазой.

В табл. 3 также приведены данные по механическим свойствам спечённых композитов. Видно, что температура спекания в интервале 570-590 °С оказывает заметное влияние, не только на пористость, но и на механические свойства исследуемых материалов. Так, спеченный при 570 °С композит (Al-9Si)-40Sn обладал более высокой прочностью и пластичностью по сравнению с образцами того же состава, спеченными при более высоких температурах (580 и 590 °С). Этот факт, судя по всему, связан с образованием газовой пористости. Из фотографий на рис. 9 видно, что в спечённых при температурах > 577 °С образцах такие поры ассоциируются с частицами кремния. С появлением эвтектического жидкого алюминия частицы кремния уменьшаются, но их становится больше, а расстояние между ними укорачивается. Соответственно, укорачивается расстояние между порами как источниками концентраторов напряжений и местами зарождения трещин, а пластичность и несущая способность материала снижается.

Из табл. 4 видно, что устранить поры простым спеканием не получается, их доля остаётся высокой (более 7 %). Поэтому с целью их устранения, а также получения более качественных межфазных границ, спеченные композиты (Al-9Si)–Sn подвергались последующему горячему доуплотнению в исходной пресс-форме диаметром 20 мм при давлении более 300 МПа. Температура доуплотнения составляла 250 °С, которая, согласно предварительным исследованиям, являлась оптимальной при деформировании композитов с матрицей эвтектического состава (Al-12Si)–Sn.

Из сравнения рис. 11 и 8 видно, что значительных изменений в структуре композита (Al-9Si)–40Sn после его допрессовки не происходит. Правда, в результате прослойки олова стали немного тоньше. Из табл. 3 также следует, что в результате горячего доуплотнения плотность исследуемых композитов заметно увеличилась и стала близкой к теоретической.

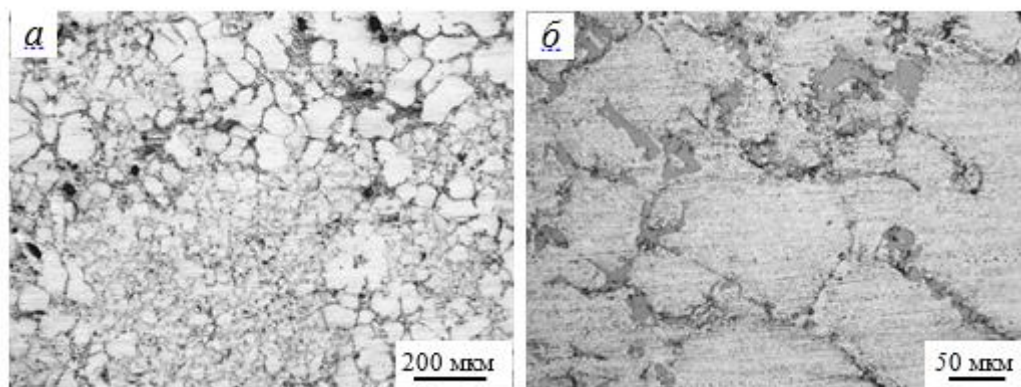


Рисунок 11 - Структура спеченного композита (Al-9Si)–40Sn после последующего горячего доуплотнения (250 °С) при различных увеличениях.

Режим спекания: 570 °С; 1ч

Испытания образцов на сжатие показали, что их уплотнение и указанные структурные изменения положительно сказались на механических свойствах композитов. Из табл. 3 видно, что пределы текучести и прочности

на сжатие обработанных давлением образцов выросли более чем в 1,5 раз. Пластичность композитов также заметно улучшилась.

Данные изменения можно более наглядно увидеть из приведенных на рис. 12 кривых сжатия. Видно, что кривые допрессованных образцов располагаются намного выше, чем в случае спечённых. Причём кривая сжатия композита (Al-9Si)–20Sn лежит выше в среднем на 20-30 МПа по сравнению с соответствующей кривой композита (Al-9Si)–40Sn, что естественно ввиду наличия в нем значительно меньшего количества мягкой оловянной фазы. При этом кривые практически параллельны друг другу, что говорит об относительно равномерном распределении деформации по объему образцов в процессе их сжатия.

Установлено также (табл. 3), что в случае допрессованного композита (Al-9Si)–20Sn, предварительно спеченный при 570 °С образец обладает более высокой прочностью и заметно лучшей пластичностью по сравнению с образцом, полученным при 590 °С. Поскольку после доуплотнения плотность обоих образцов близка к теоретической, и поры практически отсутствуют, то существенная разница в механических свойствах объясняется особенностями распределения кремния. Как было отмечено выше, в случае наличия небольшого числа крупных частиц Si, характерных для спеченного при 570 °С композита, расстояние между ними большое. При разрушении таких частиц слияние соседних трещин через толстую пластичную прослойку алюминия затруднено, что, в целом, приводит к менее интенсивному разрушению такого образца при деформации.

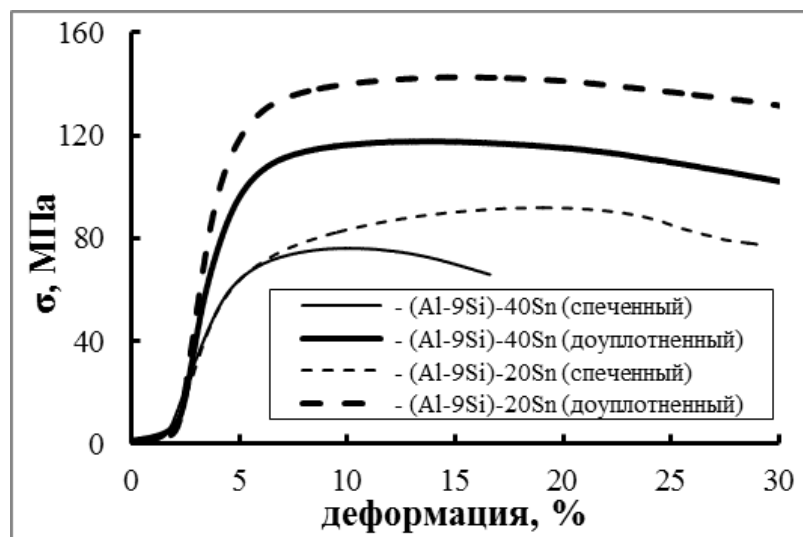


Рисунок 12 - Кривые сжатия спеченных (570 °С;1 ч) и подвергнутых последующему горячему доуплотнению (250 °С) композитов (Al-9Si)-Sn

В табл. 5 приведены результаты трибологических испытаний исследуемых композитов при сухом трении по стали. Видно, что интенсивность изнашивания всех испытанных композитов (Al-9Si)-Sn возрастала с ростом давления на поверхность трения. При этом коэффициент трения ( $\mu$ ), приведенный в качестве примера для спеченного при 570 °С образца (Al-9Si)-40Sn, снижался с ростом давления и был ниже, чем в случае спеченного силумина Al-12Si. Отметим, что в случае спеченных двухфазных композитов Al-Sn также наблюдалось снижение величины  $\mu$  с ростом нагрузки на поверхность трения.



Таблица 5 - Интенсивность изнашивания спеченных и подвергнутых последующему горячему доуплотнению композитов (Al-9Si)-Sn при сухом трении по стали. Скорость скольжения  $V = 0,6$  м/с

Композит	Режим получения	Интенсивность изнашивания (мкм/м)			
		1 МПа	3 МПа	4 МПа	5 МПа
<i>(Al-9Si)-40Sn</i>	(570 °C; 1 ч)	<u>0,25</u> 0,50	<u>0,41</u> 0,43	<u>0,49</u> 0,33	<u>0,59</u> 0,28
	(570 °C; 1 ч) + ГД 250 °C	0,14	0,24	0,33	0,36
	(590 °C; 1 ч)	0,21	0,32	0,55	разрушился
<i>(Al-9Si)-20Sn</i>	(570 °C; 1 ч)	0,13	0,21	0,30	0,41
	<b>(570 °C; 1 ч) + ГД 250 °C</b>	<b>0,11</b>	<b>0,16</b>	<b>0,26</b>	<b>0,30</b>
	(590 °C; 1 ч) + ГД 250 °C	0,18	0,28	0,34	0,38
<i>Al-12Si</i>	(570 °C; 2 ч) + ГД 250 °C	<u>0,17</u> 0,60	<u>0,26</u> 0,51	<u>0,33</u> 0,42	<u>0,51</u> 0,35
<i>Al-20Sn</i>	(600 °C; 1 ч) + ГД 250 °C	0,13	0,24	-	0,36
<i>(Al-12Si)-20Sn</i>	(570 °C; 1 ч) + ГД 250 °C	0,13	0,20	-	0,30

\* В знаменателе приведены значения коэффициента трения

Из приведенных в табл. 5 данных также видно, что обработка спеченных композитов методом горячего доуплотнения положительно сказалась не только на их механических свойствах, но и на износостойкости при сухом трении. В результате такой обработки, в зависимости от прикладываемого давления интенсивность изнашивания композита (Al-9Si)–40Sn (570 °C; 1ч) снижалась в 1,5-1,8 раз. В случае образца (Al-9Si)–20Sn (570 °C; 1ч) снижение интенсивности его изнашивания после обработки было менее значительным и сильно зависело от величины внешнего давления. Так, ее значение снизилось всего на 15 % при давлении на поверхность трения 1 МПа, тогда как при высоком давлении 5 МПа снижение величины  $I_h$  было заметнее и составило около 27 %. При этом композит (Al-9Si)–20Sn после доуплотнения обладал более высокой износостойкостью по сравнению с уплотнённым образцом (Al-9Si)–40Sn на всем интервале исследуемых нагрузок.

Данный результат, если его сравнивать с результатом испытаний двухфазных спеченных композитов Al-Sn, противоположен в том смысле, что износостойкость двухфазных сплавов возрастала по мере повышения содержания в них олова вплоть до 40 вес. % Sn [29]. То есть в случае силуминовой матрицы (Al-9Si) оптимальное количество олова смещается в сторону меньшей его концентрации. Данное отличие, видимо, связано с наличием в композите (Al-9Si)–40Sn множества областей с матрицей, дезинтегрированной толстой сеткой оловянных включений. Отсутствие прочных связей между зёрнами алюминиевой матрицы способствует локализации деформации в испытываемом образце и преждевременному его разрушению в процессе трения. Тогда как в случае двухфазного композита Al-40Sn высокая связанность алюминиевого каркаса и его повышенная пластичность сохраняется, что благоприятно сказывается на его сопротивлении изнашиванию при сухом трении.

В нашем случае, в композите (Al-9Si)–20Sn сохраняется более высокая связанность матричного каркаса, по сравнению с образцом с 40 вес.% Sn (рис. 10). При этом образцы (Al-9Si)–20Sn и (Al-9Si)–40Sn, спеченные при 570 °С, обладали более высокой износостойкостью при сухом трении по стали по сравнению со спеченными при более высоких температурах материалами (табл. 5). Как было отмечено выше, при данной температуре частиц кремния, а, следовательно, и источников возникновения трещин меньше, а среднее расстояние между ними больше. Как следствие, данные образцы по сравнению с композитами, спеченными при 580 °С и 590 °С, разрушаются менее интенсивно как при испытании на сжатие, так и в процессе сухого трения по стали, то есть, обладают более высокими трибомеханическими свойствами.

В табл. 3 и 5 также приведены сравнительные данные по механическим и трибологическим свойствам спеченных и подвергнутых последующему горячему доуплотнению при 250 °С двухфазного композита Al-20Sn, силумина эвтектического состава Al-12Si, а также композита с матрицей

эвтектического состава (Al-12Si)-20Sn. Видно, что наиболее прочный исследуемый композит (Al-9Si)-20Sn, спеченный при 570 °C и подвергнутый последующему доуплотнению, обладает гораздо более высокой прочностью по сравнению с двухфазным материалом Al-20Sn. При этом его прочностные характеристики близки к свойствам композита (Al-12Si)-20Sn эвтектического состава, содержащего большее количество твердых частиц Si, а пластичность данных материалов была большой и позволяла осаживать их до 20 % и более. Двухфазный силумин Al-12Si обладал наиболее высокой прочностью ( $\sigma_{\text{в}} = 184$  МПа), но при этом менее высокой пластичностью ( $\delta \approx 14,5$ ) по сравнению с образцами с матрицей из силумина, содержащими 20 % вес. Sn (табл. 3).

Из приведенных в табл. 5 данных видно, что композит (Al-9Si)-20Sn, полученный по оптимальному режиму спекания (570 °C; 1 ч) и подвергнутый последующему доуплотнению, не смотря на более низкую прочность обладал значительно меньшей интенсивностью изнашивания при сухом трении по стали по сравнению со спеченным силумином Al-12Si во всем исследуемом интервале давлений. Этот факт, вероятно, имел место за счет наличия в образце относительно большого количества мягкого олова и, как следствие, более высокой пластичности исследуемого композита и формирующегося в процессе трения поверхностного слоя. Исследуемый композит также обладал более высокой износостойкостью по сравнению со спеченным по оптимальному режиму и подвергнутым последующей допрессовке двухфазным Al-20Sn материалом. Поскольку количество твердой смазки у данных образцов одинаково (20 вес.%), то данный факт, вероятно, связан с более высокой прочностью и, соответственно, несущей способностью исследуемого композита (Al-9Si)-20Sn. Кроме того, частицы кремния могут выступать над поверхностью образца в процессе трения и способствовать формированию благоприятного рельефа поверхности трения.

Если сравнивать композит (Al-9Si)-20Sn с образцом (Al-12Si)-20Sn, обладающим матрицей эвтектического состава и полученным при тех же

оптимальных условиях, то при давлении 5 МПа величина их интенсивности изнашивания примерно одинакова, а при более низких давлениях исследуемый материал обладал меньшей интенсивностью изнашивания. Данный факт может быть связан с тем, что в нашем случае кремний расположен в основном на границах алюминиевых частиц и межфазных границах с оловом. Тогда как в образце (Al-12Si)-20Sn значительная часть частиц Si оказалась в олове, что способствовало снижению смазочной способности Sn и, соответственно, износостойкости композита.

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Привлекательность научного исследования определяется с одной стороны превышением технических параметров над уже разработанными техническими решениями и с другой стороны экономической выгодой проекта: востребованностью, ценой продукта, сроком выхода на рынок и др.

### **4.1 Предпроектный анализ**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

К основным сегментам научно – исследовательского проекта можно отнести предприятия для изготовления двигателей речного и морского флота, железнодорожного и автомобильного транспорта. Конечным продуктом, который будет реализован в данных сегментах, является изготовление антифрикционных подшипников. Изделие направлено для продажи скорее крупным производствам, где главным критериями сегментирования являются спрос и отрасли промышленности (выбираются два наиболее значимых для рынка). В связи с этим строится карта сегментирования рынка.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка

		Отрасли промышленности			
		Авиация	Электроника	Машиностроение	Химическая промышленность
Спрос	Низкий	-	+	-	-
	Средний	-	-	-	+
	Высокий	+	-	+	-

В данном примере показано, что спрос на данный материал может быть в различных областях промышленности. Видно, что на рынке по производству материала основная целевая аудитория – это авиация и машиностроение. Остальные же виды промышленности тоже заинтересованы в приобретении нового материала, но возможно не все свойства отвечают их требованиям. Из этого можно сделать вывод, что нам необходимо разработать материал, который бы заинтересовал те не занятые сегменты на рынке, т.е. рассмотреть все возможные комбинации и составы материала.

#### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурирующих разработок, необходимо проводить систематически, поскольку существующие рынки пребывают в постоянном движении. Данный вид анализа помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам.

В качестве основных конкурентов были выбраны следующие конкуренты:

Материал, разрабатываемый в рамках ВКР (в таблице «Б1»);

ОАО «Саратовский подшипниковый завод», (в таблице «Б2»);

Данный анализ был проведен с помощью, оценочной карты которая приведена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Износостойкость	0,2	4	3	0,8	0,8
2. Жаропрочность	0,25	3	3	0,75	0,75
3. Твердость	0,08	4	4	0,32	0,24
4. Прочность	0,07	4	4	0,28	0,28
5. Функциональность	0,04	4	3	0,16	0,16
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	5	3	0,45	0,45
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	3	3	0,09	0,15
3. Цена	0,08	4	5	0,32	0,32
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	4	4	0,36	0,36
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	4	0,35	0,28
Итого	1	40	36	3,88	3,79

Итогами данного анализа является выработка конкурентных преимуществ, которые помогут новому материалу найти внимание покупателей. При стандартном наборе определяющих свойств и механических характеристик, которые заинтересовали бы покупателя, таких как износостойкость, прочностью, стойкостью к ударным нагрузкам.

## 4.2 SWOT – анализ

SWOT - анализ — метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

Целью данного анализа является определение сильных и слабых сторон научного исследования, а также его потенциальных возможностей и угроз.

Данное исследование включает в себя изучение влияния режима спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру механические и трибологические свойства композитов (Al-9Si)-Sn. Матрица SWOT приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Простое в сборке и обслуживании оборудование.</p> <p>С2. Квалифицированная проектная команда.</p> <p>С3. Наличие оборудования и материалов для исследования.</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С5. Наличие квалифицированного персонала у потенциальных потребителей.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Работа с мелкодисперсными порошками требует наличие вентиляционной системы.</p> <p>Сл2. Необходимость применения СИЗ в процессе работы.</p> <p>Сл. Закупка сырья и оборудования.</p> <p>Сл4. Длительный срок поставки сырья.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Использование инфраструктуры ИФПМ СО РАН г. Томск</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на технологию.</p>	<p>При использовании инновационной инфраструктуры ТПУ, также инфраструктуру ИФПМ СО РАН можно упростить процессы обработки данных, полученных после экспериментов.</p>	<p>Появление спроса на новый продукт может быть увеличен за счет ее технологических возможностей. Если использовать инновационную инфраструктуру и необходимое оборудование для проведения испытаний опытных образцов в ИФПМ СО РАН, то появится возможность избавиться от недостатка финансовых средств.</p>



Продолжение таблицы 4.3

<b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие спроса на технологии производства.  У2. Ограничения на экспорт технологии.  У3. Развитая конкуренция технологий производства.  У4. Возможный рост стоимости сырья.  У5. Отсутствие финансирования со стороны государства.	На сегодняшний день существует широкий спектр разных методов исследований, которые применяются в других научных организациях. За счет этого может возникнуть проблема получения сплава с наиболее лучшими свойствами.	Отсутствие спроса на новые технологии, могут ограничить поступление финансовых средств.
Примечание: С – сильные стороны, Сл– слабые стороны, В– возможности, У – угрозы.		

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта

Возможности (О)	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	-	+	-
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	B1	-	-	-	-	
	B2	-	-	+	+	
	B3	+	+	+	+	
Угрозы (Т)	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	+	+	+
	У2	-	-	-	-	-
	У3	+	+	-	-	-
	У4	-	-	-	+	-
	У5	-	+	-	+	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	У1	+	+	+	+	
	У2	-	-	+	+	
	У3	+	+	+	-	
	У4	-	-	+	+	
	У5	+	+	+	-	

На основе SWOT-анализа можно сделать выводы, о том, что данное научное исследование обладает весомыми сильными сторонами, такими как наличие бюджетного финансирования, наличие коллектива с высоким научным потенциалом. К недостаткам же можно отнести работу с мелкодисперсными порошками. Главной возможностью метода, применяемого в научном исследовании, является появление дополнительного спроса, поскольку предполагается улучшение свойств изделий. Также возможны значительные угрозы в виде отсутствия финансирования, роста стоимости сырья, а также его времени доставки.

### 4.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

При коммерциализации научно-технических разработок мы преследуем вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Выбирая метод коммерциализации объекта исследования необходимо сохранить технологию изготовления и соотношения материалов в тайне. Для того чтобы в дальнейшем конкуренты не производили наш материал.

Таблица 4.5 – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4

Продолжение таблицы 4.5

3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>55</b>	<b>56</b>

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации определяется как суммарное количество баллов по каждому направлению. Это значение позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так для нашего исследования данные

значения попадают в диапазон от 59 до 45 – то перспективность нашего исследования можно считать выше среднего. Для повышения перспективности этого проекта необходимо проработать каждый пункт, особое внимание уделить определению пути продвижения научной разработки на рынок и разработать стратегию реализации научной разработки.

#### **4.4 Методы коммерциализации результатов научно – технического исследования**

При коммерциализации научно-технических разработок мы преследуем вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Выбирая метода коммерциализации объекта исследования необходимо сохранить технологию изготовления и соотношения материалов в тайне. Для того чтобы в дальнейшем конкуренты не производить наш материал.

При разработке материала можно использовать следующие методы коммерциализации научных разработок:

1. Торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. Таким образом мы сможем избежать появления конкурентов.
2. Инжиниринг как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных в данном случае с изготовлением изделия с заданными параметрами материала и вводом объекта в эксплуатацию.

## 4.5 Инициация проекта

Цели и результат проекта – получить композит на основе порошков сплава (Al-9Si) и добавки в него порошков чистого олова (Sn) с весовой пропорцией 60:40 и 80:20. Результатом будет представлено исследование его структуры и физико-механических свойств.

Таблица 4.6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Лаборатория ИФПМ СО РАН	Улучшить свойства сплава (Al-9Si)Sn (для применения в машиностроении)

Таблица 4.7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Получить трехкомпонентный композит.
Ожидаемые результаты проекта:	Полученный композит отвечает всем техническим параметрам, указанным ранее.
Критерии приемки результата проекта:	Основными критериями приемки проекта послужит исследовательская часть ВКР, где представлены основные параметры материала.
Требования к результату проекта:	Увеличение эксплуатационных характеристик материала за счет добавок в него олова.

## 4.6 Организационная структура проекта

Таблица 4.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Хорошилова Н.И., студент	Дипломник	Исполнитель проекта	366
2	Скоренцев А.Л., н.с	Научный руководитель	Руководитель проекта	95

## 4.7 Планирование управления научно-техническим проектом

### 4.7.1 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определены ключевые события проекта, их даты и результаты. Эта информация представлена в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – План проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка ТЗ для ВКР	01.03.2020	
2	Составление и утверждение технического задания	02.03.2020- 03.03.2020	Приказ о защитах ВКР
3	Выбор направления исследования способов решения задач	04.03.2020- 12.03.2020	
4	Сбор и изучение научно- технической литературы	13.03.2020- 30.03.2020	Список литературы
5	Теоретические и экспериментальные исследования	31.03.2020- 20.04.2020	
6	Разработка экспериментальной установки и методики экспериментальных исследований	21.04.2020- 29.04.2020	Методика исследований
7	Проведение экспериментальных исследований	30.04.2020- 09.05.2020	Лабораторный журнал
8	Анализ и обработка полученных результатов	10.05.2020- 21.05.2020	Научные результаты

Продолжение таблицы 4.9

9	Обобщение и оценка эффективности полученных результатов	22.05.2020-31.05.2020	
10	Оформление пояснительной записки	01.06.2020-07.06.2020	Магистерская диссертация
11	Защита ВКР	08.06.2020-20.06.2020	

### 4.7.2 План проекта

В рамках планирования выпускной квалификационной работы построен календарный график работы, который представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Календарный план проекта

Код работ	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка ТЗ для ВКР	1	01.03	01.03	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	02.03	03.03	Руководитель
3	Выбор направления исследования и способов решения задач	8	04.03	12.03	Дипломник
4	Сбор и изучение научно-технической литературы	17	13.03	30.03	Дипломник
5	Теоретические и экспериментальные исследования	20	31.03	20.04	Руководитель, Дипломник
6	Разработка экспериментальной установки и методики экспериментальных исследований	8	21.04	29.04	Руководитель, Дипломник
7	Проведение экспериментальных исследований	10	30.04	09.05	Руководитель, Дипломник
8	Анализ и обработка полученных результатов	11	10.05	21.05	Руководитель, Дипломник

Продолжение таблицы 4.10

9	Обобщение и оценка эффективности полученных результатов	8	22.05	31.05	Руководитель, Дипломник
10	Оформление пояснительной записки	6	01.06	07.06	Дипломник
11	Защита ВКР	13	08.06	20.06	Дипломник
Итого, дн.		Руководитель		Дипломник	
		39,5		68,5	

#### 4.8 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Составление сметы научного исследования является необходимым условием. Она должна отражать все расходы, связанные с выполнением данного исследования. В процессе формирования бюджета НИ используется следующая группировка затрат по статьям: 1) сырье, материалы; 2) амортизация; 3) электроэнергия; 4) полная заработная плата; 5) дополнительная заработная плата; 6) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления); 7) накладные расходы.

Таблица 4.12 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
1.	3262	212000	52810	7920	18219	18094	312305



## 1) Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам.

Таблица 4.13 – Расчет затрат по статье «Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты»

Наименование	Количество	Цена кг, руб	Расход	Затраты, руб.
Порошок алюминиевый АСД - 4	1 кг	2300	0,5 г	1150
Порошок алюминиевый ПА -4	1 кг	1000	0,5 г	500
Порошок олова ПО - 2	1 кг	4000	0,3 г	1200
Спирт	1 л	57	1 л	57
Раствор HNO <sub>3</sub>	1 л	200	1 л	200
Всего за материалы				3107
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				155
Итого по статье С <sub>м</sub>				3262

## 2) Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = (Ц \cdot F_{\phi}) / (F_n \cdot F_{cc}), \quad (4.1)$$

где Ц – цена оборудования, руб.;

F<sub>n</sub> – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;

F<sub>cc</sub> – срок службы оборудования, год;

F<sub>ф</sub> – фактическое время занятости оборудования, ч.

F<sub>n</sub> = 110 дней = 2640 ч. Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 4.14.

**Таблица 4.14 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»**

№ п/п	Наименование оборудования	Общая стоимость, Ц, руб	Срок службы оборудования, Fсс, год	Фактическое время использования, Fф, ч	Общие затраты, Зоб, руб.
1.	Пресс – машина MC - 500	95000	10	500	1800
2.	Испытательная машина Walter + Bai AG LFM - 125	15000000	20	400	114000
3.	Электропечь СНВЭ – 1.3.1/16	3500000	10	300	40000
4.	Оптический микроскоп АЛЬТАМИ MET 1M	2582000	10	350	34300
5.	Оптический микроскоп AXIOVERT	1486000	10	250	15000
6.	Шлиф.станок МЕСАPOL P 230	100000	5	600	5000
7.	Триботестер «Tribotechnic»	200000	5	240	3700
Итого по статье С <sub>обор.</sub>					212000

#### **4.8.1 Полная заработная плата исполнителей исследования**

Величина расходов на заработную плату определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.2)$$

где  $Z_{\text{осн}}$ - основная заработная плата;  $Z_{\text{доп}}$ - дополнительная заработная плата (12-15 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) исполнителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.3)$$

где  $Z_{\text{осн}}$ - основная заработная плата одного работника;

$T_p$  -продолжительность работ, выполняемых работником, раб. д.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m + M}{F_d}, \quad (4.4)$$

где  $F_d$  – количество рабочих дней в месяце раб. д.;

$Z_m$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течении года: при отпуске в 24 рабочих дня  $M=11.2$  месяца, 5 – дневная неделя.

Таблица 4.15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней (выходные и праздничные дни)	118	118
Потери рабочего времени (отпуск)	24	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	224	224

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.5)$$

где  $З_{\text{б}}$  – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 4.16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{б}}$ , руб.	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$ , руб.	$З_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб.дн.	$З_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	14584	1,3	18959	903	19	17157
Дипломник	5707		7419	353	101	35653

#### 4.8.2 Дополнительная заработная плата исполнителей исследования

Расчет дополнительной заработной платы проводится по формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (4.6)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент заработной платы (0,15);

Расчет заработной платы равен:

$$З_{\text{зн}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (4.7)$$

Таблица 4.17 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата	$k_{\text{доп.}}$	Дополнительная заработная плата, руб.	Заработная плата, руб.
Руководитель	17157	0,15	2573	19730
Дипломник	35653		5347	41000

#### 4.8.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данном пункте отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.8)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

В 2020 установлен размер страховых взносов – 30%. Отчисления во внебюджетные фонды составят:

Таблица 4.18 – Отчисления на социальные нужды

Исполнитель	$k_{\text{внеб}}, \%$	Заработная плата, руб.	Страховые взносы, руб.
Руководитель	30	19730	5919
Дипломник		41000	12300
Итого, руб		18219	

#### 4.8.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумм. статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.9)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 80%.

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}) \cdot 80\%, \quad (4.10)$$

Таким образом, величина равняется 18094 рублей.

## 4.9 Организационная структура проекта

Таблица 4.19 –Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

Вывод: на основе проведенного анализа выбора организационной структуры научного проекта, было выявлено, что наиболее выгодной является проектная структура.

#### 4.10 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 4.20 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Недостаточные физико-механические свойства материала	Недостаточные антифрикционные свойства	1	5	Средний	Повышение качества материала	При высоких ударных нагрузках
2	Недостаточное финансирование	Увеличение сроков сдачи проекта, прекращение исследования	1	3	Низкий	Получение дополнительных грантов на исследование	Изменение политики предприятия в отношении данного исследования

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

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков (cashflow). Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);

- срок окупаемости (DPP)

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0, \quad (4.11)$$

где:  $ЧДП_{опt}$  – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

$I_0$  – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

$t$  – номер шага расчета ( $t = 0, 1, 2 \dots n$ )

$n$  – горизонт расчета;

$i$  – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если  $NPV > 0$ , то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 6.22. При расчете рентабельность проекта составляла 20 %, норма амортизации - 10 %.

Бюджет проекта = 312305 руб.



Таблица 4.21 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	374766	374766	37466	374766
2	Итого приток, руб.	0	374766	374766	37466	374766
3	Инвестиционные издержки, руб.	-312305	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	250393	250393	250393	250393
5	Налогооблагаемая прибыль	0	124373	124373	124373	124373
6	Налоги 20 %, руб.	0	24874	24874	24874	24874
7	Итого отток, руб.	-312305	250393	250393	250393	250393
8	Чистая прибыль, руб.	0	99499	99499	99499	99499
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-312305	311499	311499	311499	311499
10	Коэффициент дисконтирования (КД)	1	0,833333	0,694444	0,578704	0,482253
11	Чистый дисконтированный доход (ЧДД), руб.	-312305	259582	216318	180265	150221
12	$\sum \text{ЧДД}$	806386				
12	Итого NPV, руб.	494081				

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$\text{КД} = \frac{1}{(1+i)^t}, \quad (4.12)$$

где:  $i$  – ставка дисконтирования, 20 %;

$t$  – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 494081 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (4.13)$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, млн. руб.;

$I_0$  – начальный инвестиционный капитал, млн. руб.

$$PI = 806386 / 312305 = 2.58$$

Так как  $PI > 1$ , то проект является эффективным.

Значение ставки, при которой **NPV** обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или **IRR**. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или **NPV=0**. По разности между **IRR** и ставкой дисконтирования  $i$  можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе **IRR** к ставке дисконтирования  $i$ , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{ont}}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t}, \quad (4.14)$$

Между чистой текущей стоимостью (**NPV**) и ставкой дисконтирования ( $i$ ) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 4.22 и на рисунке 1.

Таблица 4.22 - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-312305	311499	311499	311499	311499	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный доход, руб.						
	0,1	-312305	283152	257298	233935	212753	674833
	0,2	-312305	259478	216180	180046	150142	493541
	0,3	-312305	239542	184407	141732	109024	362400
	0,4	-312305	222410	158864	113385	80989	263343
	0,5	-312305	207769	138305	91892	61676	187337
	0,6	-312305	194686	121484	76005	47659	127529
	0,7	-312305	183161	104352	63234	34887	73329
	0,8	-312305	173193	96253	53266	29592	39999
	0,9	-312305	163848	86285	45478	23985	7291
	1,0	-312305	155749	77874	38937	19312	-20433

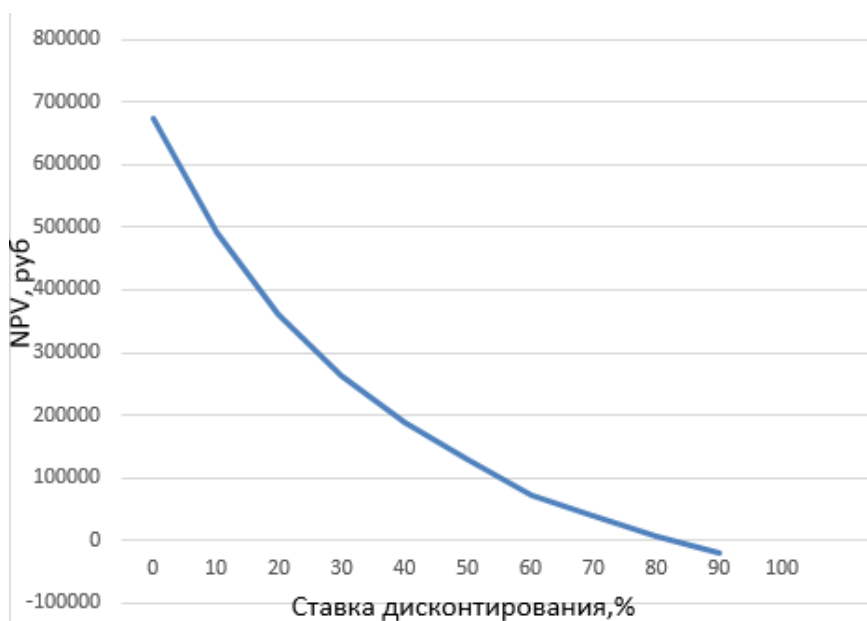


Рисунок 1 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,8.

Запас экономической прочности проекта:  $95\%-20\%=75\%$ .

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.23).

Таблица 4.23 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный денежный доход ( $i=0,20$ ), руб.	-312305	259582	216318	180265	150221
2	То же нарастающим итогом, руб.	-312305	52723	163595	16670	133551
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = 1 + (52723/216318) = 1.24$ года				

Социальная эффективность научного проекта (таблица 4.24) учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 4.24 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Схватывание алюминия с твердым контртелом при трении	Увеличение срока службы изделия, за счет добавления в сплав олова, способным размазываться при трении тонким слоем, предотвращающим схватывание

#### 4.12 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.15)$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.16)$$

где:  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 4.25).

Таблица 4.25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
1. Выход продукта (системы мониторинга)	0,25	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	4
3. Надежность	0,20	4	5
4. Безопасность	0,10	5	4

Продолжение таблицы 4.25

5. Простота эксплуатации	0,15	4	4
6. Возможность автоматизации данных	0,20	5	4
Итого	1	26	30

$$I_m^p = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 = 4,65$$

$$I_1^A = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 = 4,25$$

Интегральный показатель эффективности разработки  $I_{\text{финр}}^p$  и аналога  $I_{\text{финр}}^a$  определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}; \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a}, \quad (4.17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}, \quad (4.18)$$

где:  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{финр}}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 4.26.

Таблица 4.26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,19	0,17
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,88	3,79
3	Интегральный показатель эффективности	21,65	20,25
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,06	0,95

Вывод: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента рассчитан бюджет научного исследования, определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 494081 руб.; индекс доходности  $PI=2,58$ ; внутренняя ставка доходности  $IRR=95\%$ , срок окупаемости  $PP_{дск}=1,24$  года, тем самым инвестиционный проект можно считать выгодным и экономически целесообразным.



## 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данной ВКР рассматривается вопрос об исследовании структуры и свойств доэвтектического силумина, а также его физико-механических свойств в лабораторных условиях.

Рабочее место располагается на втором этаже, в аудитории. Помещение представляет собой комнату размером 5 м на 5 м, высотой 3,5 м.

Два окна выходящих на север, в помещении находится 3 единицы технологического оборудования, 2 людей.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

К производствам повышенной опасности можно отнести некоторые этапы исследования по подготовке образцов, так как рабочим приходится иметь дело с вредными веществами, режущими инструментами.

В рамках производства изделия, представленного в ВКР, предварительная оценка опасных и вредных факторов при проведении работ по ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Предварительная оценка опасных и вредных факторов

Группы факторов	Виды опасных и вредных факторов
Физические	Повышенная или пониженная относительно нормативных требований температура, влажности и подвижности воздуха
	Повышенный уровень шума
	Острые кромки, шероховатости на поверхностях инструментов и оборудования
	Отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны
	Повышенная запыленность рабочей зоны

### Продолжение таблицы 5.1

Химические	Вредные вещества; Токсичные, проникающие в организм человека через органы дыхания
Психофизиологические	Статические физические перегрузки
	Монотонность труда

## 5.1 Анализ выявленных вредных факторов

### Микроклимат

Так же в ходе работы необходимо соблюдать допустимые значения на следующие производственные метеоусловия – влажность воздуха на рабочем месте, температура воздуха, скорость движения воздуха, а также тепловые излучения. Указанные физические свойства воздуха на рабочем месте оказывают значительное влияние на протекание жизненных процессов в организме человека. Так, при неблагоприятном микроклимате (превышение или же занижение допустимых нормативных показателей, указанных в СанПиН 2.2.4.548 - 96) снижается производительность труда и ухудшается здоровье работника.

Физический опасный фактор такой, как повышенная температура поверхности образцов нагретых от трения обрабатывающих поверхностей.

Действие фактора:

- контакт с горячей (свыше 45 град. С) поверхностью может вызвать ожоги незащищенных участков тела;
- пониженная температура поверхностей может служить причиной сосудистых заболеваний, особенно пальцев рук.

Параметром вредности является сочетание температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей. Температура – степень теплового комфорта. Влажность воздуха – содержание в воздухе водяного пара. Скорость движения воздуха – поток воздушных масс в зоне производства.

Неблагоприятные условия вызывают перенапряжение механизма терморегуляции, что приводит к перегреву или переохлаждению.

Нарушениями механизма терморегуляции являются:

- повышенная утомляемость;
- снижение его производительности труда;
- повышенный риск простудных и сердечных заболеваний.

Санитарные правила (СанПиН 2.2.4.548 - 96) устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы, периодов года. Исходя из СанПиН 2.2.4.548 – 96 п.2 работы, выполняемые в рамках исследования, представленного в ВКР относятся к категории «1б» (интенсивность энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт)), работы производимые сидя или стоя, а так же связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением).

Таким образом, оптимальные значения физических величин для обеспечения комфортного микроклимата представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Условия микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Легкая (1б)	21-23	20-24	50	0,1
Теплый	Легкая (1б)	22-24	21-25	50	0,2

Допустимые величины микроклимата на рабочем месте:

- Изменение температуры воздуха по высоте должно быть не более 3 °С;
- Изменение температуры воздуха по горизонтали и изменение в течении смены не должно быть более 4 °С для категории работ «1б».

При температуре воздуха на рабочих местах более 25 °С, допустимые величины относительной влажности воздуха не должны превышать пределы:

- 70 % - при температуре воздуха 25 °С;
- 65 % - при температуре воздуха 26 °С;
- 60 % - при температуре воздуха 27 °С;
- 55 % - при температуре воздуха 28 °С.

Для профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия. Например, такие как системы местного кондиционирования воздуха, применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), регламент времени работы и т.д.

К числу СИЗ от неблагоприятных климатических условий относят спецодежду, спецобувь, средства защиты рук, головные уборы.

## Шум

На рабочем месте возможно возникновение шума, вследствие полировки и шлифовки образцов, тем самым может возникать дискомфорт в помещении. Нарушается компенсация внимания, точность и координация движений, ухудшается восприятие звуковых и световых сигналов опасности, что ведет к увеличению травматизма.

Нормируемыми параметрами шума служат уровни в децибелах (дБ) среднеквадратичных звуковых давлений, измеряемых на линейной характеристике шумомера (или шкале С) в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Для ориентировочной оценки шума разрешается измерять его общий уровень

по шкале А шумомера в дБА. Допустимые нормы шума в лабораторных помещениях не более 80 дБА (согласно ГОСТ 12.1.003–83).

Таблица 5.2 - Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в ГОСТ 12.1.003–83.

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка	Тяжелый труд 1 степени	Тяжелый труд 2 степени	Тяжелый труд 3 степени
Легкой степени	80	80	75	75	75

Если уровень шума на работе превышает 70-80 дБ необходимо использовать индивидуальные средства защиты (беруши, специальные наушники). В обеденный перерыв обязательно нужно покидать рабочее место и отправляться в более тихое место, чтобы слух немного отдохнул и адаптировался к нормальному уровню громкости. Не реже 1 раза в год (или в полгода, если уровень шума очень высокий) проверять слух у врача-оториноларинголога, следует уловить момент ухудшения и принять меры.

### **Освещение**

Освещение – неотъемлемый элемент условий трудовой деятельности человека.

Характеристики помещения: длина 5 м, ширина 5 м, высота 3,5 м. Окраска стен – светлые тона; окраска потолка – белая.

Расчет освещения:

$H = 3,5$  м – высота помещения;

$h_n = H = 3,5$  – высота светильника над полом, высота подвеса. По условиям наименьшей допустимой высоты подвеса установлена без свеса;

$h_p = 0,8$  м – высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_n - h_p = 3,5 - 0,8 = 2,7$  м – расчетная высота светильника над рабочей поверхностью;

$l = 1230$  мм – длина светильника (принимаем ОД-2-40);

$\lambda = 1,4$  – коэффициент. Принимается для светильника типа ОД;

$A = 5$  м – длина помещения;

$B = 5$  м – ширина помещения.

На рисунке 1 изображены необходимые геометрические параметры установки светильника в помещении.

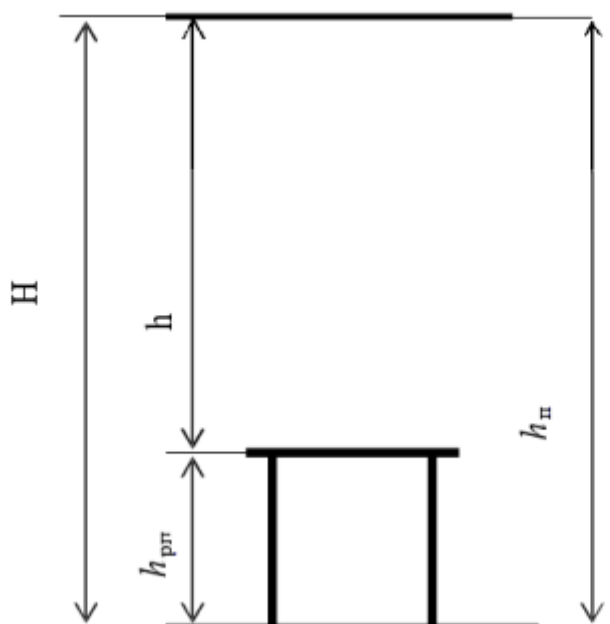


Рисунок 1 – Основные расчетные параметры

Световой поток определяется по формуле:

$$\Phi = E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z / [N \cdot \eta]$$

где  $E_n = 300$  Лк – минимальная освещенность;

$S = 5 \text{ м} \cdot 5 \text{ м} = 25 \text{ м}^2$  - площадь освещаемого помещения;

$N$  – число ламп;

$K_3 = 1,5$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника;

$n = 2$  – число ламп в светильнике;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока (в долях единицы), то есть отношение светового потока, падающего на расчётную поверхность, к суммарному потоку всех ламп, %;

$Z = 1,1$ , т.к. установлены люминесцентные лампы.

Определим число светильников, необходимое для освещения из расчета 1 светильник на  $6 \text{ м}^2$ .

$$\frac{N}{2} = \frac{S}{6} = \frac{25}{6} = 4,1$$

Принимаем количество светильников 4 шт. Количество ламп – 4 шт.

Определим коэффициент использования светового потока. Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_p$ . Для этого рассчитаем величину индекса помещения.

$$i = S / [h \cdot (A + B)] = 25 / [2,7 \cdot (5 + 5)] = 0,92$$

Коэффициенты отражения стен и потолка, соответственно,  $\rho_c = 50\%$ ;  $\rho_p = 70\%$ , т.к. стены и потолок в светлых тонах. Соответственно коэффициент использования светового потока будет равен  $\eta = 66\%$ .

Находим световой поток лампы:

$$\Phi = 300 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,1 / [4 \cdot (2 \cdot 0,66)] = 2343 \text{ лм}$$

Такой световой поток может выдавать лампа ЛД – 36 со световым потоком равным 2400 лм.

Отклонение светового потока составляет:

$$F = \frac{|\Phi_{\text{ЛД-40}} - \Phi|}{\Phi} \cdot 100\% = \frac{|2400 - 2343|}{2343} \cdot 100\% = 2,4\%$$

Это удовлетворяет диапазону  $-10 \div +20 \%$ . Следовательно, число светильников и высота их подвески выбраны верно.

### Вредные вещества

Основным опасным воздействием является наличие веществ в рабочей зоне при проведении шлифовально-полировальных работ, так как в процессе шлифовки и полировки, вещество может всплываться и находится в воздухе рабочей зоны некоторое время. Для этого необходимо ограничить наличие таких веществ в воздухе рабочей зоны, и оно не должно превышать ПДК. Большинство веществ, приводят к механическому повреждению тканей дыхательных путей, слизистых глаз, носоглотки. Соответственно необходимо соблюдать гигиенические нормы по проветриванию помещения и предоставить сотрудникам СИЗ для защиты глаз и органов дыхания, а также халаты.

Таблица 5.4 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений

Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Состояние	Класс опасности
Порошок Al9-Si	6	Порошок	4
Порошок ПО-2	10	Порошок	4
Спирт	1000	Жидкое	4
Кислота HNO <sub>3</sub>	2	Жидкое	4
Алмазные пасты	2	Пасты	3



Вредные вещества могут поступать в организм человека через органы дыхания (пары, газы, пыль), кожу (жидкие, твердые и газы), желудочно-кишечный тракт (жидкие, твердые и газы). Наиболее часто вредные вещества попадают в организм человека через органы дыхания и быстро проникают к жизненно важным центрам организма человека.

В процессе выполняемых работ могут выделяться металлические частицы в наноразмерном состоянии. Согласно данному документу ТС 019/2011 для защиты от механических повреждений СИЗ должны обладать стойкостью от истирания и проколам, так же халаты, выдаваемые для защиты кожных покровов от механического воздействия, должны выдерживать разрывную нагрузку не менее 400 Н. Для защиты глаз рационально использование защитных очков. Для защиты органов дыхания необходимо использовать респираторы, каждый из которых имеет свой индивидуальный номер, площадь зрения не должна снижаться при использовании более чем на 30 %. Объемная доля кислорода должна быть около 21%. Средства индивидуальной защиты рук следует использовать на каждой стадии работы с наноматериалами.

### **Шлифование**

На рабочем месте при выполнении работ с шлифовально-полировальным оборудованием необходимо соблюдать правила техники безопасности, т.к. возможны механические опасные вредные факторы, такие как:

1. К самостоятельной работе на шлифовальных станках допускается обученный персонал, прошедший медицинский осмотр, инструктаж по охране труда на рабочем месте, ознакомленный с правилами пожарной безопасности и усвоивший безопасные приемы работы.

2. Исполнителю разрешается работать только на станках, к которым он допущен, и выполнять работу, которая поручена ему руководителем.
3. Исполнитель при работе на шлифовальных станках, должен иметь: костюм хлопчатобумажный, очки защитные, респиратор.

### **Электробезопасность**

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока.

Так же необходимо учитывать, что все оборудование в лаборатории является электрическим, что неизбежно ведет к соблюдению ГОСТ Р 12.1.019-2009.

Помещение по электрической опасности относится к категории - Помещения повышенной опасности поражения электрическим током

Технические способы и средства защиты, обеспечивающие электробезопасность, должны устанавливаться с учетом:

- номинального напряжения, рода и частоты тока электроустановки;
- способа электроснабжения (от стационарной сети, от автономного источника питания электроэнергией);
- режима нейтрали (средней точки) источника питания электроэнергией (изолированная, заземленная нейтраль);
- вида исполнения (стационарные, передвижные, переносные);
- условий внешней среды: особо опасные помещения, помещения с повышенной опасностью, помещения без повышенной опасности, территории открытых электроустановок.

Пожаробезопасность является одним из приоритетных направлений обеспечения безопасности в лаборатории. Одной из причин пожара может быть замыкание электропроводки, что должно быть исключено.

Меры предосторожности от короткого замыкания:

- необходимо следить за исправностью изоляции электропроводов, не допускать крепления их гвоздями, которые могут нарушить изоляцию. Проведите замер сопротивления электропроводки, в организации, имеющей лицензию на данный вид работ;
- в процессе эксплуатации электропроводки должны быть исключены любые механические воздействия на нее: нельзя подвешивать на проводе осветительную аппаратуру, заземлять провода дверьми, вытягивать за шнур вилку из розетки, перекручивать и завязывать провода, подвешивать их на гвоздях. Особенно опасно в зоне размещения скрытой проводки произвольное вбивание гвоздей, пробивание отверстий под дюбели и др.
- не включайте большое количество электроприборов в розетку, это может вызвать короткое замыкание и пожар;
- когда вы закончили пользоваться удлинителем, сначала выдерните вилку из розетки, а затем уже сворачивайте его;
- обнаруженные оголенные места и обрывы электропроводов надо немедленно ремонтировать;
- не делайте временных соединений проводов, предоставьте выполнение всех работ квалифицированным специалистам.

### **Пожарная безопасность**

Пожарная безопасность подразумевает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла.

Пожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара. Успех борьбы с пожаром

во многом зависит от его своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по его ограничению и ликвидации.

Помещение, в котором осуществляется процесс шлифования и исследования образцов, по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории ВЗ.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

В помещении необходимо иметь 2 огнетушителя марки ОП-3, ОУ-3, исходя из размеров помещения, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. Желательно помещать на стенах инструкции по пожарной безопасности и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

Помещение по пожаровзрывоопасности относится к категории «В1» - пожароопасная, так как используются горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

## **5.2 Экологическая безопасность**

В настоящее время стремятся предусмотреть комплекс мер по защите и охране регионов при проведении экспериментов и работ с материалами, находящимися в наноразмерном диапазоне. При производимых манипуляциях с образцами, подвергнутыми шлифовально-полировальным работам, так как это является источником загрязнения, необходимо предпринять меры по минимизации или полному исключению загрязнения окружающей среды.

### **Защита селитебной зоны**

При защите селитебной зоны производятся такие мероприятия, как правильное взаимное размещение источников выброса и населенных мест с учетом направления ветров, выбор под застройку промышленного предприятия ровного возвышенного места, хорошо продуваемого ветрами и т.д. Доля материала, проникающая в окружающую среду, не превышает допустимых норм, поэтому нет необходимости в создании санитарной зоны.

### **Защита атмосферы**

Ограниченные размеры атмосферы делают ее весьма чувствительной к локальному, региональному и глобальному загрязнению. В реальных (производственных, городских, региональных и т.п.) условиях атмосферный воздух практически всегда оказывается одновременно загрязненным несколькими веществами. Средства защиты атмосферного воздуха от выбросов включают: очистку выбросов от примесей в специальных аппаратах, таких как циклоны, обеспечивающие улавливание частиц крупнее 5 мкм с эффективностью до 0,95, рукавные фильтры - улавливание частиц крупнее 0,1 мкм с эффективностью до 0,999, и устройствах перед поступлением газов в атмосферу; рассеивание очищенных выбросов в атмосферном воздухе. Так как эксперименты проводились не в производственных масштабах, выбросы порошков металлов в атмосферу

незначительны. В следствии чего, в лаборатории не требуются специальные очистительные фильтры.

### **Защита гидросферы**

Проникновение в гидросферу обусловлено обслуживанием установки, ее мойки, и так же мойки рук. Для минимизации попадания лаборатория должна быть оборудована отстойниками, в которых порошок будет происходить коагуляция и седиментация. Для создания замкнутых систем водоснабжения промышленные сточные воды подвергаются очистке механическими, химическими, физико-химическими, биологическими и термическими методами до необходимого качества. Для очистки сточных вод от органических растворителей используют методы экстракции, ректификации, абсорбция, обратный осмос и ультрафильтрация и др.

### **Защита литосферы**

Утилизация отходов должна осуществляться в соответствии с "Санитарными правилами порядка накопления, транспортирования, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов" (N 8180-84 от 28.12.84). Твердые отходы, а также порошковые системы собираются в специальные сборники и увозятся для уничтожения.

### **5.3 Защита в чрезвычайных ситуациях**

Одной из вероятных чрезвычайных ситуаций в рабочей лаборатории является возникновение пожара. Источником данной ЧС может послужить короткое замыкание в электроприборах, неаккуратное обращение с огнем.

В соответствии с ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ в лаборатории приняты меры предосторожности для возможности максимально быстро среагировать на возможную чрезвычайную ситуацию. В лаборатории установлены два порошковых огнетушителя ОП – 5, в здании имеется охранно-пожарная сигнализация, в каждом рабочем помещении расположена схема эвакуации

из здания, при невозможности остановить или предотвратить пожар следует покинуть здание как можно быстрее. Также каждые полгода проводятся учения для быстрой эвакуации из здания.

Следующая возможная чрезвычайная ситуация – морозы. Источником данной ЧС служит тот факт, что лаборатория находится в Сибири. Для минимизации вероятности возникновения данной ЧС в лаборатории предусмотрены два масляных обогревателя марки BalluBOH/CL – 09, которые так же могут быть использованы при неисправностях в обогревательной системе здания или этажа где расположена лаборатория. При выходе из строя этого оборудования любые запланированные работы переносятся на время стабильной работы отопительной системы.

В связи со сложностями в современном мире, актуальной стала проблема терроризма, однако возможны и ложные вызовы (в основном). Источником данного фактора могут послужить разработки лаборатории, а также ее ценные для технологического прогресса продукты. Для предотвращения данной ситуации, в здании имеется контрольно-пропускной пункт, на котором рабочему необходимо отметить, для прохода в здание необходимо иметь при себе удостоверение личности или же пропуск. Для людей, не связанных с лабораторией какой бы то ни было деятельностью, проход в здание возможен только по веской причине, при этом так же необходимо удостоверение личности, а также гражданство РФ. Люди без гражданства РФ (как правило студенты), должны предупреждать о своем визите работников лабораторий, в здании они находятся под их ответственностью. В здании лаборатории расположена сеть видеонаблюдения, под наблюдением находятся все входы и выходы из здания, также в каждом помещении здания и на контрольно-пропускном пункте находятся стационарные телефоны для удобства и на случай невозможности использования мобильной связи. В здании, где находится рабочая лаборатория, во всех помещениях расположены сигнализации, при

входе в лабораторию необходимо как можно быстрее отключить ее, при выходе нажав на соответствующую кнопку включить.

#### **5.4 Производственная безопасность**

Продолжительность рабочего времени конкретного работника устанавливается трудовым договором на основании отраслевого (межотраслевого) соглашения и коллективного договора с учетом результатов специальной оценки условий труда.

Кроме того, запрещается применение труда женщин на тяжелых работах и работах с вредными условиями труда. Запрещается применение труда лиц моложе 18 лет на тяжелых работах и работах с вредными и опасными условиями труда. Все лица моложе 18 лет принимаются на работу после предварительного медосмотра и в дальнейшем до достижения 18 лет ежегодно подлежат медосмотру.

**Виды компенсаций, предусмотренные российским законодательством работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда:**

1. Сокращенная продолжительность рабочего времени, устанавливаемая для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда (ст.92, 94 ТК).
2. Ежегодные дополнительные отпуска, которые устанавливаются работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда (ст.117 ТК).
3. Оплата труда работников в повышенном размере, занятых на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда (ст.147 ТК)



4. Молоко или другие равноценные пищевые продукты, выдаваемые работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда бесплатно по установленным нормам (ст. 222 ТК).
5. Лечебно-профилактическое питание для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда бесплатно по установленным нормам (ст. 222 ТК)
6. Досрочное назначение трудовой пенсии для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, на работах в особых условиях труда (ст.27 и 28 Федерального закона «О трудовых пенсиях в Российской Федерации»).

**Государственный надзор** и контроль за соблюдением законодательства о труде и охране труда Организация государственного надзора и контроля за соблюдение законодательства о труде и охране труда определена ст. 20 ФЗ «Об основах| охраны труда в РФ» и ст. 353-369 ТК РФ.

Во избежание влияния вредных факторов при работе на приборах и выполнении монотонной работы, требующей большого напряжения зрения рекомендуется каждый час делать 15 мин перерывы, а также выполнять профилактические меры (гимнастика). Во избежание опасных факторов при выполнении работ рекомендуется придерживаться техники безопасности при работе с указанным выше видом оборудования. Требуется проводить периодические проветривания помещения, проводить влажную уборку рабочего места в конце рабочего дня. Поскольку большинство работ по исследованию материала, таких как измерение твердости, получение изображений по средствам оптического микроскопа, обработка данных производятся в сидячем положении, нужно создать благоприятные условия для работы сотрудникам. Должно быть обеспечено оптимальное положение персонала, высота сидения должна быть для женщин 400 мм, для мужчин 430, а высота рабочей поверхности 870 (это усредненное значение, как для мужчин, так и для женщин).

В лаборатории на случай воспламенения должен располагаться огнетушитель, эта зона должна быть выделена красным цветом для обозначения принадлежности к пожарной технике, средствам противопожарной защиты. А также красным цветом нужно обозначить внутренние поверхности крышек шкафов с открытыми токоведущими элементами оборудования, если таковые располагаются в лаборатории.

Необходимо организовывать перерывы для отдыха и питания согласно статье 108 ТК РФ в течении рабочего дня. Необходимо предоставлять служащим перерыв продолжительностью не менее 30 минут и не более 2 часов.

### **Заключение**

В данной части работы были рассмотрены опасные и вредные факторы, влияющие на здоровье, самочувствие работающего и безопасность труда. Были разработаны мероприятия по защите от них. Большинство опасных и вредных факторов удалось устранить или значительно снизить их негативное влияние.

В целом можно отметить, что условия труда в рассматриваемой лаборатории являются достаточно комфортными и безопасными, что способствует снижению показателей травматизма, а также благоприятствует повышению производительности труда.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Жидкофазное спекание прессовок из смеси порошков сплавов (Al-9Si) и Sn позволяет получать пластичные композиты, способные выдержать большие деформации в процессе трибомеханических испытаний. При этом они содержали большое количество пор, приводящих снижению функциональных свойств композитов.

2. Метод доуплотнения спеченных композитов (Al-9Si)-Sn при температуре 250 °C приводит к значительному снижению их пористости, в результате чего их плотность практически равнялась ее теоретическому значению, рассчитанному по правилу смеси. В результате такой обработки пределы текучести и прочности на сжатие образцов (Al-9Si)-Sn выросли более чем в 1,5 раз, а их пластичность также заметно улучшилась.

3. В результате горячего доуплотнения также значительно улучшилась износостойкость спеченных композитов (Al-9Si)-Sn при сухом трении по стали. Установлено, что интенсивность изнашивания образцов (Al-9Si)-Sn возрастает при повышении давления на поверхность трения, а их коэффициент трения при этом снижается. При этом образцы, содержащие 20 вес.% Sn обладали более высокой износостойкостью по сравнению с образцами, содержащими 40 вес.% Sn за счет более прочного матричного каркаса.

4. Установлено, что полученные при 570 °C образцы (Al-9Si)-Sn, обладали наиболее высокими механическими свойствами и износостойкостью при сухом трении по стали, по сравнению с образцами того же состава, спеченными при более высоких температурах спекания. Наиболее износостойкий исследуемый композит (Al-9Si)–20Sn, спеченный при 570 °C и подвергнутый последующему доуплотнению, обладает значительно более высокой прочностью и износостойкостью по сравнению

с двухфазным спеченным образцом Al-20Sn, содержащим аналогичное количество олова и полученным в тех же условиях.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Хорошилова Н.И. Трибологические свойства спеченного сплава (Al-9Si)-40Sn // Современные проблемы машиностроения: сборник научных трудов XII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 28 октября - 1 ноября 2019 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2019. — [С. 197-202].

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Алиева С.Г., Альтман М.Б., Амбарцумян С.М. и др. Промышленные алюминиевые сплавы: Справ. изд. М.: Металлургия, 1984, 528 с.
- 2) Белов В.Д. Поршневые силумины. Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, 2005, № 1(9), с. 32-34
- 3) Yuan G.-C., Zhang X.-M., Lou Y.-X., Li Z.-J. Tribological characteristics of new series of Al-Sn-Si alloys // Transactions of nonferrous metals society of China. – 2003. – Vol. 13. – № 4. – P. 774-780.
- 4) Русин Н.М., Скоренцев А.Л. Способ получения износостойкого антифрикционного сплава // Патент RU 2552208. – опубл. 10.06.2015.
- 5) Rusin N.M., Skorentsev A.L., Kolubaev E.A. Structure and tribotechnical properties of Al-Sn alloys prepared by the method of liquid-phase sintering // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1040. – P. 166-170.
- 6) Goudar D.M., Srivastava V.C., Rudrakshi G.B., Raju K., Ojha S.N. Effect of tin on the wear properties of spray formed Al-17Si alloy. Trans Indian Inst Met, 2015. DOI 10. 1007/s12666-015-0573-1
- 7) Никитин К.В., Модифицирование и комплексная обработка силуминов: учеб. пособие / К.В. Никитин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 92 с.: ил.
- 8) Барон. Ю.М., Технология конструкционных материалов — СПб.: Питер, 2012. — 512 с.: ил.
- 9) Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Модифицирование сплавов. Минск: Наука и техника, 2009. 192 с.

- 10) Кестнер О. Е. Алюминиевые подшипниковые сплавы для авиационных моторов. Всесоюзная конференция по трению и износу в машинах, т. 1. М.— Л., изд-во АН СССР, 1939, с. 223—239.
- 11) Зозуля В.Д. Эксплуатационные свойства порошковых подшипников. Киев: Наукова думка.-1989.-288с.
- 12) Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. К.,:Наукова думка., - 1980.-400с.
- 13) Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. и др. Материаловедение: Учебник для вузов / Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. 5-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 648 с.
- 14) Сучков А.М. Медь и ее сплавы. - М.: Металлургия, 1967 – 248с.
- 15) Анциферов В.Н., Смышляев Т.В., Шацов А.А. Самосмазывающийся псевдосплав на основе меди для изделий антифрикционного и конструкционного назначения.//Трение и износ.- 1996.-№4.-с.497-502.
- 16) Savaskan T., Bican O. Dry Sliding Friction and Wear Properties of Al– 25Zn–3Cu–(0-5)Si alloys in the As-Cast and Heat-Treated Conditions // Tribol. Lett. – 2010. – Vol. 40. – № 3. – P. 327-336
- 17) Буше Н.А. и др. Подшипники из алюминиевых сплавов. – М.: Транспорт, 1974. – 256 с.
- 18) Скоренцев А.Л. Разработка и исследование структуры, механических и трибологических свойств спеченных и подвергнутых равноканальному угловому прессованию композитов Al-Sn.
- 19) Kurbatkin I.I. and Kudryashov A.E. Tribological Characteristics of antifriction alloys and mass transfer processes during operation of contact pairs in sliding bearings // Journal friction and wear. – 2011. – Vol. 32. – № 6.

– Р. 437-441.

20) Буше Н.А., Раков К.М., Копытько В.В. Сплавы алюминиевые антифрикционные. ГОСТ 14113 – 78.

21) Marrocco T., Driver L.C., Harris S.J., and McCartney D.G. Microstructure and Properties of Thermally Sprayed Al-Sn-Based Alloys for Plain Bearing Applications // Journal of Thermal Spray Technology. – 2006. – Vol. 15(4). – P. 634-639.

22) Костецкий Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин. – М.: Машгиз, 1959. – 478 с.

23) Лякишева Н.П., Диаграммы состояния двойных металлических систем. Машиностроение, 1996-2000 г.

24) Федорченко И. М., Андриевский Р. А., Основы порошковой металлургии, К., 1961.

25) Бальшин М. Ю., Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна, М., 1972.

26) Кипарисов С. С., Либенсон Г. А., Порошковая металлургия, М., 1972.

27) Русин Н.М., Скоренцев А.Л. Спекание как метод получения прочных композитов Al–Sn с большим содержанием второй фазы. Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия, 2017, № 1, С. 20-28.

28) Straumal B., Risser S., Sursaeva V., Chenal B., Gust W. Grain grows and grain boundary wetting phase transitions in the Al-Ga and Al-Sn-Ga alloys of high purity. Journal de physique IV. 1995. Vol. 5. P. 233–241.

29) Rusin N.M., Skorentsev A.L., Kolubaev E.A. Structure and tribotechnical properties of Al-Sn alloys prepared by the method of liquid-phase sintering. Advanced Materials Research, 2014, Vol. 1040, pp. 166-170.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### INFLUENCE OF THE SINTERING REGIME AND SUBSEQUENT HOT COMPACTION ON THE STRUCTURE, MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF (AL9-SI) -SN COMPOSITES.

### LITERATURE REVIEW, MATERIALS, REFERENCE AND RESEARCH RESULTS

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Хорошилова Н.И		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коростелева Е.Н	к.т.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Ажель Ю.П			

## INTRODUCTION

Al-Si alloys, known as silumins, are widely used in various industries. Good casting properties and, first of all, high fluidity are the main advantages of silumins over other cast aluminum alloys [1]. In addition to fluidity, silicon also effectively improves the wear resistance of aluminum alloys, since their structure meets the Charpy principle for wear-resistant antifriction materials. However, silumins can be used in friction units only if there is a large amount of lubricant, since silicon noticeably affects the thermal conductivity of aluminum. As a result, the friction surface of Al-Si alloys in the absence of liquid lubricant quickly heats up, deforms, and begins to grasp with the counterbody [1,2].

The wear rate of the aluminum matrix can be reduced if a soft metal is introduced into its composition, the inclusions of which can be squeezed out onto the surface, spread over it and protect the friction pair from wear by setting [3]. Tin is the most commonly used as such an additive, and Al-Sn alloys are widely used as antifriction materials in plain bearings.

However, the tin content in cast industrial aluminum alloys is limited to 20 wt.% (GOST 14113-78) due to the disintegration of the aluminum matrix by tin interlayers and the decrease in their bearing capacity caused by it. It was recently discovered [4] that it is possible to solve the problem of obtaining aluminum alloys with a much higher tin content, while maintaining the cohesion of the aluminum frame using powder metallurgy methods. As a result, the limiting concentration of tin in sintered Al-Sn composites, at which the aluminum frame remains bound reaching 40 wt.%. [5].

In the case of sintering of Al-Si-Sn composites, it is undesirable to directly introduce silicon particles into this mixture in order to harden the aluminum matrix, since liquid tin will separate the components and prevent their diffusion interaction. In addition, silicon is poorly wetted by tin even at temperatures above the melting point of aluminum; therefore, the Si – Sn adhesion boundaries will be

weak points in such a composite material [6]. Therefore, in this work, we used briquettes obtained from a mixture of tin powders with powders of an alloy of a hypereutectic composition (Al-9Si). In this case, silicon will be uniformly distributed directly in aluminum particles, forming continuous chains in a wide concentration range of Sn, which should be transformed into a strong bonded framework during sintering. At the same time, sintered material usually contains pores, which are sources of cracking and cause its premature destruction. Therefore, in order to eliminate them, it is necessary to conduct subsequent deformation processing. Due to the presence of a large number of silicon particles and, as a consequence, insufficient plasticity of the sintered composites, it is impossible to subject them to intensive plastic deformation methods. Therefore, as a deformation treatment, the hot sealing method in the original mold was chosen.

Thus, the aim of this work was to study the influence of the sintering regime and subsequent deformation processing by the hot compaction method on the structure, mechanical and tribological properties of (Al-9Si) -xSn composites.

Based on the purpose of the work, the following tasks were set:

1. To determine the compositions of mixtures of Al-9Si powders with different Sn contents, as well as their sintering modes, allowing obtaining high-density composites with an aluminum matrix that is resistant to external deformation effects.
2. To study the effect of subsequent deformation processing by the method for hot compaction (HD) on the structure and mechanical properties of sintered composites (Al-9Si) -xSn.
3. To study the effect of tin content on the tribological properties of sintered and subjected to subsequent hot compaction of (Al-9Si) -xSn composites.

## **1. LITERATURE REVIEW**

### **1.1 Silumins**

Silumin is a group of aluminum alloys with a relatively high silicon content. Silumins are often considered as a narrower group of alloys with a silicon content of 12-13%. These are eutectic silumins, which can be also referred to as ordinary or normal silumins.

An alloy of this type has only two states - “solid” and “liquid”. The cast hardens completely at a eutectic temperature of about 577 ° C [7].

Silumins are also divided into such groups, as:

- pre-eutectic silumins (with a silicon content of 4-10% with the addition of copper, manganese, etc.);
- wear-resistant hypereutectic silumins (with a silicon content of up to 20% with the addition of nickel, magnesium, etc.);
- special silumins, such as zinc silumin.

Eutectic silumins have a silicon content in the range of 10 to 13%, small strength properties, but elongation high enough for cast alloys. Their key superiority over other casting aluminum alloys, including other types of silumins, are rather good casting properties and, first of all, excellent fluidity. Of all the aluminum-silicon alloys, these alloys containing approximately 13% silicon have the best fluidity [7].

#### **1.1.1 Modification of silumins**

Silumins modification is a special alloy processing used to obtain fine-grained eutectic silicon in a cast structure. The eutectic structure of silicon increases the mechanical properties of the casting, its elongation, as well as the

casting properties of the aluminum melt. As a rule, silumin is modified by adding small amounts of sodium, etc [7].

In silumin with a silicon content of more than 7%, eutectic silicon occupies a large part of the sample area. When the silicon content is from 7 to 13%, the type of eutectic structure, for example, granular or modified, significantly affects the mechanical properties of the material, in particular, ductility or elongation.

Therefore, when it is necessary to obtain a higher elongation when testing the sample, aluminum alloys with a silicon content of 7 to 13% are modified by adding approximately 0.004-0.01% sodium.

It is also possible to obtain fine-grained eutectic silicon in aluminum in Al-Si powders by sputtering the melt and rapidly crystallizing it [8].

### **1.1.2 Characterization of silumins**

Physical properties of silumin are not inferior to stainless steel, but it is much lighter than steel, which is its main advantage. The alloy is not exposed to corrosion; this is facilitated by a protective film, which is formed on the surface at the slightest damage due to the interaction of oxygen and aluminum molecules [8].

One of the most important mechanical characteristics of silumins is microhardness, which can be increased using the following mechanisms:

- Improving the structure of primary silicon crystals (downsizing, spheroidization, uniform distribution over the alloy volume).
- Reducing the size of all structural components of the alloy, including intermetallic insoluble in the matrix (primary crystals, eutectics, second phases).

Plasticity is another advantage of silumin. Owing to it, it is suitable for casting complex shapes requiring uniform distribution of metal and a strong structure.

The physical properties include increased wear resistance as well. Products from this alloy are resistant to mechanical stress and have long service life.

The main industries for using silumin are aircraft and machine building. This is due to the fact that the alloy of aluminum with silicon is light, strong and wear-resistant. Pistons, body parts, cylinders and engines are manufactured for technology.

### **1.1.3 Advantages and disadvantages of silumins**

Silumins have a number of features.

Advantages are as follows:

- Increased fluidity, providing thin-walled and geometry-difficult castings;
- Wear resistance;
- High specific strength

Disadvantages are as follows:

- They have a high propensity for oxidation, as well as for saturation with hydrogen, which leads to such types of marriage castings as gas porosity, slag inclusions and oxide inclusions [9].

For this reason, when developing a smelting technology and manufacturing castings using one of the casting methods, the features of individual groups of aluminum alloys should be considered. The most widespread in industry are the Al — Si, Al — Si — Mg (AK12, AK9ch, AK9pch, AK7ch, AK7ch, AK8l, AK9, AK7) alloys, which are distinguished according to their technological properties. Such alloys are used for casting hull parts operating under high internal pressure of liquids and gases, as well as in aircraft and machine building [10].

## 1.2 Anti-friction materials

Materials are classified as antifriction if they are characterized by the following properties: high thermal conductivity; good wettability with grease and break-in, based on the ability of the material to friction easily to plastically deform and increase the area of actual contact. During the operation of sliding bearings made of such materials, their periodic contact with the steel shaft is almost inevitable, for example, at the moments when the unit starts and stops. Therefore, it is also necessary that the antifriction material provides a low coefficient of friction and demonstrates high load-bearing ability in a wide range of loads and sliding speeds when operating in poor lubrication conditions, [11]. In modern engineering, more than ten different groups of antifriction materials are used, including over one hundred brands of cast metal alloys. Table 1 presents the permissible operating modes of various antifriction materials.

Having mechanical properties comparable to cast ones, sintered self-lubricating antifriction materials are also used. Bearings made of these materials, as a rule, are characterized by the properties of self-lubrication and self-regulation of the lubricant supply to the friction zone [12]. Porosity contributes to the running-in of bearings, and the oil in the pores forms a lubricating film, both during the start-up period and under other operating conditions of the friction unit. Sintered bearings, impregnated with oil, in most cases can work for a long time without additional lubrication, and under more severe loading conditions, with additional supply of lubricant to the friction zone.

Currently, there are a significant number of sintered anti-friction materials that are widely used in general engineering products operating both under ordinary conditions, and in special-purpose products designed for difficult operating conditions [12].

Table 1 - Characterization of antifriction alloys with a metal matrix [13]

<u>Material</u>	<b>HB</b>	<u>Steel friction coefficient</u>		<u>Permissible operating mode</u>		
		<u>without lubricant</u>	<u>with lubricant</u>	<u><math>p</math>, MPa</u>	<u><math>v</math>, m/s</u>	<u><math>p \cdot v</math>, MPa·m/s</u>
<u><b>Babbitts</b></u>						
Б83	30	0,07 – 0,12	0,004 – 0,006	15	50	75
Б16	30			10	30	3
БК2	32			15	15	6
<u><b>Bronze</b></u>						
БрО10Ф1	100	0,1 – 0,2	0,004 – 0,009	15	10	15
БрС30	25			25	12	30
<u><b>Brass</b></u>						
ЛЦ16К4	100	0,15 – 0,24	0,009 – 0,016	12	2	10
ЛЦ38Мц2С2	80			10,6	1	10
<u><b>Aluminium alloy</b></u>						
АО9-2	31	0,1-0,15	0,008	25	20	100
<u><b>Anti-friction Gray Cast Iron</b></u>						
АЧС-1	220	0,12-0,23	0,008	2,5	5	10
АЧС-3	160		0,016	6	0,75	5

The main requirements for the technology of manufacturing materials for friction units are possible simplicity of the process, its availability, the use of non-deficient feedstock, a high level of mechanization and automation of production of these parts [13].

Current operating conditions of friction units require the creation of self-lubricating antifriction liners that can work under conditions of high loads and sliding speeds. The reserves for increasing efficiency in the self-lubrication mode are far from exhausted. They need to be sought in the creation of sintered materials with predetermined properties, in the choice of lubricants and in the improvement of the design of friction units [14].

In order to create new antifriction materials, it is necessary to know what type of load these alloys will experience under friction conditions. Based on the loading conditions in which the materials are located in the friction units, a set of requirements has been formed for anti-friction alloys. These requirements include:



- a) high static and dynamic strengths at various temperatures (high resistance to deformation and endurance during continuous operation);
- b) good running performance and high bearing capacity;
- c) high wear resistance, low coefficient of friction;
- g) good wettability with oil;
- d) high thermal conductivity and low coefficient of thermal expansion.

Under friction in case of boundary lubrication, the antifriction material corresponds to those properties of the bearing material that provide a lower temperature on the friction surface, which protects the boundary lubricating layer from destruction. This criterion is achieved by the high thermal conductivity of the material, as well as the ability to easily plastically deform during friction, resulting in a redistribution of the load transmitted to the bearing and a decrease in specific pressures and temperatures [15].

A general technological principle for the construction of self-lubricating composite materials is to obtain highly heterogeneous structures that provide high tribological performance. Materials of this type are characterized by small values of the coefficient of friction and wear.

The main feature of the structure of self-lubricating composite materials is that the functions of its components are strictly differentiated. Some of them play the role of the bearing part (for example, alloys based on copper and aluminum), others antifriction (solid lubricants such as tin, lead, graphite, etc.). When choosing structural components, it is necessary to know about the wettability and interaction of lubricant alloys with the matrix, since structural-phase changes at the boundary of their contact can significantly change the overall structure of the bearing material, which will also affect its functional properties [14].

Depending on the specific operating conditions of the bearings, there are individual ways to improve the tribotechnical properties of materials [14]. In some

cases, they seek the possibility of introducing various solid lubricants and additives, the presence of which increases the service life of the parts. In other cases, a new structural approach is used, for example, the creation of multilayer bearings having various metal components as well as polymer ones as an antifriction layer [11].

Aluminum-based alloys are widely used in plain bearings due to their high fatigue strength, thermal conductivity, excellent corrosion resistance and relatively low scarcity.

At the same time, low cost and low consumption per unit of product due to the low specific gravity provide bearings made of aluminum alloys with high efficiency. At first, in bearings on an aluminum base, emphasis was placed on their bearing capacity, which they tried to provide even to the detriment of the antifriction properties of the material. In such bearings, aluminides of the type  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{NiAl}_3$ , and  $\text{AlSb}$  acted as solid structural components [16].

However, solid particles, in addition to providing high load-bearing capacity of aluminum alloys, also damage the surface of the counterbody upon frictional contact with it. Therefore, with an increase in engine power, there was a need for liners with improved performance properties. In this regard, already in the late 30s, aluminum alloys containing additives of soft metals (tin, lead, cadmium) were created. The most widely used are aluminum alloys with tin, the maximum content of which was no more than 7% [17].

It was possible to improve the characteristics of antifriction alloys during the development of the production of rolled laminated tape, the antifriction layer of which is firmly held on a solid substrate and can withstand heavy loads without deformation. Therefore, it was possible to reduce the amount of solid particles in this layer, and to increase the volume fraction of the soft phase. Bearing liners clad with a layer of antifriction aluminum alloy are widely used in river and navy engines, rail and road vehicles [18].

The most widely used bimetallic liners with a layer of aluminum alloy containing 20% Sn and 1% Cu, known under the brand name AO20-1 (Table 2). The fatigue strength of such an alloy is close to the strength of Cu-30Pb lead bronze, but at the same time it has higher corrosion resistance and resistance to scoring [19].

Table 2 - Grades and chemical composition of aluminum antifriction alloys (GOST 14113-78) [20].

Mark	Main components						Al
	Sn	Mn	Cu	Ni	Si	Ti	
AO9-2	8,0-10,0		2,0-2,5	0,8-1,2	0,3-0,7		Rest
AO3-7	2,5-3,5	0,5-0,8	7,0-8,5		0,6-1,2		
AO6-1	5,0-7,0		0,7-1,3	0,7-1,3			
AO9-1	8,0-10,0		0,8-1,2			0,02-0,2	
AO12-1	11,0-14,0		0,8-1,2	0,4-0,6			
AO20-1	17,0-23,0		0,7-1,2			0,02-0,2	

Currently, Al-Sn system alloys are mainly produced by chill casting. However, such castings are distinguished by an inhomogeneous gradient phase distribution due to the immiscibility of the system components in the solid state (Fig. 2) and the large difference in the densities of Al and Sn phases. The higher the Sn content and the lower the cooling rate of the melt, the more difficult it is to obtain aluminum alloys with a uniform distribution of tin throughout the volume.

This is also not promoted by the large difference in the crystallization temperatures of Al and Sn, due to which, upon cooling of the melt, the nuclei of the refractory aluminum phase, which are practically free of tin, first fall out. In the process of growth, they push liquid tin to the periphery, where it then crystallizes. In the process of growth, they push liquid tin to the periphery, where it then crystallizes. With an increase in tin concentration, the interlayers are connected into a grid, and when it becomes continuous, the ductility and fatigue strength of aluminum alloys sharply decrease due to localization of deformation in soft Sn inclusions.

Therefore, the weight content of tin in industrial Al-Sn alloys does not exceed 20%, and their structure consists of an aluminum matrix with insulated tin inclusions enclosed in it. With an increase in the tin content, the plasticity of the alloys increases, but the strength decreases, and to increase it, the alloy is alloyed with copper, silicon, nickel, and a number of other elements [21].

Moreover, the friction surface of materials with a higher concentration of tin becomes much smoother, which is the result of the formation of a better protective tin film [22].

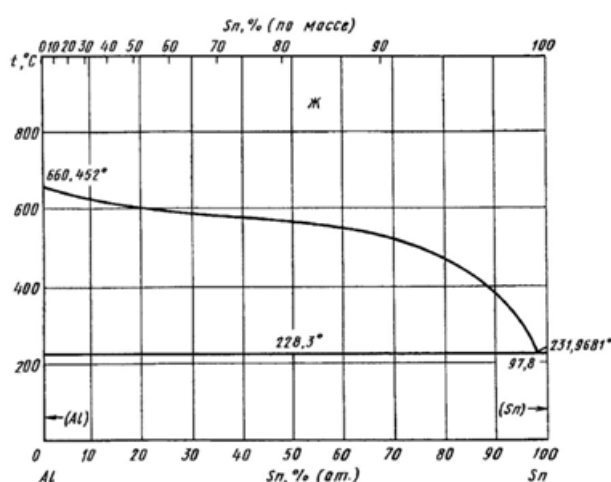


Figure 1 - Phase state diagram of the Al-Sn system [23]

It is assumed that during the operation of such materials, a strong matrix perceives external mechanical load and evenly redistributes it in volume, while soft tin inclusions are squeezed out onto the surface during friction and act as a solid lubricant. Therefore, in addition to the concentration of the second phase, an important factor affecting the tribotechnical properties of Al-Sn alloys is the nature of the distribution and the size of its inclusions in the aluminum matrix. And, therefore, for working in conditions of dry and boundary friction, the most favorable is the alloy structure, which is an aluminum matrix with small isolated tin inclusions evenly distributed in it [22].

The bearing capacity of Al-Sn alloys is low. To increase it, in particular, the introduction of solid particles is used, which protrude above the friction surface

and perceive the pressure of the solid counterbody, preventing it from touching the surface of the aluminum matrix. The perceived particle load through the interfaces is transferred to the matrix, which redistributes it throughout the entire volume of the composite.

However, they are forced to limit the volume fraction of solid particles due to their inherent percolation effect in a closed volume, that is, the ability to form a continuous network even at low concentrations. In the presence of solid, but brittle particles, the joints between them are also easily destroyed under the influence of tensile or shear stresses. The resulting cracks then quickly merge into the main crack passing through the entire specimen [3].

In the case of the Al-Sn system, silicon is a safe element that strengthens aluminum and does not dissolve in tin. If you sinter a mixture of silumin powder with tin, you can get a composite with a hardened aluminum matrix and a given number of inclusions of solid lubricant. It can be hoped that such composites will exhibit enhanced wear resistance with dry boundary friction.

### **1.3 Powder metallurgy**

Powder metallurgy is a field of engineering that covers a set of methods for producing metal powders and metal-like compounds, semi-finished products and products from them (or their mixtures with non-metallic powders) without melting the main component. Mechanical grinding of metals is carried out in vortex, vibration and ball mills. Another, more advanced method for producing powders is the spraying of liquid metals: its advantages are the ability to effectively clean the melt from many impurities, high productivity and efficiency of the process. It is common to obtain powders of iron, copper, tungsten, and molybdenum by high-temperature reduction of a metal (usually from oxides) with carbon or hydrogen [24].

Powder metallurgy technology includes the following operations:

- obtaining the initial metal powders and preparing from them a mixture (mixture) with a given chemical composition and technological characteristics;
- molding of powders or their mixtures into preforms with a given shape and size mainly by pressing;
- sintering, that is, heat treatment of billets at a temperature below the melting point of all metal or its main part [25].

### **1.3.1 Advantages and disadvantages of powder metallurgy**

Powder metallurgy has the following advantages determined during its development:

1) The ability to obtain materials that are difficult or impossible to obtain using other methods. These include: some refractory metals (tungsten, tantalum); alloys and compositions based on refractory compounds (carbides based on tungsten, titanium, and other carbides): compositions, etc. pseudo-alloys of metals that are not miscible in the molten form, especially with a significant difference in melting points (for example, tungsten - copper); compositions of metals and non-metals (copper - graphite, iron - plastic, aluminum - aluminum oxide, etc.); porous materials (for bearings, filters, seals, heat exchangers), etc.

2) The ability to obtain certain materials and products with higher technical and economic indicators. Powder metallurgy allows saving metal and significantly reduce production costs (for example, in the manufacture of parts by casting and cutting, sometimes up to 60-80% of the metal is lost in gates, goes into shavings, etc.).

3) When using pure starting powders, it is possible to obtain sintered materials with a lower content of impurities and with a more accurate correspondence to a given composition than with conventional cast alloys.

4) With the same composition and density in sintered materials, in some cases, due to the peculiarity of their structure, the properties are higher than those of fused ones, in particular, the adverse effect of the preferred orientation (texture), which is found in a number of cast metals (for example, beryllium), is less affected specific conditions of solidification of the melt. [25]

Powder metallurgy also has disadvantages that inhibit its development:

- 1) The relatively high cost of metal powders;
- 2) The need for sintering in a protective atmosphere, which also increases the cost of products;
- 3) The difficulty in manufacturing in some cases, products and blanks of large sizes;
- 4) The difficulty of obtaining metals and alloys in a compact, non-porous state;
- 5) The need to use pure starting powders to obtain pure metals.

The disadvantages of powder metallurgy and some of its advantages cannot be considered as constantly acting factors, since to a large extent they depend on the state and development of both powder metallurgy itself and other industries. [26]

## **2. STUDY OF THE STRUCTURE OF SINTERED AND HOT-PACKED COMPOSITES (Al-9Si) -20Sn AND (Al-9Si) -40Sn**

### **2.1 Raw materials and methods for the manufacture of samples**

As the starting material, industrial powders of tin grade PO 2 (GOST 9723-73) were used in the work. The used tin powder had the following particle size distribution: <45  $\mu\text{m}$  — at least 80%; > 71 microns - not more than 2.2%. The content of impurities in the powder - (Fe, Pb, Cu, S, O<sub>2</sub>, Sb, Bi, As) - not more

than 1%. Al-9Si Powder Chemical composition is as follows: Si - 9.1%; Mg - 0.42%; Fe - 0.1%; other impurities - less than 0.35%; Al is the rest. Granulometric composition is as follows: the average size of the powders is about 40 microns. All powders were obtained by spraying melts and had a spherical shape (Fig. 2).

Powders of aluminum alloy were first mechanically ground in a mill with steel balls inside, and then sieved through a sieve with a mesh size of 80  $\mu\text{m}$ . Mechanical mixtures were prepared from the initial powders, the tin weight of which was 20 and 40%, which corresponded to its content in the most widely used industrial antifriction alloy AO-20 and the content at which the maximum wear resistance of sintered two-phase Al-Sn composites was observed under dry friction steel.

Further, briquettes 20 mm in diameter and 7 mm high with porosity  $\approx 10\%$  were formed from the obtained mixtures using cold double-sided pressing in a cylindrical mold (Fig. 3) on an MS 500 machine (Fig. 4a). In order to obtain samples with the required initial porosity using a special limiter, their size was set along the height of a given value. Briquetting was carried out in a steel mold, the side walls of which were covered with a thin layer of a mixture of fuel oil and graphite to prevent scuffing before filling the powder. The pressure on the samples was 8-10 tons.

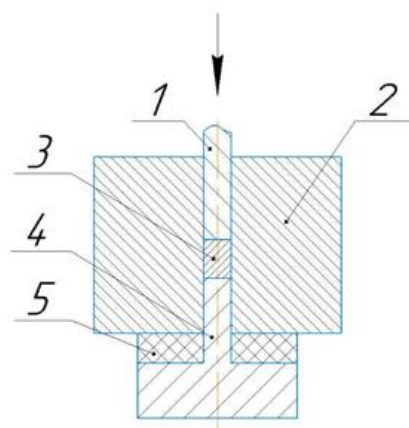


Figure 3 - Compression of samples

where: 1-upper punch; 4-lower punch; 2- full cylinder; 5-pivot nickel; 3-sample; 6-metal plates.



Then, the samples were heated in a vacuum of no lower than  $10^{-2}$  Pa in the SNVE-1.3.1 / 16 electric furnace (Fig. 4.b). The briquettes were sintered in 2 stages: preliminary exposure for 1 hour at 530 ° C and subsequent heating to 570-590 ° C with an exposure of also 1 hour.



a)



b)



c)

Figure 4 - Equipment used

a - Press machine MS-500; b - electric furnace SNVE-1.3.1 / 16; c - sanding machine MECAPOL P 230

Sections for CM metallographic studies were prepared by grinding the surface cutting the sample with emery paper with decreasing grain size of the abrasive, then polishing it on a cloth coated with diamond paste. The sanded surface was chemically etched in a 4% nitric acid solution. Next, the sample was washed in pure alcohol.

The size of the samples made for compression tests was  $5 \times 5 \times 10$  mm. Compression was carried out on a universal testing machine Walter + Bai AG LFM-125 (Fig. 5) with automatic recording of the amount of movement of the slider and the corresponding load. The sedimentation rate of the samples was 0.5 mm / min.



Figure 5 - Testing machine Walter + Bai AG LFM-125

For tribological tests carried out on a Tribotechnic tribotester (France) (Fig. 6), samples of the same dimensions were used as in the case of the compression test, only their end face about 3 mm high was ground to a 2x2 mm section.

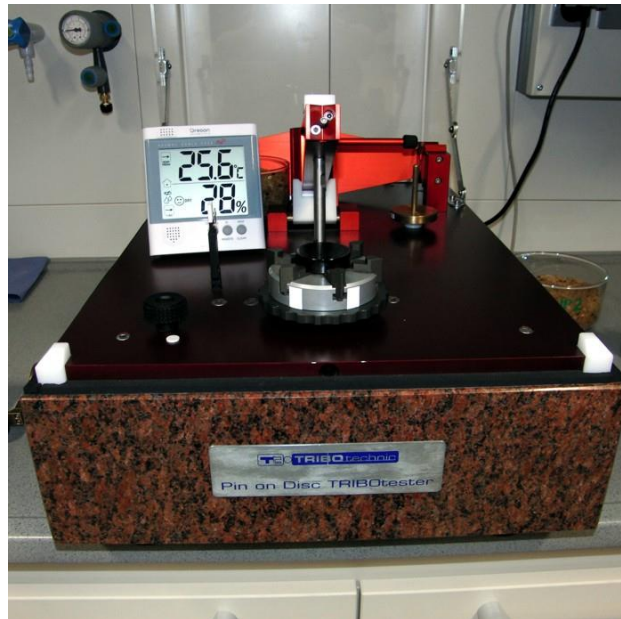


Figure 6 - Tribotechnic company "Tribotechnic" (France)

## Conclusion

The main results obtained in this paper and the conclusions can be formulated as follows:

Liquid-phase sintering of compacts from a mixture of powders of alloys (Al-9Si) and Sn does not significantly reduce their porosity, but leads to a significant increase in the plasticity of the samples.

The method used for sintering briquettes from a mixture of atomized powders of an alloy (Al-9Si) and tin, followed by their hot densification, allows one to obtain durable wear-resistant aluminum-based composites.

The wear rate of the (Al-9Si)-Sn composite increases with increasing pressure on the friction surface, while its friction coefficient decreases.