

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

Школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Структура, механические и трибологические свойства гибридных спеченных композитов Al-Fe-Sn</b>

УДК 621.762

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Коваль Илья Сергеевич		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.И.	к.т.н., доцент		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Коростелева Е.Н.	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

# ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

## 15.04.01 «Машиностроение»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, nano технологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования, по защите окружающей среды
<b>Универсальные компетенции</b>	
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, разрабатывать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

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

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4AM81	Коваль Илье Сергеевичу

Тема работы:

<b>Структура, механические и трибологические свойства гибридных спеченных композитов Al-Fe-Sn</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе:</b>	Объектом исследования являются спеченные композиты Al-Fe-Sn с различным содержанием олова.
----------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов:</b>	Изучение литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки в области получения и применения композиционных порошков; актуальность работы и постановка задачи; методы получения и исследования объекта; анализ результатов выполненной работы; заключение.
<b>Перечень графического материала:</b>	Презентация в Microsoft Power Point

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	Сечин А.И.
Разделы, выполненные на иностранном языке	Ажель Ю.П.

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Обзор литературы («Структура и свойства антифрикционных композитов на основе алюминия»)

Literature review («Structure and properties of aluminum-based antifriction composites»)

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Коваль И.С.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 105 страниц, 21 рисунок, 33 таблицы, 17 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: композиционный материал, олово, алюминий, железо, спекание, горячее доуплотнение, механические свойства, износостойкость, сухое трение.

Объектом исследования являются композиты Al-Fe-Sn с различным содержанием Sn.

Цель работы – исследование влияния процесса спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру, механические и трибологические свойства композитов системы Al-Fe-Sn.

В процессе выполнения диссертации были исследованы композиты системы Al-Fe-Sn с содержанием олова 21% и 38%.

В результате исследования были описаны объемные изменения, структурные особенности, механические свойства и износостойкость при сухом трении спеченных и подвергнутых горячей допрессовки композитов системы (Al-Fe-Sn).

Степень внедрения: внедрение в производство не осуществлено.

Область применения: порошковая металлургия, машиностроение.

Значимость работы – проект обладает высокой ресурсоэффективностью и является ресурсосберегающим.

В будущем планируется исследовать влияние других легирующих компонентов на композиты системы Al-Sn.

Введение .....	8
1 Обзор литературы.....	11
1.1 Композиционные материалы и методы их получения .....	11
1.2 Антифрикционные материалы .....	17
2 Исследование свойств и структуры композитов Al-Fe-Sn, полученных методом спекания и подвергнутых последующему горячему доуплотнению	25
2.1 Исходные материалы, методы получения образцов и измерения свойств .....	25
2.2 Исследование структуры композитов Al-Fe-Sn.....	30
2.3 Трибологические испытания композитов Al-Fe-Sn .....	31
3 Результаты работы .....	33
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	50
4.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования. ....	50
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. ....	50
4.2 SWOT – анализ .....	52
4.3 Инициация проекта .....	55
4.3.1 Цели и результаты проекта .....	55
4.3.2 Организационная структура проекта .....	56
4.3.3 Ограничения и допущения проекта.....	56
4.3.4 План проекта.....	57
4.4 Бюджет научного исследования .....	60
4.4.1 Накладные расходы.....	62
4.4.2 Общие итоги финансирования и расходов .....	62
4.5 Матрица ответственности .....	63
4.6 Реестр рисков проекта.....	64
4.7 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	64
4.8 Оценка сравнительной эффективности исследования .....	69
5 Социальная ответственность .....	75
5.1 Введение .....	75
5.2 Анализ условий труда на рабочем месте .....	75

5.3 Анализ показателей шума и вибрации .....	76
5.4 Анализ показателей микроклимата .....	77
5.5 Анализ освещенности рабочей зоны .....	78
5.6 Анализ электробезопасности .....	82
5.7 Экологическая безопасность .....	83
5.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	84
5.9 Пожарная безопасность .....	85
5.10 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ....	86
5.11 Выводы по разделу «Социальная ответственность» .....	87
6 Заключение .....	89
Список использованных источников .....	90
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	93

## **Введение**

В настоящее время для современного оборудования характерны высокие скорости скольжения и нагрузки. Поэтому для надежной его эксплуатации требуются новые антифрикционные материалы в узлах трения, в том числе и на алюминиевой основе. Применение распространенных металлических и неметаллических материалов при этом мало эффективно. Удовлетворить все необходимые требования возможно с применением деталей из композиционных материалов.

Актуальной проблемой в данное время является уменьшение интенсивности изнашивания деталей ответственного оборудования в процессе трения. Для решения данной проблемы необходимы модернизация существующих или создание принципиально новых антифрикционных изделий, отличающихся повышенными механическими и трибологическими свойствами. Успешная разработка такого рода изделий приведет к снижению затрат на ремонт оборудованию и в целом окажется весьма выгодной с экономической точки зрения.

Известно, что алюминиевые сплавы и композиционные материалы на основе алюминия довольно редко применяются для создания антифрикционных изделий по причине большой вероятности схватывания с соприкасающимися стальными деталями в случае недостаточного количества смазки на поверхности трения. Однако добавление олова к алюминию позволяет препятствовать процессам схватывания, поскольку олово в процессе эксплуатации подшипника способно размазываться по поверхности трения. Кроме этого, сплавы на основе системы Al-Sn характеризуются коррозионной стойкостью, усталостной прочностью и высокой теплопроводностью, что очень важно при работе антифрикционных материалов. Стоит отметить, что повышение содержания олова в сплаве на основе алюминия способствует увеличению износостойкости антифрикционного материала в случае наличия связного матричного каркаса.



Методы литья позволяют получать подобные материалы с содержанием олова не более 20 вес.%, что может быть недостаточно ввиду высоких скоростей скольжения и давлений, при которых эксплуатируются узлы трения современных машин и механизмов. Именно поэтому стал востребован метод порошковой металлургии, позволяющий получать спеченные композиты на основе алюминия с содержанием олова до 40 вес.% с сохранением высокой связанности алюминиевого каркаса.

Однако композиты Al-Sn обладают относительно низкой твердостью, что является их недостатком при работе подшипников при высоких нагрузках. Одним из методов повышения износостойкости композиционных материалов является внедрение в их состав упрочняющих твердых частиц. В последнее время большой интерес у трибологов вызывают так называемые гибридные композиты (КМ), содержащие одновременно большое количество и мягких включений, и твердых частиц. При этом, стоит отметить, что вводимые добавки не должны снижать пластичность материала, а должны способствовать повышению прочности и улучшению несущей способности КМ. Кроме того, располагаясь на периферии алюминиевых зёрен, указанные добавки взаимно препятствуют образованию нежелательных непрерывных сеток. Идеальное сочетание твердых и мягких добавок в алюминии реализуется в системе Al-Si-Sn. И кремний, и олово в твердом алюминии практически не растворяются, поэтому не образуют с матрицей хрупких переходных слоёв, снижающих пластичность материала. При эксплуатации подшипников в условиях высоких температур, требуется наличие упрочняющих частиц, более прочных и жаростойких чем кремний. Кроме того, кремний плохо смачивается оловом даже при температуре выше плавления алюминия, поэтому адгезионные границы «Si-Sn» являются слабыми местами в таком композиционном материале.

Решить указанную проблему можно путем введения интерметаллидов, содержащих алюминий, поскольку его наличие в составе соединений обеспечивает их хорошую адгезию с алюминиевой матрицей и прочные

межфазные границы. В связи с этим возможно применение композиционного материала системы Al-Fe-Sn, при синтезе которого могут образовываться тугоплавкие и твёрдые интерметаллиды типа  $\text{FeAl}_3$ . Получение таких композиционных материалов целесообразно осуществлять методом порошковой металлургии, поскольку в данном случае, в спекаемом материале будет постоянно присутствовать большое количество твёрдых, периодически сталкивающихся друг с другом частиц, что существенно ограничивает процессы расслоения фаз.

**Целью** настоящей работы является исследование влияния процесса спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру, механические и трибологические свойства композитов системы Al-Fe-Sn.

В работе были поставлены следующие **задачи**:

1. Определить составы смесей порошков, а также режимы их спекания, позволяющие получать плотные гибридные композиционные материалы;
2. Исследовать влияние последующего горячего доуплотнения на структуру, механические свойства спеченных гибридных композиционных материалов;
3. Исследовать влияние горячего доуплотнения на трибологические свойства спеченных композитов Al-Fe-Sn с различным содержанием олова.

## **1 Обзор литературы**

### **1.1 Композиционные материалы и методы их получения**

В настоящее время для современного оборудования требуются материалы, способные выдерживать значительные нагрузки, как силовые, так и температурные, в некоторых случаях, и при наличии агрессивной среды. Применение распространенных металлических и неметаллических материалов при этом мало эффективно. Удовлетворить все необходимые требования возможно с применением деталей из композиционных материалов.

Композиционным материалом (КМ) или композитом принято называть объемную гетерогенную систему, в состав которой входят довольно сильно отличающиеся по своим свойствам, взаимно нерастворимые компоненты. Структура, объединяющая все компоненты системы, позволяет использовать достоинства каждого из компонентов [1].

Таким образом, с помощью композиционных материалов можно получить разнородные свойства в одном изделии, что обычно невозможно с применением распространенных материалов. Благодаря применению композиционных материалов появляется возможность снизить массу машин и отдельных конструкций, увеличить мощность двигателей и др. Известно [1], что композиты состоят из основы и наполнителей. В качестве наполнителя, в зависимости от области применения данного композита, могут использоваться как твердые включения, если требуются высокие прочность и твердость, так и мягкие. При наличии двух видов включений, композиты называются гибридными. Стоит отметить, что свойства композитов находятся в прямой зависимости от характеристик основы, наполнителей, а также силы их взаимодействия.

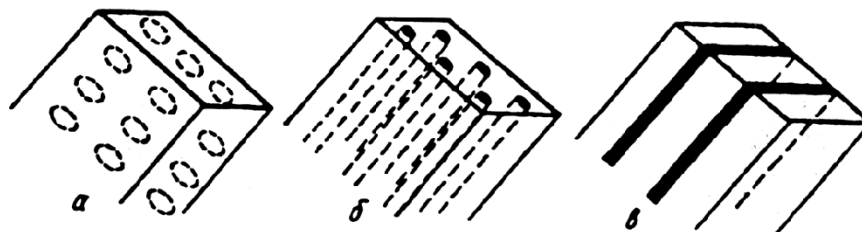
Основа или матрица заключает композицию в монолит, а также придает форму и предназначается для переноса внешних нагрузок на наполнитель. Композиты классифицируются по виду матрицы следующим образом: металлические, полимерные и керамические. Наиболее распространенным

методом получения металлических композиционных материалов является порошковая металлургия, также известны методы окисления, восстановления, электрохимические и кристаллизация из расплава. Керамические композиционные материалы производят смешением компонентов с применением различных установок с последующим формированием заготовок путем уплотнения, литья и др. Получение полимерных композиционных материалов осуществляется при интенсивном смешении в расплаве, после чего производят грануляцию [1, 2].

Металлические композиты по сравнению с композитами на других основах обладают следующими преимуществами [3].

- Механические свойства: высокие значения характеристик, зависящих от свойств матрицы (прочность в направлении, перпендикулярном оси армирующих волокон; пластичность; сохранение прочностных характеристик до температур плавления основного металла);
- Физические свойства: высокая тепло- и электропроводность;
- Химические свойства: негорючесть (по сравнению с КМ на полимерной основе);
- Технологические свойства: хорошая деформируемость, обрабатываемость.

Также необходимо отметить, что упрочняющие наполнители существуют трех типов: слоистые, волокнистые и дисперсноупрочненные [4]. Отличительные особенности их строения представлены на рисунке 1.1

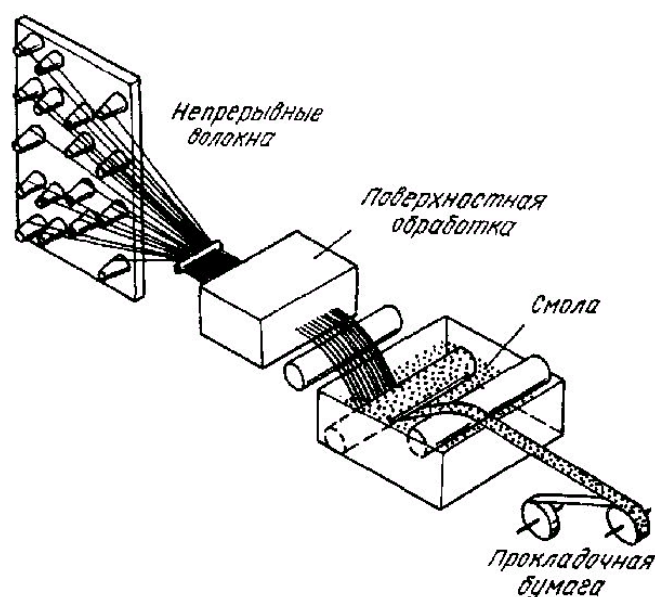


**Рисунок 1.1** Строение композитов: а – дисперсноупрочненные, б – волокнистые, в – слоистые [4]

Слоистые композиты производят путем чередования слоев наполнителя и основы. Основой выбирают металл, керамику или пластмассу, а в качестве наполнителя – ленты из тканей, полимерные волокна и др. Слоистые композиты широко применяются в машиностроении, строительстве, мебельной промышленности и др. Кроме этого, такие композиты, изготовленные с применением фенолформальдегидных смол со стекло- или углеродным волокном, применяют для теплозащиты ракет. В определенных случаях в роли связующего могут выступать никелевые, алюминиевые, медные, кобальтовые и титановые листы, а слоями – керамика, металлы, интерметаллидные соединения [4].

Волокнистые композиты характеризуются волокнистым наполнителем, существующим в различном виде. Это могут быть ленты, нити и сетки разного плетения. Такие композиты производят методами горячего прессования или шликерного литья, при котором волокна смачиваются суспензией матричного материала, после чего суспензия подвергается сушке, а затем спеканию. На рисунке 1.2 показан пример производства волокнистого КМ. Процесс начинается с того, что волокна снимают с бобин, затем подвергаются поверхностной обработке, повышающей адгезию. После чего волокна помещаются в ванну для нанесения полимерной смолы. С помощью смолы волокна объединяются в плоский жгут (ленту). Готовые ленты могут собираться в слоистый листовый материал, после чего происходит отверждение с помощью термообработки [4].

Рисунок 1.2 Схема производства волокнистого композиционного материала [4]



**Рисунок 1.2** Схема производства волокнистого композиционного материала [4]

Волокнистые композиты на металлической матрице используют для эксплуатации при очень высоких температурах. Чаще всего применяют алюминий, титан и магний, отличающиеся небольшой плотностью. Для металлических КМ характерны высокая теплопроводность и электропроводность. Эксплуатация материалов при довольно высоких рабочих температурах обуславливает использование керамики в качестве основы композитов. Однако существенным ее недостатком является отсутствие пластичности, что резко ограничивает ее применение в качестве основы композита. Также, стоит отметить, что использование в роли основы аморфного углерода, а в роли наполнителя – волокна из графита, позволило создать КМ, выдерживающий нагрев до 2500°С.

Для наполнения волокнистых композитов чаще всего используются непрерывные волокна из следующих веществ: углерода, бора, карбида и нитрида бора, оксида алюминия, карбида и оксида кремния и диборида титана. Кроме этого, может использоваться металлическая тонкая проволока, изготовленная методом волочения из вольфрама, стали, титана и бериллия. Широко распространенными являются углеродные и борные волокна.

Методами производства волокнистых композиционных материалов являются пропитка волокон в жидких расплавах магния и алюминия, плазменное напыление, а также горячее прессование. Для производства композита из чередующихся слоев алюминиевой фольги и волокон применяют горячее прессование, сварку взрывом, прокатку и диффузионную сварку [4].

В таблице 1.1 представлены основные характеристики металлических матриц, среди которых плотность вещества ( $\rho$ ), временное сопротивление разрыву ( $\sigma_b$ ), модуль нормальной упругости ( $E$ ) и температурный коэффициент линейного расширения ( $\alpha$ ).

**Таблица 1.1** Характеристики металлических матриц [1]

Матрица	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\sigma_b$ , МПа	$E$ , ГПа	$\alpha$ , $10^{-6}$ К <sup>-1</sup>
Алюминий	2,63 – 2,80	250 – 573	69 – 73	11 – 13
Магний	1,74 – 1,83	200 – 280	43 – 45	14 – 15
Никель	4,5	500 – 1200	113	9 – 10
Медь	8,94	220 – 400	132	17 – 18

Дисперсноупрочненные композиты получают при введении мельчайших тугоплавких частиц карбидов, нитридов, оксидов и др. Чем меньше размер частиц и меньше расстояние между ними, тем более прочным будет полученный композит. Дисперсные частицы препятствуют путем сопротивления движению дислокаций пластической деформации, которая может возникать при воздействии нагрузки. Наилучшее сопротивление движению дислокациям обеспечивается до температуры плавления основы, благодаря чему для таких композитов характерны высокая жаропрочность и высокое сопротивление ползучести. Известно, применение таких дисперсных тугоплавких частиц, как  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $SiC$ ,  $BN$ , характеризующихся относительно небольшой плотностью и высоким модулем упругости. Композиционные материалы с упрочняющими дисперсными частицами, полученные методом порошковой металлургии обычно обладают изотропностью свойств во всех направлениях.

В промышленности наиболее распространены дисперсноупрочненные композиты на алюминиевой основе. Среди которых ярким примером является

спеченная алюминиевая пудра, состоящая из алюминиевой основы и упрочняющих дисперсных частиц из оксида алюминия. Методом распыления расплавленного металла и последующего измельчения в шаровых мельницах в присутствии кислорода получают порошок алюминия с размером частиц до 1 мкм. В процессе помола частицы измельчаются, и в них увеличивается концентрация оксида алюминия. На следующей стадии производства изделий осуществляется холодное прессование, предварительное спекание, горячее прессование, прокатка или выдавливание заготовки в форме готовых изделий, которые в некоторых случаях, подвергают термической обработке [4].

В горячем состоянии, сплавы подобные спеченной алюминиевой пудре, способны хорошо деформироваться, а в условиях комнатной температуры деформируются сплавы с концентрацией 6-9% оксида алюминия. Известно, применение подобных сплавов с содержанием от 6 до 23% оксида алюминия [1]. Подобные сплавы применяются в авиационной технике, также из них изготавливают оболочки труб теплообменников, детали компрессоров, штоки поршней и др.

Основные физико-механические свойства наполнителей композиционных материалов на алюминиевой основе приведены в таблице 2, в которую занесены наиболее важные характеристики композитов, такие как удельная прочность ( $\sigma_v/\rho$ ) и удельная жесткость ( $E/\rho$ ).

Необходимо отметить, что у однонаправленных композитов на основе алюминия, магния и титана модуль упругости, прочность, сопротивление удару повышаются с увеличением количества волокон. Особенностью металлического армирования является значительное повышение ударной вязкости.

Использование в качестве наполнителя оксида алюминия для композиционного материала на основе алюминия обеспечивает ограничение для развития трещин, и тем самым, предотвращает расслоение [4].



**Таблица 1.2** Характеристики наполнителей композитов на основе алюминия [4]

Материал волокна	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	E, Гпа	$\sigma_v$ , МПа	$\alpha$ , 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	E/ $\rho$ , 10 <sup>3</sup> км	$\sigma_v/\rho$ , км	T <sub>max</sub> , °C
Основа из алюминиевого сплава	2,63 – 2,8	69 – 73	40 – 60	11 – 13	2,5	20	150
Углерод	2,1 – 2,3	360/35	850/70	1,0 – 3,6	20	90	500
Бор	2,6	250/140	1800/330	6,0	10	70	540
Карбид кремния	2,85 – 2,9	230/140	1600/350	6,1	7	56	300
Оксид алюминия	3,4	260/140	1200	–	7	34	–

Примечание! В дробных характеристиках в числителе приведены продольные значения прочности, а в знаменателе – поперечные значения прочности.

Композиционные материалы на основе алюминия широко распространены в аэрокосмической, автомобильной, строительной, морской и электронной промышленности благодаря относительно легкому весу, отличными механическими свойствами, хорошей тепловой и электрической проводимости.

## 1.2 Антифрикционные материалы

Антифрикционными материалами принято называть специальные материалы, которые используются для деталей машин, эксплуатирующихся в условиях трения. Для таких материалов характерны низкий коэффициент трения, слабая адгезия, высокая теплопроводность, высокая износостойкость, способность обеспечить равномерное смазывание и отличную прирабатываемость.

Различные конструкции узлов трения, особенности условий эксплуатации способствовали разработке довольно разнообразных антифрикционных материалов, к которым можно отнести [3]:

- Баббиты – сплавы на основе свинца и олова;
- Бронза – сплав на основе меди;
- Серый чугун – сплав на основе железа;
- Бронзографит, железографит – металлокерамические сплавы;
- Фторопласт-4, текстолит – пластмассы;
- Композиционные материалы типа «металл-пластмасса»;
- Алюминиевые сплавы.

В настоящее время для производства подшипников наиболее часто выбирают дорогостоящие сплавы, среди которых наиболее востребованы бронзы [3]. Именно поэтому актуальной задачей является создание более дешевых, но не менее надежных материалов. Алюминиевые сплавы отвечают необходимым требованиям и обладают антифрикционными свойствами, сопоставимыми с бронзой. В последнее время алюминиевые сплавы также наиболее распространены в качестве замены сплавов на свинцовой и оловянной основе. Металлические антифрикционные материалы по структуре подразделяются на две категории: материалы с твердой основой и мягкими наполнителями и материалы с мягкой основой и твердыми наполнителями.

Алюминиевые сплавы по своему составу подразделяются на две группы. К первой группе относятся сплавы на основе металла, в состав которых входят твердые структурные составляющие, такие как:  $\text{Al}_3\text{Ni}$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{CuAl}_2$  и др. Такие сплавы применяются при больших скоростях вращения и незначительных нагрузках с использованием смазки. Недостатком подобного рода сплавов является то, что в случае прекращения смазки, происходит их схватывание с контртелом. Именно по этой причине были разработаны сплавы, легированные оловом, относящиеся ко второй группе. При использовании таких сплавов, в случае прекращения поступления смазки, ее функцию выполняет мягкое олово. Следовательно, не происходит контакта железа с алюминием, а значит, детали не схватываются. Однако большая концентрация олова оказывает негативное влияние на пластичность из-за

ухудшения связанности алюминиевого каркаса. Известно, что в сплавы можно ввести медь для упрочнения алюминиевой основы, а также железо, кремний, никель в качестве упрочняющих добавок. В результате несущая способность, а, следовательно, и износостойкость алюминиевого сплава снижается [4].

Согласно литературным данным [5], для изготовления двигателей широко применяется силумин, для которого характерны низкий коэффициент термического расширения, хорошая жидкотекучесть и износостойкость. Большое количество хрупких и крупных кристаллов кремния в силумине обуславливает снижение пластичности, теплопроводности и обрабатываемости давлением.

Таким образом, и олово, и кремний при определенной концентрации могут способствовать уменьшению пластичности алюминиевого сплава. Можно предположить, что наличие двух легирующих компонентов, один из которых выполняет функцию смазки, а другой – твердых инертных к контртелу частиц, приведет к повышению износостойкости с сохранением пластичности. Так, в работе [6] установлено, что износостойкость сплава Al-17Si-10Sn, полученного напылением на медную подложку, оказалась намного выше износостойкости силумина, полученного и испытанного в тех же условиях.

Другими словами, даже небольшое количество олова оказывает благоприятное влияние на износостойкость силуминов. Можно предположить, что при более высоких концентрациях олова улучшаться трибологические свойства композита, если при этом удастся сохранить прочные связи алюминиевой матрицы и исключить контакт частиц олова и кремния, поскольку их межфазные границы непрочны.

В работе [7] показано, что методом порошковой металлургии можно получить сплав алюминия с оловом, где концентрация последнего составила 40%, с сохранением связанности алюминиевого каркаса.

При проведении исследований по созданию композиционного материала (Al-12Si)-xSn методом жидкофазного спекания прессовок из смеси

порошков олова и эвтектического сплава (Al-12Si) установлено, что износостойкость композитов увеличивается с ростом концентрации в них олова, в отличие от прочности, где наблюдается обратная зависимость [8]. Необходимо отметить, что все полученные композиционные материалы характеризуются довольно прочной матрицей. Наименьшую интенсивность изнашивания при сухом трении стальному контртелу имели образцы с повышенным содержанием олова. Стоит отметить, что чем больше давление на поверхности трения, тем сильнее выражена такая закономерность (таблица 1.3).

**Таблица 1.3** Влияние содержания олова и давления на интенсивность изнашивания спеченных композитов (Al-12Si)-xSn подвергнутых последующему доуплотнению при 250°C [8]

Состав	Интенсивность изнашивания, мкм/м			
	Давление, Мпа			
	1	2	3	4
(Al-12Si)-10Sn	0,11	0,19	0,26	0,34
(Al-12Si)-20Sn	0,10	0,16	0,24	0,21
(Al-12Si)-30Sn	0,13	0,17	0,22	0,20
(Al-12Si)-40Sn	0,10	0,14	0,21	0,18

Согласно данным, приведенным в таблице 1.3, следует, что при увеличении давления от 1 до 4 МПа интенсивность изнашивания сравниваемых композитов увеличивается. При давлении свыше 4МПа происходит снижение интенсивности изнашивания, за исключением композита (Al-12Si)-10Sn.

В работе [9] были исследованы восемь алюминиевых сплавов, полученных литьем. В составе каждого сплава присутствовали олово, свинец, медь, кремний, магний и цинк. Химический состав и характеристики экспериментальных сплавов представлены в таблице 1.4.

Установлено [9], что в процессе трения по стальному при подаче масла M14V2 в качестве смазки, сплав АО-5,8 показал наиболее низкий износ, тем самым превысив показания эталонной бронзы в 5-6 раз.

**Таблица 1.4** Экспериментальные композиционные материалы и их характеристики, полученные после 40 часов трения

Сплав	Массовое содержание, %							$\sigma$ , МПа	Износ сплава, мг	Износ стали, мг	Темп., °C
	Sn	Pb	Cu	Si	Zn	Mg	Al				
АО-5,4	5,4	2,6	3,5	0,8	2,3	1,7	83,7	144	0,5	0,7	36
АО-5,8	5,8	2,7	4,1	1,5	2,3	1,5	82,1	140	0,4	0,6	40
АО-6,4	6,4	3,0	4,1	0,9	1,9	1,4	82,3	139	0,9	1,0	38
АО-7,6	7,6	3,3	4,0	1,0	0,5	0,07	83,5	159	0,5	0,8	42
АО-8,7	8,7	3,2	3,4	0,5	2,9	0,4	80,9	168	2,4	0,8	32
АО-9,6	9,6	3,2	4,9	0,1	4,4	0,3	77,5	185	2,0	2,1	37
АО-9,8	9,8	2,5	4,5	0,6	2,4	1,2	79,0	163	0,1	0,7	31
АО-11	11,0	2,6	3,9	0,1	2,6	-	79,8	173	1,2	0,6	33
BrO4Z4S17 (для сравнения)	4,1	16,9	75,2	-	3,8	-	-	148	2,7	4,0	38

После 40 часов трения обнаружены структурные изменения, а именно, образование вторичных структур на поверхности трения сплава. В процессе трения такие структуры способствуют меньшему изнашиванию алюминиевой матрицы, так как образуют на поверхности микрорельеф, благоприятно влияющий на способность удерживать масло на поверхности трения. Процессами, участвующими в формировании вторичных структур, являются массообмен, диффузия, окисление, и трибохимические реакции. [9].

В работе [10] показана возможность изменения триботехнических свойств антифрикционных сплавов на основе алюминия с помощью варьирования содержания различных легирующих элементов.

Олово содержанием от 8,5 до 11% способно снизить удельное сопротивление и увеличить износостойкость материала и стального контртела. Свинец концентрацией 2,5-3,2% повышает прирабатываемость и износостойкость алюминиевого антифрикционного сплава. Цинк концентрацией от 2,41% до 3,39% также повышает прирабатываемость и способствует снижению износа контртела. Введение железа до 0,13% также является благоприятным, так как способствует увеличению износостойкости сплавов [10].

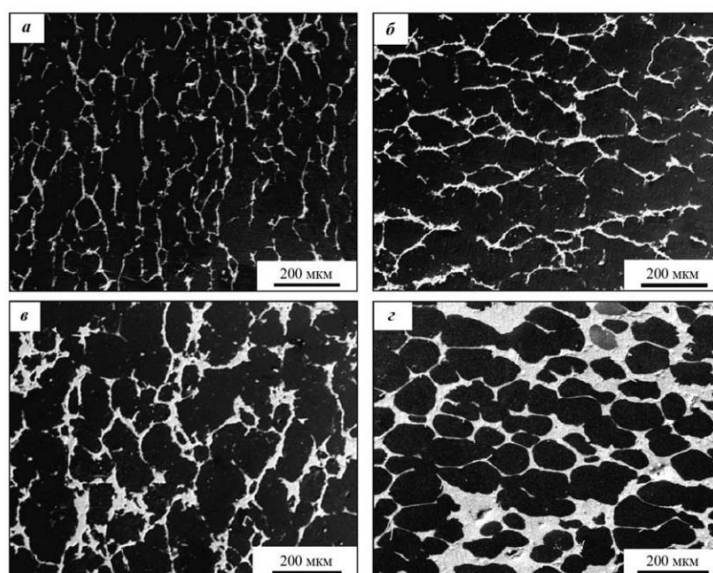
В работе [11] установлено, что спекание порошков алюминия и олова при температуре  $600^{\circ}\text{C}$  в течение 1 часа способствует созданию высокоплотных композитов с прочной алюминиевой основой и равномерно распределенными частицами олова. Такие композиционные материалы с концентрацией олова до 20 об.% обладают высокой износостойкостью при сухом трении по стали.

Стоит отметить, что размер частиц алюминия в спеченных композитах Al-Sn не зависит от содержания олова, поскольку формирование алюминиевой матрицы происходит по единому механизму следующим образом. Сначала происходит фрагментация алюминиевых порошков жидким оловом, затем – укрупнение алюминиевых частиц, протекающее с одинаковой скоростью путем растворения мелких и перекристаллизации растворившихся атомов через жидкую фазу. Толщина прослоек олова увеличивается с ростом его концентрации в композите, а связь частиц алюминиевой матрицы при этом ухудшается.

Выявлено [11], что каркас спеченных композиционных материалов остается прочным и связанным при объемной доле олова (20 об.%), что вдвое больше, чем в литых промышленных сплавах алюминия с оловом.

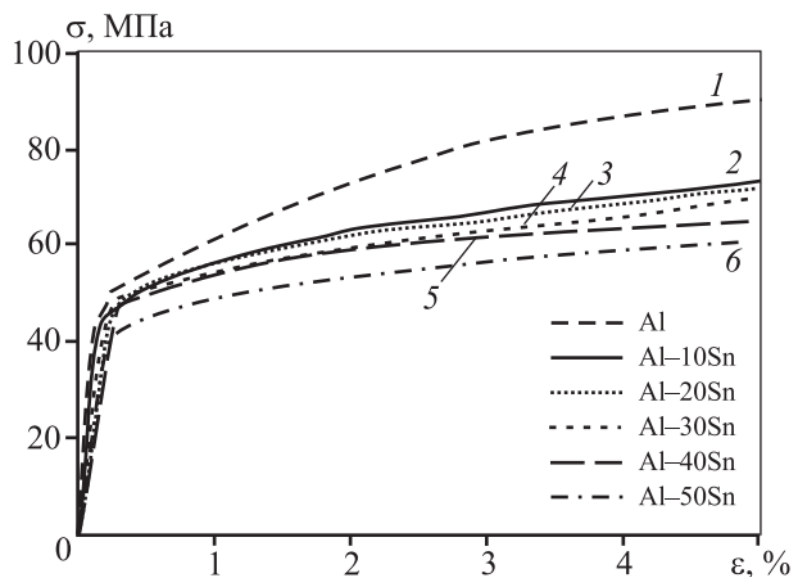
Также в работе [11] установлено, что прочность спеченных композитов при сжатии является величиной аддитивной, которая определяется объемным соотношением Al- и Sn-фаз. Данные фазы представляют собой механическую смесь невзаимодействующих частиц и испытывают одинаковую деформацию независимо от их расположения.

В качестве примера на рисунке 1.4 представлена структура композитов Al-Sn, полученных спеканием при температуре  $600^{\circ}\text{C}$  в течение 1 часа.



**Рисунок 1.4** Микроструктура композитов алюминия с оловом, полученных спеканием при температуре 600°C в течение 1 часа. Sn, мас. %: а – 10; б – 20; в – 30; г – 50 [11]

Результаты механических испытаний представлены в виде кривых сжатия исследуемых композитов (рисунок 1.5). Согласно полученной зависимости, исследуемые спеченные композиты способны упрочняться при деформации, причем практически с одинаковой скоростью.



**Рисунок 1.5** Кривые сжатия спеченных (600 °C, 1 ч) КМ Al–Sn, Sn мас. %: 0 (1), 10 (2), 20 (3), 30 (4), 40 (5), 50 (6)

В работе [12] представлено исследование антифрикционных алюминиевых сплавов, содержащих железо. В качестве основного сплава был выбран алюминиевый сплав Al–6%Sn–5%Si–4%Cu (масс. %), в который

вводили железо (порядка 1%), а также висмут, свинец и марганец. Экспериментальные образцы подвергались нагреву при температуре до 500°C с последующим охлаждением в различных режимах. Показано, что независимо от режима охлаждения, происходит сфероидизация легкоплавкой фазы (Sn-Pb-Bi) и кремниевой фазы (Al-Si). В случае быстрого охлаждения (при закалке в воде) выявлена наилучшая эффективность. Установлено, что добавление железа с марганцем (0,5%) приводит к формированию благоприятных фаз  $Al_{15} (Fe, Mn)_3 Si_2$  скелетообразной формы. Проведенные трибологические испытания показали, что алюминиевый железосодержащий сплав имеет повышенную твердость и износостойкость, что может быть и связано с формированием таких скелетообразных фаз. Результаты данного исследования показывали возможность и перспективность применения материалов, содержащих железо, для производства антифрикционных алюминиевых сплавов.

Как было уже сказано в предыдущем разделе в качестве альтернативной замены твёрдым частицам в алюминиевых сплавах могут выступать, например, интерметаллиды, и прежде всего содержащие алюминий, поскольку его наличие в составе соединений обеспечивает их хорошую адгезию с алюминиевой матрицей и прочные межфазные границы. Указанным условиям могут удовлетворять композиты системы Al-Fe-Sn, при синтезе которых могут образовываться тугоплавкие и твёрдые интерметаллиды типа  $FeAl_3$ , а также соединения железа с оловом.

В следующем разделе рассмотрим особенности спекания порошковой системы Al-Fe-Sn и свойства получаемых материалов.



## **2 Исследование свойств и структуры композитов Al-Fe-Sn, полученных методом спекания и подвергнутых последующему горячему доуплотнению**

### **2.1 Исходные материалы, методы получения образцов и измерения свойств**

Для получения композитов Al-Fe-Sn использовались порошок карбонильного железа с размером частиц менее 50 мкм, порошок олова марки ПО-2 и алюминиевый порошок АСД-4. Минимальное содержание олова в составе ПО-2 составляет 99% согласно ГОСТ 9723-73. Цвет ПО-2 – серый. Оловянный порошок ПО-2 характеризуется негорючестью, способностью придавать поверхности антикоррозионные свойства, поэтому его применение оправдано в различных отраслях промышленности. Алюминиевый порошок АСД-4 представляет собой сферический мелкодисперсный порошок светло-серого цвета, отличающийся металлическим блеском. В состав порошка входят 99,7% алюминия и 0,3% примесей. АСД-4 характеризуется легкостью, коррозионной стойкостью, устойчивостью к высоким температурам и к ультрафиолету. Применение алюминиевого порошка востребовано в теплоэнергетике, космической промышленности, а также в химической и парфюмерной отрасли. Поскольку алюминиевый порошок не являлся свежим, то перед приготовлением смесей он сушился при температуре 120°C в течение двух часов в вакууме.

В работе использовались смеси с содержанием железа 5 ат. %, исходя из того, что в процессе спекания прессовки Al-Fe-Sn должны формироваться интерметаллиды состава  $FeAl_3$ , или  $FeSn_2$ , и объем новой фазы должен возрасти примерно в 4 и 3 раза, соответственно. При этом, брали две концентрации олова. Одна соответствовала приблизительно его содержанию в наиболее широко применяемом антифрикционном алюминиевом сплаве АО20, а другая – содержанию, при котором наблюдалась максимальная

износостойкость двухфазных спеченных композитов Al-Sn при сухом трении по стали. Весовое содержание компонентов в смеси вычисляется по формуле:

$$C_a = \frac{A_a \cdot a}{A_a \cdot a + B_b \cdot b + C_c \cdot c} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где  $A_a, B_b, C_c$  – атомные массы компонентов А, В и С,  $a, b, c$  – атомные концентрации данных компонентов.

Таким образом, весовое содержание железа и олова в механической смеси вычислим следующим образом:

$$C_{Fe} = \frac{A_{Fe} \cdot a}{A_{Fe} \cdot a + B_{Sn} \cdot b + C_{Al} \cdot c} \cdot 100\%$$

$$C_{Sn} = \frac{B_{Sn} \cdot b}{B_{Sn} \cdot b + A_{Fe} \cdot a + C_{Al} \cdot c} \cdot 100\%,$$

где  $A_{Fe}$  – атомная масса железа, равная 55,847 а. е. м.;

$B_{Sn}$  – атомная масса олова, равная 118,710 а. е. м.;

$C_{Al}$  – атомная масса алюминия, равная 26,982 а. е. м..

Вычислим весовое содержание железа в первой механической смеси Al-5at.%Fe-6at.%Sn:

$$C_{Fe} = \frac{55,847 \cdot 5}{55,847 \cdot 0,05 + 118,710 \cdot 0,06 + 26,982 \cdot 0,89} \cdot 100\% = 8\text{вес}\%$$

Вычислим весовое содержание олова в первой механической смеси Al-5at.%Fe-6at.%Sn:

$$C_{Sn} = \frac{118,710 \cdot 6}{118,710 \cdot 0,06 + 55,847 \cdot 0,05 + 26,982 \cdot 0,89} \cdot 100\% = 21\text{вес}\%$$

Вычислим весовое содержание железа во второй механической смеси Al-5at.%Fe-13at.%Sn:

$$C_{Fe} = \frac{55,847 \cdot 5}{55,847 \cdot 0,05 + 118,710 \cdot 0,13 + 26,982 \cdot 0,82} \cdot 100\% = 7\text{вес}\%$$

Вычислим весовое содержание железа во второй механической смеси Al-5at.%Fe-13at.%Sn:

$$C_{Sn} = \frac{118,710 \cdot 13}{118,710 \cdot 0,13 + 55,847 \cdot 0,05 + 26,982 \cdot 0,82} \cdot 100\% = 38\text{вес}\%$$

Таким образом, были получены весовые значения компонентов в двух исследуемых композитах: Al-8вес.%Fe-21Sn и Al-7вес.%Fe-38вес.%Sn (далее – Al-8Fe-21Sn Al-7Fe-38Sn, соответственно). Зная весовое содержание компонентов в смеси можно рассчитать теоретическую её плотность следующим образом:

$$\rho_{\text{теор}} = \frac{100}{c_{Al}/\rho_{Al} + c_{Fe}/\rho_{Fe} + c_{Sn}/\rho_{Sn}}, \quad (2.2)$$

где  $c_{Al}, c_{Fe}, c_{Sn}$  – весовое содержание компонентов;

$\rho_{Al}$  – плотность алюминия, равная 2,699 г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{Fe}$  – плотность железа, равная 7,874 г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{Sn}$  – плотность олова, равная 7,290 г/см<sup>3</sup>.

Рассчитаем теоретическую плотность первой смеси состав, которой Al-8Fe-21Sn:

$$\rho_{\text{теор}} = \frac{100}{71/2,699 + 8/7,847 + 21/7,290} = \frac{100}{26,31 + 1,02 + 2,88} = 3,31 \text{ г/см}^3$$

Рассчитаем теоретическую плотность второй смеси состав, которой Al-7Fe-38Sn:

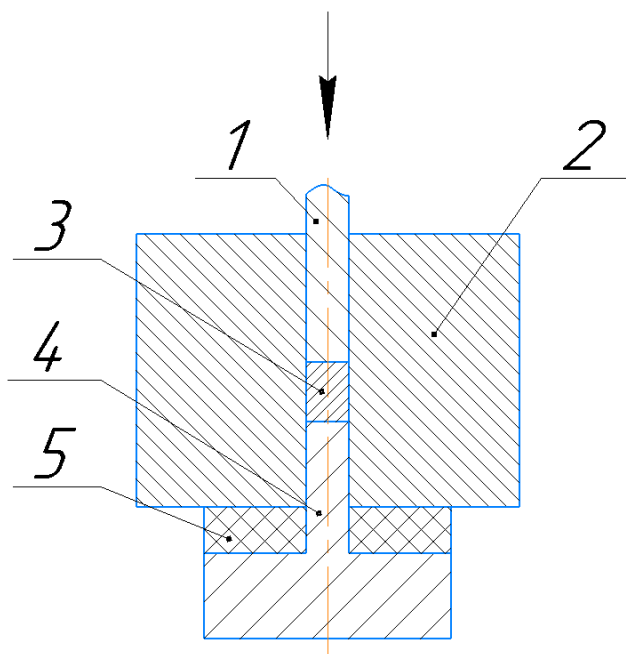
$$\rho_{\text{теор}} = \frac{100}{55/2,699 + 7/7,847 + 38/7,290} = \frac{100}{20,38 + 0,89 + 5,21} = 3,78 \text{ г/см}^3$$

Однородные механические смеси порошков были получены путем смешивания в течение 5 часов в смесителе типа «шаровая мельница». После чего полученные смеси подвергли холодному двухстороннему прессованию в стальной цилиндрической пресс-форме на пресс машине МС-500 (рисунок 2.1). Давление, подаваемое на образцы, составляло 8-10 тонн. Боковые стенки пресс-формы предварительно были покрыты тонким слоем смеси мазута с графитом для предотвращения задиров.



**Рисунок 2.1** Пресс машина MC-500

В результате холодного двухстороннего прессования порошков были сформированы брикеты диаметром 20 мм и высотой около 7 мм. Навески рассчитывались исходя из теоретической плотности 10%. Схема прессования представлена на рисунок 2.2



**Рисунок 2.2** Схема прессования: 1 – верхний пуансон; 2 – полый цилиндр; 3 – образец; 4 – нижний пуансон; 5 – резина

Зная размеры образцов и теоретическую плотность, вычислим их массу по формуле:

$$m = \rho_{\text{теор}} \cdot V \quad (2.3)$$

где  $m$  – масса образца;  $V$  – объем образца.

$$V = \pi R^2 \cdot h,$$

где  $R$  – радиус образцов, равный 10 мм;  $h$  – высота образцов, равная 7 мм.

Тогда,

$$m = \rho_{\text{теор}} \cdot \pi R^2 \cdot h$$

Масса образцов с пористостью 10 %, полученных из порошковой смеси Al-8Fe-21Sn:

$$m = 3,31 \cdot \pi \cdot 1^2 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 6,55 \text{ г}$$

Масса образцов с пористостью 10 %, полученных из порошковой смеси Al-7Fe-38Sn:

$$m = 3,78 \cdot \pi \cdot 1^2 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 7,48 \text{ г}$$

Размеры сформированных образцов были измерены с точностью до 0,01 мм измерительным прибором «Микрометр», а масса была измерена на аналитических весах с точностью до 0,001 г.

На следующей стадии изготовления алюминиевых композитов осуществлялось спекание сформированных брикетов с помощью электропечи СНВЭ-1.3.1/16 (рисунок 2.3).



**Рисунок 2.3** Электропечь СНВЭ-1.3.1/16

Спекание образцов проводилось при остаточном давлении газов не выше  $10^{-2}$  Па с предварительной выдержкой при температуре 530°C в течение 1 часа для того, чтобы дать олову равномерно растечься по объему композита

без значительного его выпотевания. Затем, осуществлялся последующий нагрев образцов до температур 570-590 °С, в течение которых они также выдерживались в течение часа. По окончании спекания часть образцов подвергалась дальнейшему доуплотнению в исходной пресс-форме при температуре 250°С.

## 2.2 Исследование структуры композитов Al-Fe-Sn

Для проведения металлографического исследования изготавливались шлифы путем механического шлифования, последующего полирования на полировальном станке «МЕСАРОЛ Р 230» (Рисунок 2.4) и травления. Шлифование осуществлялось с помощью наждачной бумаги с убывающей зернистостью абразива. Полирование проводилось посредством сукна и нанесенной на него алмазной пастой с размером абразивных частиц менее 1 мкм. Химическое травление поверхности образцов было осуществлено с помощью 4% раствора азотной кислоты в спирте.



**Рисунок 2.4** Полировальный станок «МЕСАРОЛ Р 230»

Для проведения испытаний на сжатие из спеченных и допрессованных брикетов вырезались образцы размерами 5x5x10 мм. Испытания проводились с помощью машины Walter+Bai AG LFM-125 (рисунок 2.4). Скорость осадки образцов составляла 0,5 мм/мин.



**Рисунок 2.4** Испытательная машина Walter+Bai AG LFM-125

### **2.3 Трибологические испытания композитов Al-Fe-Sn**

Трибологические испытания проводились с применением схемы «палец – диск» на триботестере фирмы «Tribotechnic» (рисунок 2.5). Испытания осуществлялись с помощью образцов из исследуемых композитов, размер торца которых составлял 2x2 мм. Условия проведения испытаний были выбраны следующие: скорость скольжения – 0,6 м/с, давление – 1-5 МПа. В качестве контртела использовали диск диаметром 50 мм, сделанный из закаленной стали 40X с твердостью 45-47 HRC.

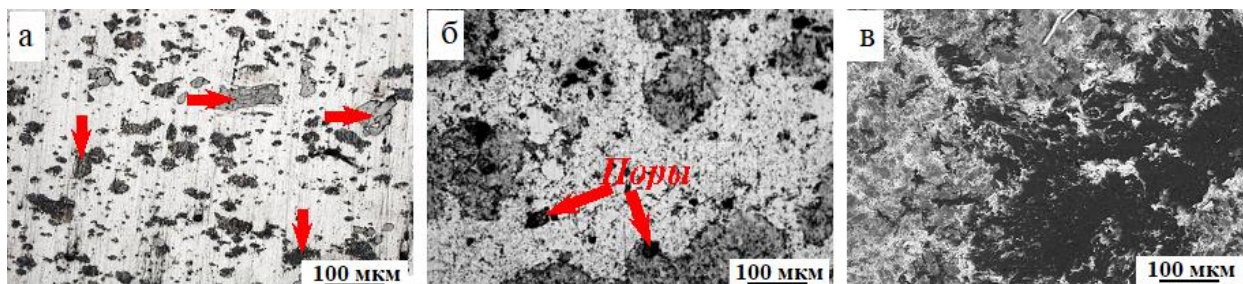


**Рисунок 2.5** Триботестер «Tribotechnic»



### 3 Результаты работы

Из приведенной на рисунок 3.1а структуры сырого брикета Al-7Fe–38Sn видно, что порошинки олова (темные частицы) распределены по прессовке относительно равномерно, что должно обеспечить равномерное его распространение по объему прессовки при расплавлении в процессе спекания. Количество частиц железа, имеющих серый цвет, на шлифе меньше, но дисперсность их шире, а максимальный их размер не превышал 100 мкм.

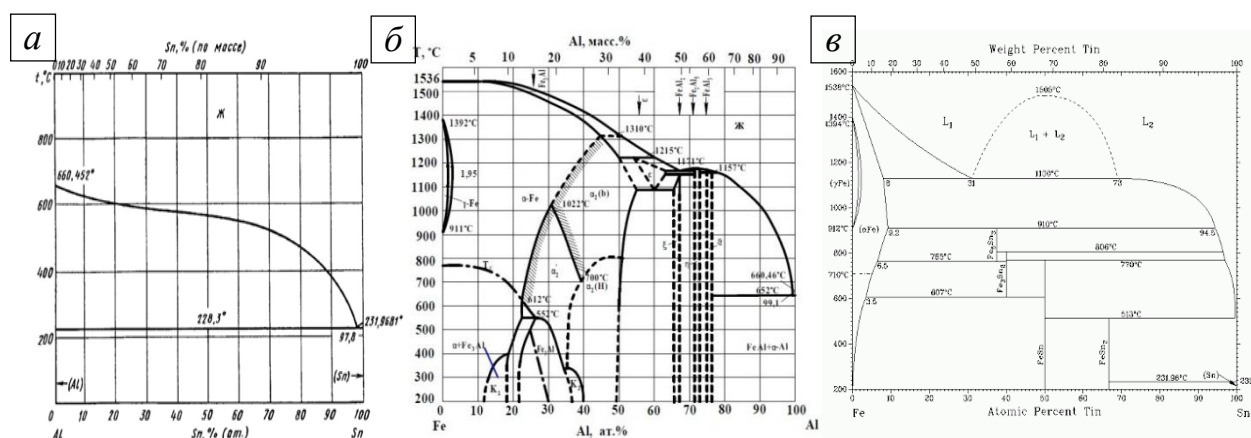


**Рисунок 3.1** Структура порошкового брикета состава Al-7Fe–38Sn. а – сырой образец; б, в – спеченный при 490°C в течение 1 часа. а, б – ОМ изображения; в – РЭМ изображение. Вертикальными стрелками на рис.1а указаны оловянные частицы, а горизонтальными – железные.

Из приведенных на рисунке 3.2 диаграмм состояния двойных систем видно, что при нагреве прессовок до 232 °C олово переходит в жидкое состояние, тогда как алюминий плавится при 660 °C, а железо при 1538 °C. При этом известно, что при температурах ниже 600 °C жидкое олово плохо смачивает алюминий [13], и поэтому плохо растекается по поверхности окружающих его алюминиевых порошинок сразу после расплавления. Этому также препятствуют плохо смачиваемые оксидные пленки, всегда присутствующие на поверхности алюминиевых порошков.

Однако пленка хрупкая и легко разрушается при изменении формы порошинок алюминия в процессе прессования брикетов из смеси исходных порошков. В процессе нагрева спекаемого образца порошинки алюминия расширяются, покрывающие их оксидные пленки дополнительно растрескиваются, и появляются участки свежей поверхности. На эти участки

проникает жидкое олово и начинает распространяться по границам зерен алюминиевых частиц. Движущей силой процесса является стремление системы понизить свободную энергию за счёт растворения дефектных мест (границ зёрен) с повышенной энергией. Данное явление называется поверхностным легированием и характерно для многих систем, образующих легкоплавкую эвтектику. После насыщения расплава атомами Al становятся возможными процессы их перекристаллизации через жидкую фазу. Такой процесс распространения олова описан, например, в работе [11] при исследовании особенностей спекания двухфазных образцов Al-Sn.



**Рисунок 3.2** Диаграммы состояния систем Al-Sn (а); Fe-Al (б) и Fe-Sn (в) [14]

Структура спеченной при 490°C в течение 1 часа порошковой прессовки состава Al-7Fe-38Sn представлена на рисунок 3.16. Видно, что олово действительно проникло на границы многих алюминиевых зерен. Но поскольку при данной температуре растворимость алюминия в олове низкая, а угол его смачивания расплавом большой, то олово в основном остается в алюминиевых порошинках в виде прослоек по границам зёрен, образующих мелкую сетку. Растекание его по поверхности порошинок Al незначительное.

Однако в том случае, если частицы железа располагались рядом с частицами олова, то его расплав достигал их поверхности. Он хорошо смачивает железную поверхность и обволакивает частицы железа и начинает диффундировать в их объём. Согласно диаграмме состояния, при этом происходит образование интерметаллидов железа с оловом (станнидов и

дистаннидов). В результате диффузии жидкого олова размеры железных частиц значительно увеличиваются, при этом на их поверхности возникают растягивающие напряжения. Поскольку образующиеся интерметаллические соединения хрупкие, то они могут растрескиваться под действием указанных напряжений, а образовавшиеся трещины заполняет жидкая фаза [15].

Как правило, образование интерметаллидов протекает с выделением большого количества тепла. Если в системе Sn-Fe сплавообразование проходит интенсивно, то выделившегося тепла может хватить для расплавления окружающего частицы железа алюминия. Тогда на место уходящих атомов олова могут прийти атомы алюминия и окружить частицы железа внешней оболочкой. Если олова много, то оно будет окружать частицы железа и препятствовать их контакту с жидким алюминием и образованию алюминидов. На рисунке 3.1в видно, что в результате спекания при 490 °С на месте исходных частиц железа формируются агломераты, состоящие из частиц станнидов и расположенных между ними прослоек из олова и алюминия.

Из приведенных в таблице 3.1 данных следует, что плотность образцов после спекания при 490°С стала не только меньше теоретической плотности сырых порошковых прессовок, но и их исходной плотности с учётом пористости. При этом известно, что плотность образующихся станнидов железа более 8 г/см<sup>3</sup>, то есть, выше плотности образующих их элементов Fe и Sn. Следовательно, спечённые образцы содержат повышенное количество пор, которые и дают свой вклад в измеряемую плотность.

Увеличение объёма спечённых образцов подтверждают и данные по их плотности после допрессовки. Согласно табличным данным, уплотнение спечённых брикетов давлением при 250 °С приводит к повышению их плотности выше плотности, рассчитанной по правилу механической смеси.

Повышенная пористость спечённых прессовок имеет своё логически обоснованное объяснение. Дело в том, что порошки алюминия образуют в прессовке прочный каркас, заключающий в себе помимо частиц Fe и Sn ещё и

поры. Чтобы такие поры исчезли, прибегают к жидкофазному спеканию в присутствии большого количества расплава. Жидкость проникает на контакты частиц твёрдой фазы и ослабляет каркас. Составляющие его частицы получают возможность двигаться под действием капиллярных сил и укладываться в более плотную конфигурацию, заполняя поровое пространство.

**Таблица 3.1.** Влияние режима спекания и последующего горячего доуплотнения на плотность композитов Al-Fe-Sn

Композит	Режим получения	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Теоретическая плотность сырой прессовки
Al-7Fe-38Sn	(490 °C;1 ч)	3,35	3,79
	(570 °C;1 ч)	3,52	
	(570 °C;1 ч) + ГД 250 °C	<b>3,87</b>	
	(595 °C;1 ч)	3,60	
	(595 °C;1 ч) + ГД 250 °C	<b>3,90</b>	
	(620 °C;1 ч)	3,66	
	(620 °C;1 ч) + ГД 250 °C	<b>3,93</b>	
Al-8Fe-21Sn	(490 °C;1 ч)	2,87	3,32
	(570 °C;1 ч)	2,96	
	(620 °C;1 ч)	3,03	
	(620 °C;1 ч) + ГД 250 °C	<b>3,43</b>	

\*Исходная плотность: Al-7Fe-38Sn – 3,56-3,60 г/см<sup>3</sup>; Al-8Fe-21Sn: 3,12-3,15 г/см<sup>3</sup> (пористость – 5-6 %)

Однако, если жидкости недостаточно, чтобы разрушить каркас из твёрдых частиц, то ее проникновение на контакты приводит к обратному эффекту. Она действует как гидравлический клин, раздвигающий такие контакты, без последующей переукладки частиц. В результате пористость спекаемой прессовки только увеличивается. Аналогичное явление наблюдалось при спекании брикетов систем Al-Sn и (Al-12Si)-Sn [11,16], пористость которых в результате расплавления олова возрастала.

При спекании порошковых систем с взаимодействующими компонентами также может образовываться дополнительная пористость в

случае преимущественной или односторонней растворимости атомов жидкой фазы в твёрдой. В этом случае размер частиц твёрдой фазы возрастает, и если они образуют каркас, то он раздвигается. При этом объём существующих пор также увеличивается, плюс к ним добавляются пустоты, образующиеся на месте ушедших атомов жидкой фазы. Если после завершения сплавообразования в прессовке остаётся ещё достаточно жидкой фазы, то под её воздействием становится возможной переукладка частиц твёрдой фазы в более плотную конфигурацию, и снижение остаточной пористости брикета.

В нашем случае при спекании часть жидкого олова растворяется в частицах железа и распространяется по границам алюминиевых зёрен. Это приводит к увеличению пористости брикета, а оставшейся жидкой фазы явно недостаточно, чтобы инициировать процессы переукладки частиц твёрдой фазы под действием капиллярных сил. В итоге спекание при 490 °C приводит к увеличению пористости образца, и содержащиеся в нём поры хорошо видны на рисунке 3.1б. В основном они образовались на месте ушедших оловянных частиц и вблизи частиц железа из-за растворения жидкой фазы в твёрдой.

Полученные при данном режиме спекания композиты обладали низкими трибомеханическими свойствами, и для их повышения следует в первую очередь устранить поры. Это возможно сделать либо за счёт уплотнения образцов давлением, либо путём спекания их при более высоких температурах.

Согласно предыдущим исследованиям [11], в случае двухфазных композитов Al-Sn заметная усадка образцов и формирование прочного связанного алюминиевого каркаса происходят при температурах спекания выше 570 °C. Однако при нагреве их выше 620 °C вследствие растворения алюминия в расплаве олова образовывалось большое количество жидкой фазы, которое приводило к потере образцами формы. Поэтому в настоящей работе спекание Al-Fe-Sn композитов проводили при температурах 570-620 °C, при которых угол смачивания алюминия расплавом олова снижается, а количество жидкой фазы заметно увеличивается, но ещё не достигает

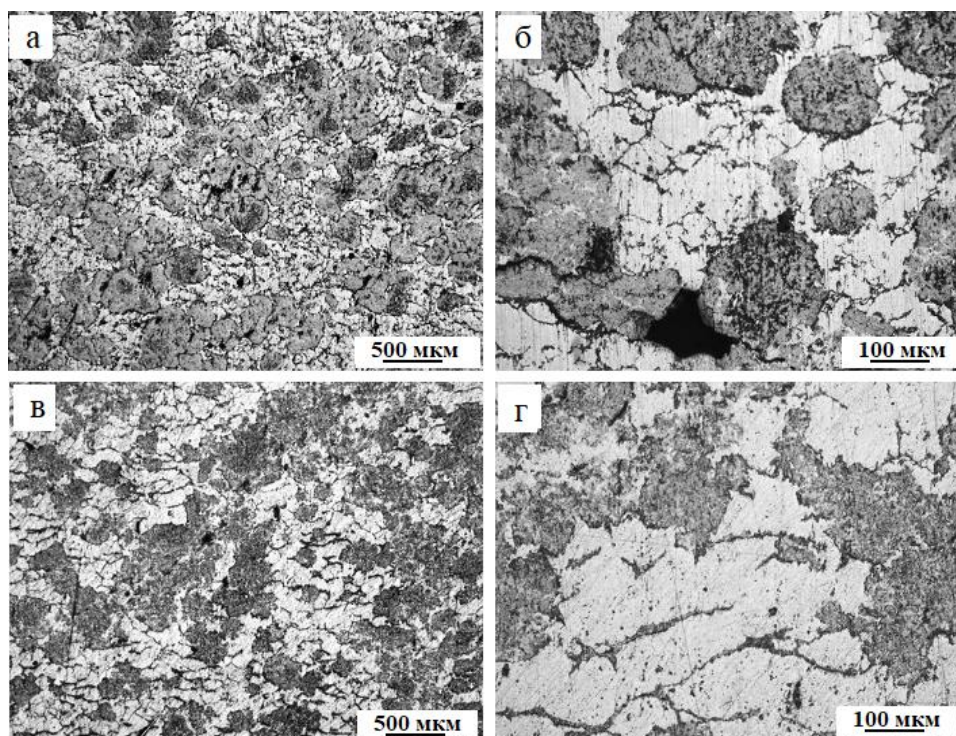
критического объёма. Согласно, диаграммам равновесия на рисунке 3.2, с одной стороны это должно способствовать усадке образцов под действием капиллярных сил, но при этом гарантировать присутствие связанного каркаса из частиц твёрдой фазы, не позволяющего образцам потерять форму под собственным весом.

Известно, что для растекания жидкого олова по алюминиевой прессовке вдоль границ зерен требуется относительно большое количество времени (около 1 часа). Причём, если прессовки быстро нагреть до указанных выше температур, то выдерживать их такое время, дожидаясь равномерного распределения олова, не получается. Ввиду большого количества жидкой фазы, часть ее не успевает растечься по границам алюминиевых частиц и неизбежно выдавливается на поверхность прессовок и безвозвратно теряется. В результате содержание олова в спеченных образцах оказывается ниже рассчитанного. Поэтому перед нагревом образцов до указанных температур спекания их подвергали предварительной выдержке при более низкой температуре (530 °C) в течение часа, чтобы дать возможность олову распространиться по прессовке и при этом избежать значительного его выпотевания.

На рисунке 3.3в, г приведена структура спеченного при температуре 570 °C композита Al-7Fe–38Sn после его предварительной выдержки при 530 °C. Видно, что она заметно отличается от структуры композита, спеченного при более низкой температуре 490 °C (рис. 3.1б). С увеличением температуры спекания растворимость алюминия в олове возрастает, а угол смачивания снижается. Мелкие зерна алюминия при этом растворяются и исчезают, а более крупные увеличиваются в размерах вследствие осаждения на них растворённых атомов. Тонкие оловянные прослойки становятся более толстыми. При этом под действием капиллярных сил происходит переукладка частиц алюминия в более плотную конфигурацию, и пор на месте частиц олова практически не остаётся. Плотность образцов заметно возрастает (таблица 3.1). При этом в случае композита Al-7Fe–38Sn прослойки олова толще, а



зёрна алюминиевой матрицы крупнее ввиду большего содержания оловянной фазы.



**Рисунок 3.3** Структура композитов Al-8Fe-21Sn (а, б) и Al-7Fe-38Sn (в, г) после спекания (570 °С; 1ч) при различных увеличениях.

Наличие оловянных прослоек указывает, что не вся жидкая фаза растворилась в железе, а только определённая ее часть. Причем часть не очень большая, поскольку объём новой интерметаллидной фазы в случае композитов с 38 и 21 % олова примерно одинаковый. Это означает, что количество растворившегося в железе олова определяется скоростью его диффузии в решётке железа, а, следовательно, температурой и длительностью спекания.

В тоже время, плотность образцов после спекания при 570 °С выросла, по сравнению с предыдущим случаем (490 °С). Это может быть результатом как переукладки частиц твёрдой фазы в более плотную конфигурацию, так и результатом дальнейшего сплавообразования, при котором образуются тяжёлые станниды железа. Горячее уплотнение спечённых образцов показывает (таблица 3.1), что реакция между железом и оловом при указанной температуре спекания продолжается, и плотность доуплотненного

(практически беспористого) образца из-за наличия в нём тяжёлых интерметаллических частиц становится выше рассчитанной по правилу механической смеси.

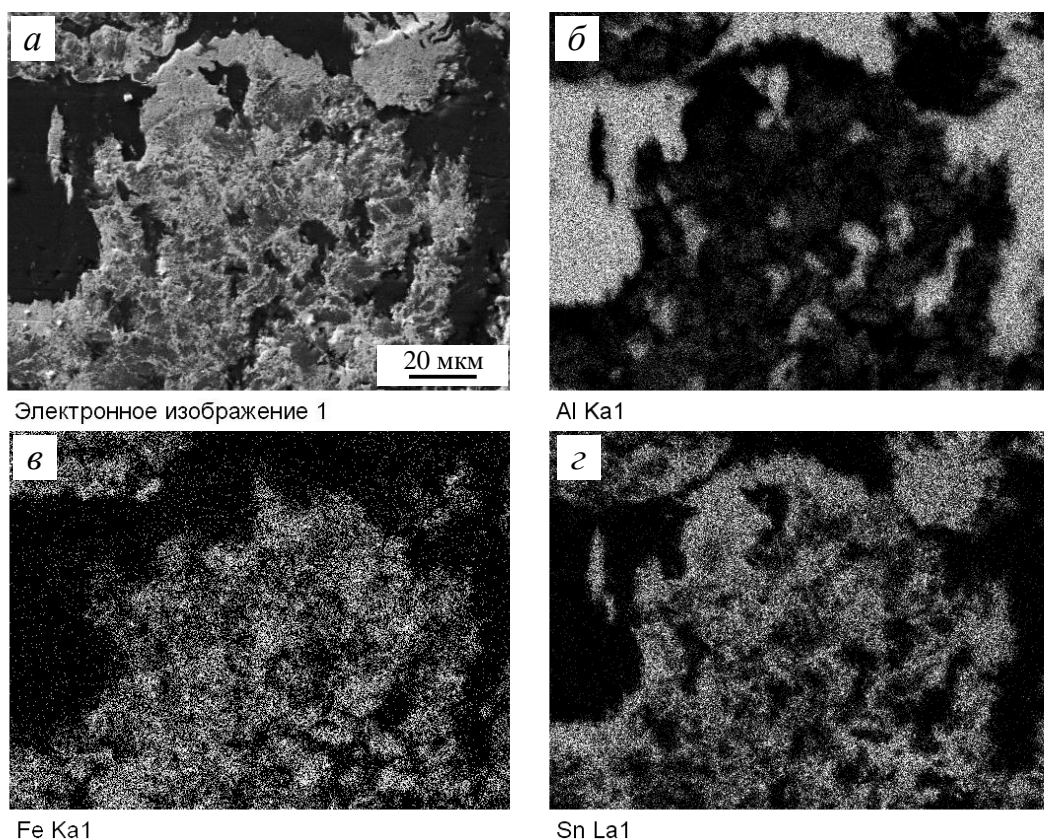
Более детально распределение элементов в спекаемых композитах Al-Fe-Sn, можно рассмотреть на изображениях структуры, полученных в характеристических лучах данных элементов рисунок 3.4. Видно, что олово не только окружает железные частицы, но растворено в них. Причём в центре частиц железа его заметно меньше, чем на их периферии. Тогда как алюминий присутствует в виде отдельной фазы и практически не смешивается ни с оловом, ни с железом. Отсутствие алюминия в железных частицах означает, что жидкое олово обволакивает их и надёжно изолирует от взаимодействия с Al атомами. Для более детального изучения процессов сплавообразования и формирования структуры в системе Al-Fe-Sn нужно использовать дополнительные методы исследований, например, калориметрический и дилатометрический, а также рентгенофазовый анализ.

Из приведенных на рисунке 5 изображений видно, что с увеличением температуры спекания до 620 °C размер оловянных прослоек и частиц алюминиевой матрицы заметно возрастает. Происходит это из-за того, что скорость процессов перекристаллизации атомов алюминия через жидкую фазу возрастает. В результате, количество мелких Al частиц уменьшается, и зеренная структура алюминиевой матрицы огрубляется. При растворении мелких частиц алюминиевый каркас ослабляется, и оставшиеся частицы имеют возможность к переукладке в более плотную конфигурацию под действием капиллярных сил.

Станнидов железа при данной температуре визуально не становится заметно больше, но видно, что имеет место фрагментация агломератов из таких частиц, а прослойки олова в них коагулируют в округлые частицы. Размытые по форме агломераты интерметаллических частиц приобретают более чёткие очертания, а пористость внутри них минимизируется. Естественно, что плотность образцов в результате таких структурных

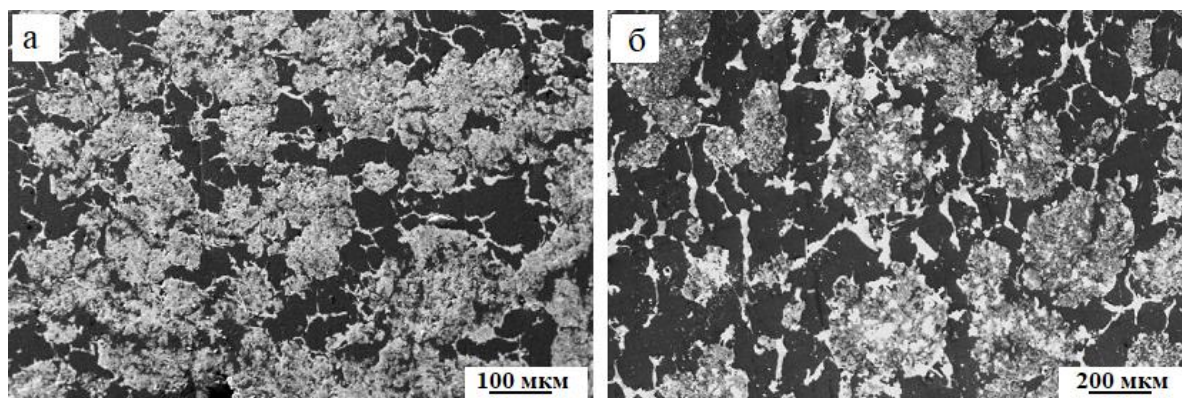


изменений возрастает до  $3,66 \text{ г/см}^3$ , хотя все еще остается ниже рассчитанной по правилу смеси (таблица 3.1).



**Рисунок 3.4** Структура спеченного ( $570 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 1 ч) композита Al-7Fe–38Sn. (а) – РЭМ изображение; (б) – распределение алюминия (EDX); (в) – распределение железа (EDX); (г) – распределение олова (EDX).

После устранения пор горячим доуплотнением, плотность образцов приближается к теоретической для данного состава. Сравнение полученной его величины ( $3,93 \text{ г/см}^3$ ) с аналогичной плотностью образцов, спеченных при меньших температурах показывает, что каждый раз с повышением температуры спекания активизируется сплавообразование между оловом и железом, и тяжелых станнидов с высокой плотностью становится больше. Соответственно, растет и плотность беспористых композитов. То есть, плотность спеченных при более высокой температуре (до  $620 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) прессовок растёт не только за счёт переукладки частиц твердой фазы, но и за счет образования некоторого дополнительного количества станнидов железа.



**Рисунок 3.5.** РЭМ изображения структуры спеченного композита Al-7Fe–38Sn. Температура спекания – 570 °С (а); 620 °С (б). Время выдержки – 1 ч.

В таблице 3.2 приведены данные по механическим свойствам композитов Al-Fe-Sn после спекания и последующего доуплотнения. После спекания при 490 °С структура материала была наиболее неоднородной, и включала много пор (таблица 3.1). При испытаниях на сжатие такие образцы быстро разрушались. Однако с увеличением температуры спекания, механические свойства композитов значительно улучшаются. Так, спеченные при 620 °С композиты были способны деформироваться без разрушения при сжатии их более чем на 30 %, тогда как после спекания при 570 °С, их допустимая осадка не превышала 10 %. Такую же хорошую пластичность демонстрировали и спечённые не содержащие железа образцы сплавов Al-Sn. Однако прочность их при этом была в 1,5 раза ниже (таблица 3.2).

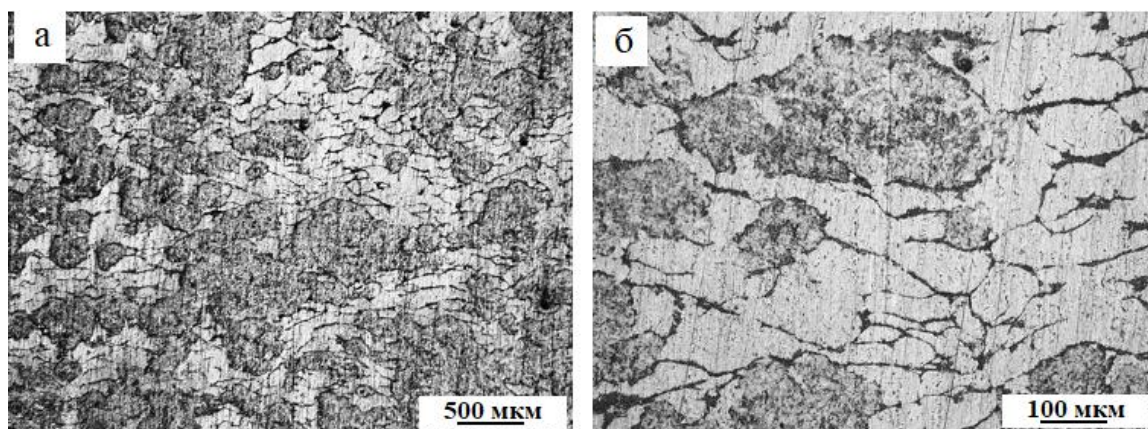
При допрессовке образцов в закрытом штампе при давлении более 300 МПа поры устраняются. Других особых изменений в структуре спечённого материала при этом не происходит, хотя в некоторых случаях зерна алюминиевой матрицы немного плющились, как можно видеть на рисунке 6. Плотность образцов всех составов также значительно увеличилась, и стала выше их теоретической плотности, рассчитанной по правилу механической смеси чистых порошков Al, Fe и Sn. Как было отмечено выше, это обусловлено формированием в процессе спекания соединений олова с железом, плотность которых ( $\rho_{\text{FeSn}} = 8 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_{\text{Sn}_2\text{Fe}} = 8,5 \text{ г/см}^3$ ) заметно выше, чем плотность составляющих их чистых элементов ( $\rho_{\text{Fe}} = 7,8 \text{ г/см}^3$  и  $\rho_{\text{Sn}} = 7,3 \text{ г/см}^3$ ).

**Таблица 3.2.** Влияние режима спекания и последующего горячего доуплотнения на механические свойства при испытании на сжатие композитов Al-Fe-Sn

Композит	Режим получения	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\sigma_2$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
Al-7Fe-38Sn	(570 °C;1 ч)	61	76	81	9,4
	(570 °C;1 ч) + ГД 250 °C	101	123	126	18
	(595 °C;1 ч) + ГД 250 °C	100	123	128	18,5
	(620 °C;1 ч)	61	81	98	> 30
	(620 °C;1 ч) + ГД 250 °C	93	113	123	> 30
Al-8Fe-21Sn	(620 °C;1 ч) + ГД 250 °C	97	119	129	> 30
Al-40Sn	(600 °C;1 ч) + ГД 250 °C	58	71	85	> 30
Al-20Sn	(600 °C;1 ч) + ГД 250 °C	66	80	102	> 30

Испытания образцов на сжатие показали, что структурные изменения, вызванные легированием сплавов Al-Sn железом (5 ат %), положительно сказались на механических свойствах спеченных композитов, и прочность их в результате легирования выросла в 1,5 раза (табл. 2). При этом прочность композитов Al-7Fe-21Sn и Al-7Fe-38Sn отличалась всего на 4-5 %, не смотря на значительное отличие количества в них мягкой оловянной фазы.

Обусловлено это тем, что атомная концентрация железа в смесях была одинакова. В процессе спекания железо может растворить в себе только ограниченное количество атомов олова, поэтому содержание твердых станнидов железа в спеченных образцах также оказывается примерно одинаковым. Непрореагировавшее олово остаётся в свободном виде и распределяется по спекаемому брикету. Отличие пределов текучести олова и алюминия небольшое  $\sigma_{0.2}(\text{Sn}) = 3,8$  и  $\sigma_{0.2}(\text{Al}) = 4,5$  МПа, поэтому отличие в их концентрации мало сказывается на прочности композита Al-Sn. В результате (таблица 3.2) прочности композитов с разным содержанием олова оказываются близкими.

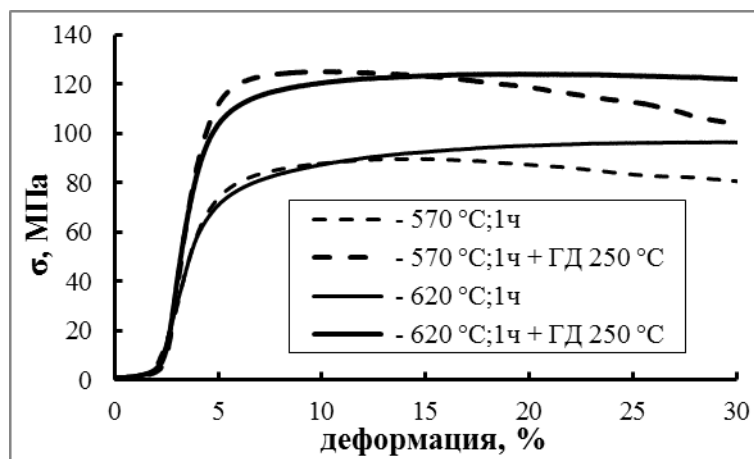


**Рисунок 3.6** Структура спеченного композита Al-7Fe–38Sn после последующего горячего доуплотнения (250 °C) при различных увеличениях.

Режим спекания: 570 °C; 1ч

Основная польза от горячего доуплотнения спеченных брикетов заключается в повышении пластичности материала за счет устранения пор и улучшения межфазных адгезионных связей. Это автоматически приводит к повышению пластичности спеченных образцов, что наглядно можно увидеть на рисунке 3.7, где представлены кривые сжатия спеченных и подвергнутых последующей допрессовке композитов. Из рисунка также видно, что кривые сжатия спеченных при 570 °C и при 620 °C образцов располагаются примерно на той же высоте. Однако пластичность образцов тем лучше, чем выше температура их спекания. Это приводит к тому, что при осадке образцов на 5-10% напряжение течения спеченных при низкой температуре образцов начинает снижаться из-за образования в них трещин.

Такое поведение материала можно было бы объяснить наличием большего количества пор в менее плотном материале, но из рисунка 3.7 видно, что поведение образцов при сжатии остается таким же и у допрессованных композитов. То есть, пластичность спеченных гибридных композитов Al-Fe-Sn при сжатии зависит в первую очередь не от пористости материала, а от особенностей его структуры, которая формируется при спекании. С увеличением температуры спекания до 620 °C алюминиевый каркас становится более прочным, что препятствует локализации деформации и приводит к заметному росту пластичности композитов Al-Fe-Sn.



**Рисунок 3.7** Кривые сжатия спеченных и подвергнутых последующему горячему доуплотнению композитов Al-7Fe-38Sn

Результаты триботехнических испытаний исследуемых композитов приведены в таблице 3.3. Видно, что с увеличением давления на поверхность трения интенсивность линейного изнашивания ( $I_h$ ) всех испытываемых образцов возрастала, в то время как коэффициент трения ( $\mu$ ) снижался. При этом значение  $\mu$  практически не зависело от состава и от способа получения исследуемого образца. Отметим, что в случае спеченных двухфазных композитов Al-Sn также наблюдалось снижение величины  $\mu$  и увеличение  $I_h$  с ростом нагрузки на поверхность трения [17].

Температура спекания также оказывает влияние на интенсивность изнашивания гибридных композитов. Чем она выше, тем лучше сопротивление композитов изнашиванию в отсутствии смазки. Видимо, это объясняется увеличением связанности алюминиевого каркаса с повышением температуры спекания, а также снижением остаточной пористости материала. Например, если у образцов состава Al-7Fe-38Sn сравнить величину их  $I_h$  после спекания при 570 и 620 °C, то можно заметить, что указанная величина тем ниже, чем выше температура спекания композитов. Особенно заметна указанная разность при повышенных нагрузках.

Если спеченные образцы подвергнуть допрессовке при 250 °C, то их износостойкость при сухом трении по стали значительно улучшается во всём исследованном диапазоне нагрузок. Причём существенной разницы во

влиянии температуры спекания на величину износостойкости композитов не выявлено, хотя спечённый при 620 °С композит показывает лучшие результаты.

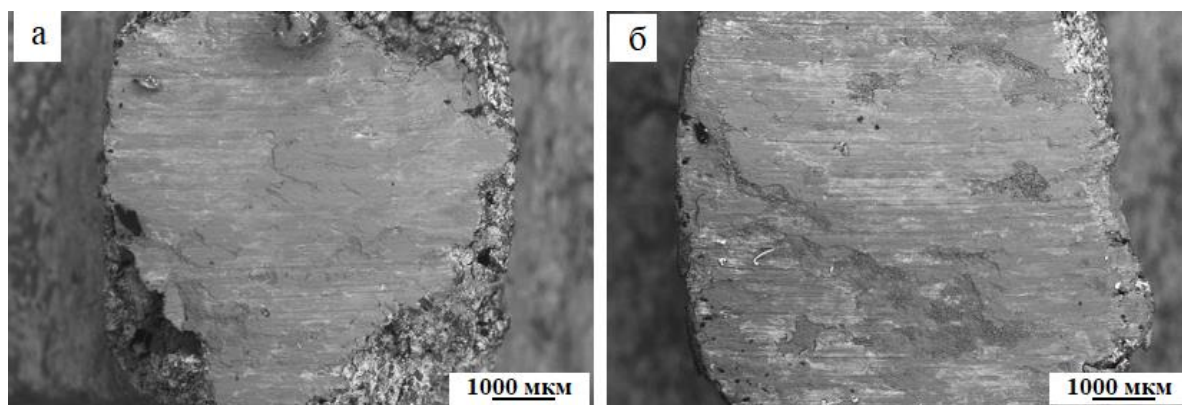
Износостойкость спечённых при 570 °С образцов с меньшим содержанием олова была хуже, чем у композита с 38 % олова, спеченного при этой же температуре. Однако после спекания при 620 °С их прочность существенно возросла (таблица 3.2). После допрессовки такие образцы демонстрировали хорошую износостойкость, но только при давлении не выше 3 МПа. При более высоком давлении их износостойкость заметно уступала износостойкости горячепрессованных образцов с большим содержанием олова. То есть, композиты с высоким исходным содержанием олова более предпочтительны в условиях сухого трения по стали. Отметим, что износостойкость двухфазных сплавов также возрастала по мере повышения содержания в них олова вплоть до 40 вес. % Sn [17].

**Таблица 3.3** Трибологические свойства спеченных и подвергнутых последующему горячему доуплотнению композитов Al-Fe-Sn при сухом трении по стали. Скорость скольжения  $V = 0,6$  м/с

Композит	Режим получения	Интенсивность изнашивания (мкм/м)				Коэффициент трения			
		1 МПа	3 МПа	4 МПа	5 МПа	1 МПа	3 МПа	4 МПа	5 МПа
Al-7Fe-38Sn	(570 °С; 1 ч)	0,14	0,33	0,42	0,55	0,49	0,39	0,38	0,29
	(570 °С; 1 ч) + ГД 250 °С	0,13	0,22	0,25	0,28	0,43	0,37	0,38	0,30
	(595 °С; 1 ч) + ГД 250 °С	0,13	0,19	0,25	0,28	-	-	-	-
	(620 °С; 1 ч)	0,15	0,26	0,28	0,33	-	-	-	-
	(620 °С; 1 ч) + ГД 250 °С	0,13	0,19	0,23	0,25	-	-	-	-
Al-8Fe-21Sn	(570 °С; 1 ч)	0,16	0,35	0,52	0,59	0,47	0,40	0,39	0,32
	(570 °С; 1 ч) + ГД 250 °С	0,16	0,28	0,40	0,46	-	-	-	-
	(620 °С; 1 ч) + ГД 250 °С	0,13	0,22	0,33	0,36	-	-	-	-
Al-40Sn	(600 °С; 1 ч) + ГД 250 °С	0,13	0,20	0,23	0,25	-	-	-	0,31
Al-20Sn	(600 °С; 1 ч) + ГД 250 °С	0,13	0,24	-	0,36	-	-	-	-



На рисунке 3.8 приведены изображения поверхностей трения, спеченного при 570 °С, а также подвергнутого последующему доуплотнению композита Al-7Fe-38Sn. Видно, что спеченный образец имел более низкую износостойкость при высоком давлении (5 МПа) из-за того, что его края сильно разрушались в процессе трения. Площадь трения при этом сокращалась, а фактическое давление на его поверхности возрастало. Тогда как доуплотненный материал был уже не столь хрупким и демонстрировал более высокую износостойкость.



**Рисунок 3.8** РЭМ изображения поверхности трения, спеченного (570 °С; 1 ч) (а) и подвергнутого последующему горячему доуплотнению (б) композита Al-7Fe-38Sn после сухого трения по стали. Скорость скольжения – 0,6 м/с; давление на поверхность трения – 5 Мпа.

Из приведенных в таблице 3.3 данных по интенсивности изнашивания видно, что доуплотненный образец Al-7Fe-38Sn обладал практически одинаковой износостойкостью по сравнению с двухфазным Al-40Sn материалом. Аналогичная ситуация наблюдалась и при сравнении In композита Al-8Fe-21Sn с его двухфазным аналогом Al-20Sn. То есть, не смотря на введение большого числа твердых интерметаллидов и значительного повышения прочности, износостойкость исследуемых композитов почти не изменилась по сравнению с двухфазными образцами. Данный факт, вероятно, связан с тем, что значительная часть олова при спекании образцов Al-Fe-Sn ушла в соединение с железом, в результате чего его содержание как твердой смазки в образцах заметно сократилось, что отрицательно сказалось на

износостойкости образцов. Вероятным способом решения данной проблемы видится введение большего количества олова в исходную смесь, чтобы в результате его, как мягкой фазы, оставалось в образце после спекания около 40 вес.% (20 об.%).



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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4AM81	Коваль Илья Сергеевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Отделение материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Машиностроение

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
<i>Стоимость ресурсов для исследования влияния механической активации на свойства порошковой стали 304L</i>	<i>Работа с научной литературой и патентами, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
<i>2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
<i>3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ</i>
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования.</i>
<b>Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
<i>1. Оценка конкурентоспособности технических решений                  2. Матрица SWOT                  3. График проведения НИИ                  4. Определение бюджета НИИ                  5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	31.01.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		31.01.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4AM81	Коваль Илья Сергеевич		31.01.2020

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования.**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта по получению спеченных композитов системы Al-Fe-Sn.

Потенциальным потребителем результатов исследования может являться любое машиностроительное предприятие. В особенности, производители подшипников скольжения. Поскольку подшипники используются практически в любой отрасли, где используются машины, то любому машиностроительному предприятию - производителю данные результаты исследования будут представлять интерес.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

#### **4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.**

Основным конкурентом является классическое получение сплава Al-Fe-Sn методом литья. Данный метод широко применяется в современном машиностроении в силу своей простоты и доступности.

Целевой рынок – определённая группа людей, которым будет продаваться в будущем разработка.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

**Таблица 4.1** – Карта сегментирования рынка

		Потенциальные отрасли использования антифрикционных композиционных материалов системы (Al-Fe)-Sn		
		Авиастроение	Машиностроение	Космическое машиностроение
<b>Характеристики</b>	Высокий КПД (малые потери)		X	
	Материалоёмкость (компактность)	X	X	X
	Надёжность, долговечность		X	
	Снижение себестоимости	X	X	X
	Доступность	X	X	X

Как видно из карты сегментирования, основными сегментами данного рынка является машиностроение, где требуется высокая износостойкость и малые потери.

**Таблица 4.2** – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда	0,20	4	3	0,80	0,60
Простота технологии получения сплава	0,10	3	2	0,30	0,20
Энергоэкономичность	0,20	5	3	0,80	0,60
Надежность	0,05	4	4	0,20	0,30
Уровень шума	0,05	3	3	0,15	0,15
Экологичность материала	0,10	4	3	0,40	0,30
Область применения	0,10	3	2	0,30	0,20
Экономические критерии оценки					
Конкурентоспособность	0,10	4	2	0,40	0,20
Цена	0,05	3	3	0,40	0,45
Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	2	0,40	0,10
ИТОГО:	1	37	27	4,15	3,10

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку получения спеченных композиционных материалов системы Al-Fe-Sn (К<sub>ф</sub>) и получение таких же сплавов методом литья (К<sub>к</sub>).

Как видно из таблицы, по техническим критериям обе траектории имеют достаточно равные параметры. При этом метод получения сплава спеканием порошков выигрывает по производительности труда и незначительно проигрывает надежности. Однако, по экономическим критериям метод получения сплава спеканием порошков оказывается лучше конкурента. У него более длительный срок эксплуатации и ниже цена.

Из всего этого можно сделать вывод, что метод получения сплава спеканием является более доступным и его использование на предприятии экономически более оправдано.

## 4.2 SWOT – анализ

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

**Таблица 4.3 – Матрица SWOT**

<b>Strengths (сильные стороны)</b>	<b>Weaknesses (слабые стороны)</b>
С1. Возможность модифицирования состава исходного материала; С2. Высокая работоспособность изделия; С3. Улучшение антифрикционных свойств поверхности; С4. Снижение себестоимости изделия.	Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки; Сл2. Не отработана технология получения порошков, которые используются для формирования образцов; Сл3. Вероятность структурообразования составов; Сл4. Вероятность получения брака.
<b>Opportunities (возможности)</b>	<b>Threats (угрозы)</b>
В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (использование научного оборудования); В2. Возможность внедрения технологии в производство; В3. Возможность участия в грантах, для повышения производительности изделия; В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	У1. Вероятность появления более высокооплачиваемой предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований; У2. Отсутствие оборудования для массового производства; У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со

	стороны государства приводит к несвоевременно выполнению заказов изделия.
--	---

**Таблица 4.4** – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	0	-	-	0
	B2	+	0	-	+
	B3	0	+	0	-
	B4	-	-	-	0

**Таблица 4.5** – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	0	-	+
	B2	-	0	0	0
	B3	0	+	-	-
	B4	+	-	-	-

**Таблица 4.6** – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	0	-	0
	У2	0	-	0	-
	У3	-	0	0	+

**Таблица 4.7** – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	0	0	-
	У2	+	-	-	0
	У3	0	-	-	+

На последнем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.8.

**Таблица 4.8** – Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны Проекта
	C1. Возможность модифицирования состава исходного материала;	Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки;

	<p>С2. Высокая работоспособность изделия;</p> <p>С3. Улучшение антифрикционных свойств поверхности;</p> <p>С4. Снижение себестоимости изделия.</p>	<p>Сл2. Не отработана технология получения порошков, которые используются для формирования образцов;</p> <p>Сл3. Вероятность структурообразования составов;</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака.</p>
<b>Возможности</b>		
<p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (использование научного оборудования);</p> <p>В2. Возможность внедрения технологии в производство;</p> <p>В3. Возможность участия в грантах, для повышения производительности изделия;</p> <p>В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>	<p>С1 В2. Внедрение технологии в различные производства за счет возможности варьирования состава;</p> <p>С4 В2. Вероятность расширения количества поставщиков (снижение себестоимости изделия);</p> <p>С2 В3. Участие в грантах приводят к улучшению высокой работоспособности изделия;</p>	<p>В1 Сл4. Новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака;</p> <p>В1 Сл1. Возможность изготовления прототипа;</p> <p>В3 Сл2. Возможность отработки технологии на средства из грантов;</p>
<b>Угрозы</b>		
<p>У1. Вероятность появления более высокооплачиваемой предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований;</p> <p>У2. Отсутствие оборудования для массового производства;</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства приводит к несвоевременно выполнению заказов изделия.</p>	<p>У1 С1. Возможность изменить состав для повышения конкурентоспособности с новыми предложениями на рынке.</p> <p>У3 С4. Появление резервных средств за счет экономии материала.</p>	<p>У3 Сл4. Длительный простой производства.</p> <p>У2 Сл1. Нежелание крупных предприятий сотрудничать в условиях отсутствия прототипа и оборудования массового производства.</p>

### 4.3 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

#### 4.3.1 Цели и результаты проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

**Таблица 4.9** – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Исполнитель (магистрант)	Магистерская диссертация
Университет	Наличие НИОКР
Потребители	Повышение качества изделия с одновременным снижением ресурсозатрат
Государство	Возможность импортозамещения

**Таблица 4.10** – Цели и результаты проекта

<b>Цели проекта</b>	Определить составы смесей порошков Al-Fe с различным содержанием олова, а также режимы их спекания
<b>Ожидаемые результаты Проекта</b>	Получение композиционных материалов, которые будут отвечать всем технологическим свойствам, предъявляемым к износостойким материалам
<b>Критерии приемки результата проекта</b>	Законченная научно-исследовательская работа, опробованная на международных конференциях
<b>Требования к результату Проекта</b>	Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение
	Оформленная магистерская диссертация

В таблице представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

#### 4.3.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решены следующие вопросы: кто входит в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информация представлена в таблице 4.11.

**Таблица 4.11 – Рабочая группа проекта**

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудо-затраты, час</b>
1	Коваль И.С., магистрант отд. Материаловедения	Исполнитель	Получение образцов. Проведение испытаний. Составление отчета.	2144
2	Коростелева Е.Н., НИ ТПУ, к.т.н., Доцент	Руководитель, эксперт	Консультация по теоретической части проекта.	200
3	Скоренцев А.Л., НИ ТПУ, научный сотрудник	Инженер	Помощь в подготовке и проведении экспериментов и оформлении отчета.	1520
<b>ИТОГО:</b>				3864

#### 4.3.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта.

**Таблица 4.12 – Ограничения проекта**

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
Бюджет проекта	Бюджет проекта 10500000 руб.
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта	10.09.2019-10.06.2020
Дата утверждения плана управления проектом	13.09.2019



#### 4.3.4 План проекта

**Таблица 4.13** – Календарный план проекта

№ п/п	Название	Длит., дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Обсуждение плана проекта	3	10.09.19	13.09.19	Коростелева Е.Н. Скоренцев А.Л. Коваль И.С.
2	Обзор литературы	30	13.09.19	12.10.19	Скоренцев А.Л. Коваль И.С.
3	Получение композиционных материалов	30	12.10.19	10.11.19	Скоренцев А.Л. Коваль И.С.
4	Исследование полученных материалов	40	10.11.19	19.12.19	Скоренцев А.Л. Коваль И.С.
5	Описание результатов	10	19.12.19	29.12.19	Скоренцев А.Л. Коваль И.С.
6	Деформационная обработка	20	11.01.20	31.01.20	Скоренцев А.Л. Коваль И.С.
7	Исследование полученных материалов после деформационной обработки	25	01.02.20	26.02.20	Скоренцев А.Л. Коваль И.С.
8	Описание результатов	8	26.02.20	04.03.20	Скоренцев А.Л. Коваль И.С.
9	Отчет по исследовательской Работе	25	04.03.20	29.03.20	Коваль И.С.
10	Оформление пояснительной записки	53	29.03.20	20.05.20	Коваль И.С.
11	Подведение итогов	22	20.05.20	10.06.20	Коростелева Е.Н. Скоренцев А.Л. Коваль И.С.
<b>ИТОГО ИСПОЛНИТЕЛЬ:</b>					268
<b>ИТОГО РУКОВОДИТЕЛЬ:</b>					25
<b>ИТОГО ИНЖЕНЕР:</b>					190

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Календарный график представляется в виде таблицы 4.13.



**Рисунок 4.1 – Диаграмма Ганта**

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

#### 4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 4.14.

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

**Таблица 4.14** – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во, ед.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Порошок олова марки ПО-2	1 кг.	850	850
Порошок алюминия АСД-4	1 кг.	290	290
Порошок железа ПЖР-3	1 кг.	120	120
Кислота (HNO <sub>3</sub> )	1000 мл.	330	330
Спирт	1000 мл.	300	300
Суспензия	500 мл.	400	400
Чистящее средство	8 шт.	50	400
Наждачная бумага	10 шт.	46	460
Всего за материалы			3150
Электроэнергия			1581,54
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			125
<b>ИТОГО:</b>			4856,54

**Таблица 4.15** – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Марка	Кол-во, шт	Цена за ед., руб	Сумма, руб
1	Гидравлический пресс	«МС-500»	1	385000	385000
2	Вакуумная печь	«СНВЭ-1.3.1/16»	1	1285000	1285000
3	Смеситель	«шаровая мельница»	1	15000	15000
4	Вытяжной шкаф	«ШВ-СТЛ.100»	1	75000	75000
5	Полировальный станок	«MECAPOL P 230»	1	400000	400000
6	Триботестер	«Tribotechnic»	1	2250000	2250000
7	Универсальная испытательная машина	«Walter+Bai AG LFM-125»	1	500000	500000
8	Оптический микроскоп	«AXIOVERT-200 MAT»	1	1570000	1570000
9	Микроскоп	«LEO EVO 50»	1	2800000	2800000
10	Компьютер	LG	1	55000	55000
<b>ИТОГО:</b>					<b>9335000</b>

Вышеуказанное спецоборудование для научных работ было в лаборатории.

Расчет основной и дополнительной заработной платы сведем в **Ошибка!**

**Источник ссылки не найден.**

**Таблица 4.16** – Основная и дополнительная заработная плата

Испол.	З <sub>б</sub>	К <sub>пр</sub>	К <sub>д</sub>	К <sub>р</sub>	З <sub>м</sub>	З <sub>дн</sub>	Т <sub>раб</sub>	З <sub>осн</sub>	К <sub>д</sub>	З <sub>доп</sub>
	руб.	-	-	-	руб.	руб.	р.дн.	руб.	руб.	руб.
Руков.	28000	1	0,1	1,3	40040	1793	25	44825	0,1	4482,5
Испол.	10500	1	0,1	1,3	15015	627	268	168036	0,1	16803,6
Инжен.	21000	1	0,1	1,3	30030	1344	190	255360	0,1	25536
Итого, руб.								468221		46822,1

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет 30,2%.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot 515043,1 = 155\,543 \text{ руб.}$$

#### 4.4.1 Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении задания.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}}(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}); \quad (4.1)$$

где:  $K_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

**Таблица 4.17** – Накладные расходы

Исполнитель	Основная зар. плата, руб.	Дополнительная зар. плата, руб.	Накладные расходы, руб.
Руководитель	44 825	4 482,5	44 307,5
Исполнитель	168 036	16 803,6	166 355,64
Инженер	255 360	25 536	252 806,4
Итого, руб.			463 469,54

**Таблица 4.18** – Полная смета затрат

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Сырье, материалы	4 856,54
Оборудование	9 335 000
Основная заработная плата	468 221
Дополнительная заработная плата	46 822,1
Отчисления на социальные нужды	155 543
Накладные расходы	463 469,54
<b>ИТОГО:</b>	<b>10 473 912,18</b>

#### 4.4.2 Общие итоги финансирования и расходов

Итоговая плановая себестоимость составила 10473912,18рублей, финансирование составило 10500000 рублей. Посчитаем разницу:

$$10473912,18 - 10500000 = -26087,82 \text{ руб.}$$

Разница составляет 26087,82 рублей, расходы не превышают поступления.

## 4.5 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности. Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

- Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта;
- Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

**Таблица 4.19** – Матрица ответственности

Этапы проекта	Магистрант	Руководитель проекта	Инженер
Обсуждение плана проекта	И	О	У
Обзор литературы	И	О	У
Получение композиционных материалов	И	О	И
Исследование полученных материалов	И	О	О
Описание результатов	И	О	О
Деформационная обработка	И	О	И
Исследование полученных материалов после деформационной обработки	И	О	О
Описание результатов	И	О	О
Отчет по исследовательской работе	И	У	О
Оформление пояснительной записки	И	У	О
Подведение итогов	И	О	О

## 4.6 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 риска проекта

№ п/ п	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска*	Способы смягчения	Условия наступления
1	Поставка материалов	Срыв поставок	2	2	Н-ий	Найти надёжного поставщика	Истечение срока договора
2	Эконом-кий	Снижение фин-ния	3	3	Ср-ий	Найти материалы по низкой цене	Кризис

## 4.7 Оценка абсолютной 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 (DPR).



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:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_{опt}}{(1+i)^t} - I_0; \quad (4.2)$$

где: ЧПД<sub>опt</sub> – 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 4.21. При расчете, рентабельность проекта составляла 20%, норма амортизации - 10%. Бюджет проекта – 10500000 руб. (Операционные затраты) = Сырье + Амортизация + ФОТ (Осн. ЗП + доп. ЗП. + соц. отч.)  $V_{реал.} = \text{Бюджет(себестоимость)} \times 1,2$ ;  $Ц = C \times (1 + P/100)$ .

**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	12600000	12600000	12600000	12600000
2	Итого приток, руб.	0	12600000	12600000	12600000	12600000
3	Инвестиционные издержки, руб.	-10500000	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	1608942,64	1608942,64	1608942,64	1608942,64
5	Налогооблагаемая прибыль	0	10991057,36	10991057,36	10991057,3	10991057,36
6	Налоги 20 %, руб.	0	2198211,472	2198211,472	2198211,472	2198211,472

7	Итого отток, руб.	-10500000	3807154,112	3807154,112	3807154,11 2	3807154,112
8	Чистая прибыль, руб.	0	8792845,89	8792845,89	8792845,89	8792845,89
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-10500000	9726345,89	9726345,89	9726345,89	9726345,89
1 0	Коэффициент дисконтирован ия (КД)	1	0,833333	0,694444	0,578704	0,482253
1 1	Чистый дискон-ый доход (ЧДД), руб.	-10500000	8105284,99	6754402,55	5628675,27	4690559,48
1 2	$\sum \text{ЧДД}$	25178924,29				
1 2	Итого NPV, руб.	14678924,29				

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1+i)^t}; \quad (4.3)$$

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

$t$  – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 14678924,29 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:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{\text{ЧДП}_t}{(1+i)^t} / I_0; \quad (4.4)$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

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

$$PI = 25178924,29 / 10500000 = 2,4$$

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.

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_{\text{опт}}}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t}; \quad (4.5)$$

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования ( $i$ ) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 4.22 и на рисунке 4.2.

**Таблица 4.22** - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-10500000	9726345,89	9726345,89	9726345,89	9726345,89	
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	-10500000	8841248,41	8033961,70	7304485,76	6643094,24	20322790,11

	0,2	-10500000	8102046,13	6750084,05	5621827,92	4688098,71	14662056,81
	0,3	-10500000	7479559,56	5757996,77	4425487,38	3404221,06	10567264,77
	0,4	-10500000	6944610,97	4960436,40	3540389,90	2528849,93	7474287,2
	0,5	-10500000	6487472,71	4318497,58	2869272,04	1925816,49	5101058,82
	0,6	-10500000	6078966,18	3793274,90	2373228,40	1488130,92	3233600,4
	0,7	-10500000	5719091,38	3258325,87	1974448,22	1089350,74	1541216,21
	0,8	-10500000	5407848,31	3005440,88	1663205,15	924002,86	500497,2
	0,9	-10500000	5116057,94	2694197,81	1420046,50	748928,63	-520769,12
	1,0	-10500000	4863172,95	2431586,47	1215793,24	603033,45	-1386413,89



**Рисунок 4.2** – 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 0,85.

Запас экономической прочности проекта:  $85\% - 20\% = 65\%$ .

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.	-10500000	8105284,99	6754402,55	5628675,27	4690559,48
2	То же нарастающим итогом, руб.	-10500000	-2394715,01	4359687,54	9988362,81	14678922,29
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + (2394715,01 / 6754402,55) = 1,36$ 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
Высокие затраты на получение сплавов системы Al-Fe-Sn методом литья	Значительное уменьшение затрат на получение таких же композитов методом порошковой металлургии
Сложность получения сплавов системы Al-Fe-Sn методом литья	Упрощение получения таких же композитов методом порошковой металлургии

#### 4.8 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 как:

$$I_{\Phi}^p = \Phi_i / \Phi_{\max}; \quad (4.6)$$

где:  $\Phi_i$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения, руб.;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта, руб.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a; \quad (4.7)$$

где:  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

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

$$I_{\text{фин}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\Phi}^p}; \quad (4.8)$$

$$I_{\text{фин}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\Phi}^a}; \quad (4.9)$$

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

**Таблица 4.25** – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

	<b>Весовой коэффициент параметра</b>	<b>Текущий проект</b>	<b>Аналог</b>
Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4
Помехоустойчивость	0,1	4	3
Энергосбережение	0,2	5	3
Надежность	0,2	4	3
Материалоемкость	0,2	4	4
<b>ИТОГО:</b>	1		

$$I_{\text{ТП}} = 0,2 \times 5 + 0,1 \times 4 + 0,1 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,2 \times 4 = 4,4;$$

$$I_{\text{Аналог}} = 0,2 \times 4 + 0,1 \times 4 + 0,1 \times 3 + 0,2 \times 3 + 0,2 \times 3 + 0,2 \times 4 = 3,5.$$

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

$$I_{\text{фин}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}; \quad (4.8)$$

$$I_{\text{фин}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a}; \quad (4.9)$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{фин}}^p}{I_{\text{фин}}^a}; \quad (4.10)$$

**Таблица 4.26 – Сравнительная эффективность разработки**

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель	1,14	0,92
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,5	4,4
3	Интегральный показатель эффективности	4,69	4,77
4	Сравнительная эффективность исполнения	1,01	1,26

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы, т.к. значение меньше единицы, но больше нуля.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы, т.к. значение меньше единицы, но больше нуля.

При сравнении значений интегральных показателей эффективности разработки и аналога, можно сказать, что более эффективным решением является получения композиционных материалов системы Al-Fe-Sn методом спекания порошков.



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4AM81	Коваль Илья Сергеевич

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Отделение материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Машиностроение

Тема ВКР:

<b>Структура, механические и трибологические свойства гибридных спеченных композитов Al-Fe-Sn</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	<p><i>Объектом исследования являются композиционные порошки системы Al-Fe-Sn.</i></p> <p><i>Исследование проводилось на базе лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов ИФПМ СО РАН. Область применения: порошковая металлургия.</i></p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ;</li> <li>– Положение об организации работы по охране труда в ИФПМ СО РАН [Текст].</li> <li>– Томск: ИФПМ СО РАН, 2018. – 18с;</li> <li>– Требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78;</li> <li>– Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ должны обеспечиваться в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;</li> <li>– средства пожаротушения предусматриваются согласно требованиям противопожарной безопасности по СнП 2.01.02. -85;</li> <li>– Использование электрических приборов осуществляются в соответствии с ГОСТ Р 52084-2003.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Превышение уровня шума</li> <li>2. Вредные вещества</li> <li>3. Отклонение показателей микроклимата</li> <li>4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>5. Опасность поражения электрическим током</li> </ol>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Воздействие на атмосферу в связи с токсичностью порошков, взрывоопасностью и пожароопасностью некоторых материалов и газов;</li> <li>– Влияние на гидросферу посредством слива кислот,</li> </ul>

	<i>щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации..</i>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<i>Возможные чрезвычайные ситуации при выполнении проекта являются: поражение электрическим током, короткое замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Для предотвращения ЧС необходимым является осуществление меры по технике безопасности на рабочем месте.</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	31.01.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Александр Иванович	К.т.н., доцент		31.01.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Коваль Илья Сергеевич		31.01.2020

## **5 Социальная ответственность**

### **5.1 Введение**

В данном разделе дипломной работы рассмотрены вопросы по охране труда и окружающей среды. Работа была проведена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН в лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований структуры, механических и трибологических свойств гибридных спеченных композитов Al-Fe-Sn. Все исследования, связанные с данной работой, производились на базе НИ ТПУ. В ходе экспериментальных исследований использовался полировальный станок. Полученные результаты эксперимента обрабатывались на ПК.

Производственная среда, организация рабочего места должны соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, эргономики, экологической и пожарной санитарии.

### **5.2 Анализ условий труда на рабочем месте**

Рабочее место располагается на 2 этаже корпуса ИФПМ СО РАН, помещение представляет собой комнату размером длиной 8 м на 6 м, высотой 3,5 м, 2 окнами, выходящими на север и восток. В помещении находится 2 технологического оборудования.

Работа производилась на полировальном станке «MECAPOL P 230», при работе на котором существует ряд вредных и опасных производственных факторов. Использование в работе разных жидкостей также приводит к возникновению ряда вредных и опасных факторов.

Вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015:

- повышенный уровень вибрации;
- недостаточная освещенность рабочей зоны, наличие прямой и отраженной блескости, повышенная пульсация светового потока;
- пониженная влажность воздуха;
- абразивная пыль, мелкая стружка и аэрозоли смазочно-охлаждающей жидкости;
- высокий уровень электромагнитных излучений;
- статическое положение тела в течение длительного времени;
- монотонность работы.

Опасные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015:

- электрический ток;
- короткое замыкание;
- движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы;
- высокая температура поверхности обрабатываемых деталей и инструмента;

### **5.3 Анализ показателей шума и вибрации**

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на

рабочих местах не должно превышать 80 дБА [18]. Уровень шума в лаборатории составляет не более 30 дБА (данные взяты из технического паспорта к полировальному станку), что не превышает нормативных показателей.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

СКЗ:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения.

СИЗ:

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

#### **5.4 Анализ показателей микроклимата**

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Состояние микроклимата должно соответствовать допустимым нормам по ГОСТ 12.1.005-88.

Параметры микроклимата лаборатории следующие: категория работы – легкая 2а; в холодный период температура воздуха в помещении составляет 21–23°C, влажность воздуха 38–56 %, скорость движения воздуха – до 0,1 м/с. В теплый период температура воздуха в помещении составляет 22–25°C, влажность воздуха 42–62 %, скорость движения воздуха – до 0,2 м/с

Реальные параметры микроклимата соответствуют допустимым значениям СанПиН 2.2.4.548-96 для данного вида работ [19].

Для создания оптимальных параметров микроклимата в лаборатории, необходима установка в кабинете системы кондиционирования воздуха, которая обеспечит поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах и обеспечит очистку воздуха от пыли. Для повышения температуры до необходимой нормы в холодное время года необходимо произвести очистку системы искусственного отопления для улучшения скорости теплообмена.

## **5.5 Анализ освещенности рабочей зоны**

Создание комфортных световых условий труда улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего.

В данном рабочем помещении используется смешанное освещение. Естественное освещение осуществляется через окно в наружной стене здания. В качестве искусственного освещения используется система общего

освещения (освещение, светильники которого освещают всю площадь помещения). Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 лк. В данной работе использовались «Общие санитарно-гигиенические требования к показателям микроклимата рабочей зоны, который устанавливает стандарт СанПиН 2.2.4.3359–16».

Для организации такого освещения лучше выбрать люминесцентные лампы, так как они имеют ряд преимуществ перед лампами накаливания: их спектр ближе к естественному освещению; они имеют большую экономичность (больше светоотдача) и срок службы (в 10–12 раз больше чем лампы накаливания). Для данного помещения, в котором будет эксплуатироваться информационная система, люминесцентные лампы подходят.

В настоящее время в лаборатории используются светильники ШОД (люминесцентный светильник, соответствующий широкому типу кривой силы света, относящийся классу отраженного света светильника по светораспределению).

Нормами для данных работ установлена необходимая освещенность рабочего места  $E=300$  лк (так как работа очень высоко точности – наименьший размер объекта различия равен 0,15–0,3 мм разряд зрительной работы – Г, фон – светлый, контраст объекта с фоном – большой) [20].

Произведем расчет освещения.

Помещение имеет площадь  $48\text{ м}^2$ , ширина составляет 6 м, длина – 8 м, высота – 3,5 м. Воспользуемся методом светового потока. В помещении лаборатории используются люминесцентные лампы ШОД, использование которых допускается при умеренной влажности и запыленности.

Величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, т.к. со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп снижается освещенность. Значение коэффициента запаса, выбираемого для помещения с малым выделением пыли, при люминесцентных лампах  $K_3 = 1,5$ .

Расположение светильников должно соответствовать двум критериям:

- обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослепленности и необходимой направленности света на рабочие места;
- наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

Расположим светильники параллельно стенам. Расстояние между светильниками рассчитаем по формуле:

$$\lambda = L/h; \quad (5.1)$$

где,  $L$  - расстояние между светильниками, м;

$h$  - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

Находим  $\lambda = 1,2$  (при  $h = 2,5$  м)

Отсюда следует, что  $L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2,5 = 3$  (м).

Расстояние от стен помещения до крайних светильников  $1/3L$ .

Изобразим в соответствие с исходными данными план помещения, укажем на нем расположение светильников и определим их число.

Воспользуемся методом коэффициента использования светового потока. С его помощью можно рассчитать, как световой поток ламп, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности с учетом света, отраженного стенами и потолком, так и освещенность при известном потоке.

Для определения количества светильников определим световой поток, падающий на поверхность по формуле:

$$F = \frac{E \times K \times S \times Z}{\eta \times n}; \quad (5.2)$$

где,  $F$  - рассчитываемый световой поток, лм;

$E$  - нормированная минимальная освещенность, лк (определяется по таблице). Работу специалиста, в соответствии с этой таблицей, можно отнести к разряду точных работ, следовательно, минимальная освещенность будет  $E = 400$  лк;

$S$  - площадь освещаемого помещения (в нашем случае  $S = 48 \text{ м}^2$ );



$Z$  - отношение средней освещенности к минимальной (обычно принимается равным 1,1-1,2, пусть  $Z = 1,1$ );

$K$  - коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации (его значение зависит от типа помещения и характера проводимых в нем работ и в нашем случае  $K = 1,5$ );

$\eta$  - коэффициент использования, (выражается отношением светового потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп и исчисляется в долях единицы; зависит от характеристик светильника, размеров помещения, окраски стен и потолка, характеризуемых коэффициентами отражения от стен (РС) и потолка (РП)). Их оценивают субъективно и определяют по таблице. Так, для свежепобеленного потолка и со свежепобеленными окнами без штор РС = 50% и РП = 70% соответственно.

Значение  $\eta$  определим по таблице коэффициентов использования различных светильников. Для этого вычислим индекс помещения по формуле:

$$I = \frac{S}{h \times (A+B)}; \quad (5.3)$$

где,  $S$  - площадь помещения,  $S = 48 \text{ м}^2$ ;

$h$  - расчетная высота подвеса,  $h = 2,5 \text{ м}$ ;

$A$  - ширина помещения,  $A = 6 \text{ м}$ ;

$B$  - длина помещения,  $B = 8 \text{ м}$ .

Подставив значения получим:

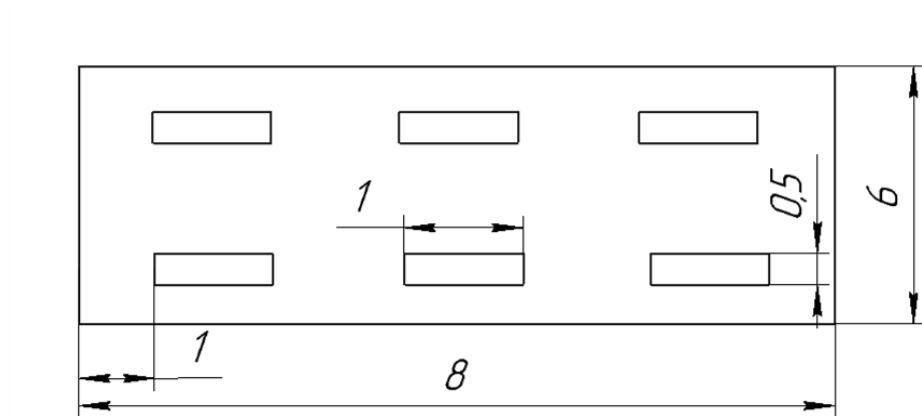
$$I = \frac{48}{2,5 \times (6 + 8)} = 1,37;$$

Зная индекс помещения  $I$ , по таблице находим  $\eta = 0,6$

При выборе осветительных приборов используем светильники типа ОД. Каждый светильник комплектуется двумя лампами.

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 3 светильника типа ОДР. Длина одного светильника 1 м., ширина 0,5 м. При

этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изображаем в масштабе схему размещения на нем светильников (рисунок 5.1).



**Рисунок 5.1** Схема расположения светильников

Подставим все значения в формулу для определения светового потока  $F$ :

$$F = \frac{400 \times 1,5 \times 48 \times 1,1}{0,6 \times 12} = 4400 \text{ (лм)}$$

В соответствии со световым потоком выбираем стандартную лампу – ЛБ -80-4 с потоком 4960 лм.

Таким образом, система освещения лаборатории соответствует нормам.

## 5.6 Анализ электробезопасности

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества. Лаборатория относится к классу электроопасности - помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного

прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Фрезерный станок работает в сети с напряжением 380 В.

В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены.

Недоступность достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте. Станки и оборудование оснащены заземлителями. Защитное заземление или зануление должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.  $R_{\text{зaz}} < 4 \text{ Ом}$ .

А также должно быть соблюдено безопасное напряжение и безопасная величина тока для человека:  $U = 36 \text{ В}$ ;  $I = 0,1 \text{ А}$ .

Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

## **5.7 Экологическая безопасность**

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить, как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

Технический прогресс постоянно увеличивает возможности воздействия на окружающую среду и создает предпосылки для возникновения экологических кризисов. Поэтому в настоящее время вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов имеют первостепенное значение.

Исследования, осуществлявшиеся при написании, магистерской работы не представляют опасности для экологической обстановки, поскольку отсутствует использование токсичных материалов.

## **5.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производственное помещение находится в городе Томск с резко-континентальным климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.) в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС могут быть: природного характера – сильные морозы, техногенного характера – шпионаж, диверсия.

Критически низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае заморозки труб в помещении предусмотрены запасные электрообогреватели. Электропитание для обогревателей обеспечивает генератор. Данное оборудование хранится на складе и их техническое состояние постоянно проверяется.

ЧС, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными, однако, работы в данном случае все равно прекращаются. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположений помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица обязаны раз в полгода проводить тренировки по отработке действий на случай ЧС.

## **5.9 Пожарная безопасность**

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

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 исследование, по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории ВЗ [21].

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;
- Содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Согласно требованиям ГОСТ Р 12.3.047-2012 в помещении находятся два огнетушителя марки ОП-5, а также силовой щит, который позволяет обесточить помещение. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. Рекомендуется 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.

#### **5.10 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

- ОСТ 54 30013-83. Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности.
- ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).
- СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
- ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.
- СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха.
- ГОСТ 30775-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
- СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
- ТОИ Р-15-050-97. Типовая инструкция по охране труда для станочников металлообрабатывающих станков (токарные, фрезерные, сверлильные, строгальные, шлифовальные, заточные станки).

### **5.11 Выводы по разделу «Социальная ответственность»**

При анализе помещения, в которой выполнялись работы по использованию оборудования для написания ВКР, было выявлено, что микроклимат в помещении соответствует нормам в теплое и холодное время года. В холодное время применяется водяное отопление, в теплый период – искусственная вентиляция. Значение светового потока составляет 4400 лм, что соответствует нормам. Также нормам соответствует уровень шума в помещении, который не превышает 80дБ. На участке концентрация

загрязняющих элементов соответствует санитарным нормам ПДК про ГОСТ 12.1.005-88.

Были выявлены факторы производственной безопасности: повышенный уровень шума и вибрации, недостаточная освещенность рабочего места, пониженная влажность воздуха, наличие мелкой стружки и т.д.

Помещение, в котором осуществляется исследование, по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории ВЗ. Помещение оборудовано пожарной сигнализацией, огнетушителем и планом эвакуации. Все электронные приборы подключены к сети питания, имеющей защитное заземление.

Разработаны методы утилизации производственных отходов, которые подвергаются утилизации в специальных контейнерах перерабатывающих компаний.

Используемое помещение учебного корпуса соответствует установленным нормам ГОСТов и СанПиНов.



## 6 Заключение

Таким образом, в ходе выполнения данной работы можно сделать следующие выводы:

1. Жидкофазное спекание смеси порошков Al, Fe и Sn позволяет получать пластичные композиты, способные выдержать большие деформации при испытании на сжатие. С увеличением температуры спекания до 620 °С пористость композитов снижается, а матричный каркас становится более прочным, в результате чего их механические свойства и износостойкость при сухом трении по стали улучшаются.
2. Последующее горячее доуплотнение спеченных композитов при 250 °С приводит к значительному снижению их пористости и значительному повышению прочности и износостойкости в условиях сухого трения.
3. Установлено, что при сухом трении по стали интенсивность изнашивания исследуемых образцов Al-Fe-Sn возрастает с увеличением давления на поверхность трения, а коэффициент трения при этом снижается. При этом образцы, содержащие 38 вес.% Sn обладали более высокой износостойкостью по сравнению с образцами, содержащими 21 вес.% Sn и полученными при тех же условиях, за счет большего содержания в них олова, как источника твердой смазки.

## Список использованных источников

1. Солнцев, Ю. П. Материаловедение: учебник для вузов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, Ф. Войткун. – М.: МИСИС, 1999. – 600 с.
2. Кербер, М. Л. Композиционные материалы / М. Л. Кербер // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – №5. – С. 33-41.
3. Антифрикционные сплавы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://extxe.com/7972/antifrikcionnye-splavy/>
4. ГОСТ 14113-78 Сплавы алюминиевые антифрикционные. Марки. – М.: ИПК издательство стандартов, 2003.
5. Abed, E.J. Study of solidification and mechanical properties of Al-Sn casting alloys / E.J. Abed // Asian Transaction on Engineering. – 2012. – № 2(3). С. 89-98.
6. Goudar, D.M. Effect of tin on the wear properties of spray formed Al-17Si alloy / D.M. Goudar, V.C. Srivastava, G.B. Rudrakshi // Trans Indian Inst Met. – 2015.
7. Русин Н.М., Скоренцев А.Л. Способ получения износостойкого антифрикционного сплава. Патент RU 2552208, 2015
8. Русин, Н. М. Влияние олова на структуру, механические и трибологические свойства спечённого сплава Al-12Si / Н.М. Русин, А.Л. Скоренцева, А.В. Гурских // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2018. – №11(4). – С. 433-442.
9. Podrabinnik, P. Mechanisms Involved in the Formation of Secondary Structures on the Friction Surface of Experimental Aluminum Alloys for Monometallic Journal Bearings / P. Podrabinnik, I. Gershman, A. Mironov // Lubricants. – 2018. – №6 (104).
10. Mironov, A. E. Relationship between the Tribological Properties of Experimental Aluminum Alloys and Their Chemical Composition / A. E. Mironov, I. S. Gershman, E. I. Gershman // Journal of friction and wear. – 2017. – №2. – С. 87-91.

11. Русин, Н. М., Скоренцев А. Л. Спекание как метод получения прочных композитов Al–Sn с большим содержанием второй фазы / Н.М. Русин, А.Л. Скоренцев // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2017. №1. С. 20-27.
12. Щербакова О. О. Исследование антифрикционных алюминиевых сплавов, содержащих железо, до и после трибологических испытаний / О. О. Щербакова, Т. И. Муравьева, Загорский // Letters on Materials. – 2018. №8 (2). С. 123-128.
13. 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
14. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. Банных О. А., Будберг П. Б., Алисова С. П. и др. Металлургия, 1986 г.
15. Савицкий А.П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 184 с.
16. Rusin N. M., Skorentsev A. L. Impact of the structure on mechanical and tribological properties of sintered (Al–12Si)–40Sn alloy // Inorganic materials: Applied research. – 2018. – V. 9. – № 5. – P.916–923.
17. 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.
18. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
19. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А.Белова – М.: Знание, 2000 – 364 с.
20. СНиП 23-05-95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995.

21. ГОСТ 12.1.018 – 93. Пожаровзрывобезопасность статического электричества.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Раздел на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ81	Коваль И.С.		

Консультант школы ИШНПТ:

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

Консультант школы ШБИП:

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

## **1 Literature review**

### **1.1 Composite materials and methods for obtaining them**

Currently, modern equipment requires materials that can withstand significant loads, both power and temperature in some cases, as well as in the presence of an aggressive environment. The use of common metallic and non-metallic materials is not very effective. It is possible to satisfy all the necessary requirements with the use of parts made of composite materials.

Composite material (CM) or composite is usually called a bulk heterogeneous system, which consists of mutually insoluble components that are quite different in their properties. The structure combining all the system components allows you to use the advantages of each of the components [1].

Thus, using composite materials, it is possible to obtain heterogeneous properties in a single product, which is impossible when using common materials. Thanks to the use of composite materials, it has become possible to reduce the mass of machines and individual structures, increase the power of engines, etc. It is known [1] that composites consist of a base and fillers. Depending on the field of the composite application, both solid inclusions when high strength and hardness are required, as well as soft ones can be used as a filler. When there are two types of inclusions, composites are called hybrid. It should be noted that the properties of composites are directly dependent on the characteristics of the base, fillers, and their interaction strength.

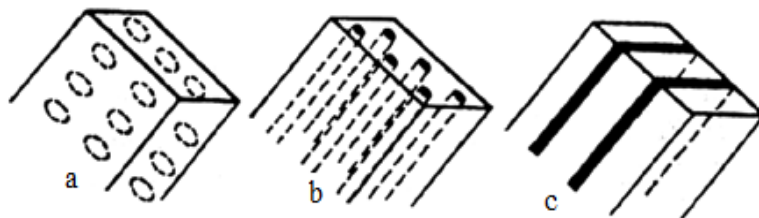
The base or matrix encloses the composition in a monolith giving the shape and is intended to transfer external loads to the filler. Composites are classified according to the matrix type as follows: metal, polymer and ceramic. The most common method for producing metal composite materials is powder metallurgy; oxidation, reduction, electrochemical and melt crystallization methods are also known. Ceramic composite materials are produced by mixing the components using various plants, followed by the formation of blanks by compaction, casting, etc. The

production of polymer composite materials is carried out by intensive mixing in the melt, after which granulation is performed [1, 2].

Compared to the composites with other bases, metal composites have the following advantages [3].

- Mechanical properties: high values of characteristics depending on the matrix properties (strength in the direction perpendicular to the axis of the reinforcing fibers; ductility; preservation of strength characteristics to the melting temperature of the base metal);
- Physical properties: high thermal and electrical conductivity;
- Chemical properties: incombustibility (compared with polymer-based CMs);
- Technological properties: good deformability, machinability.

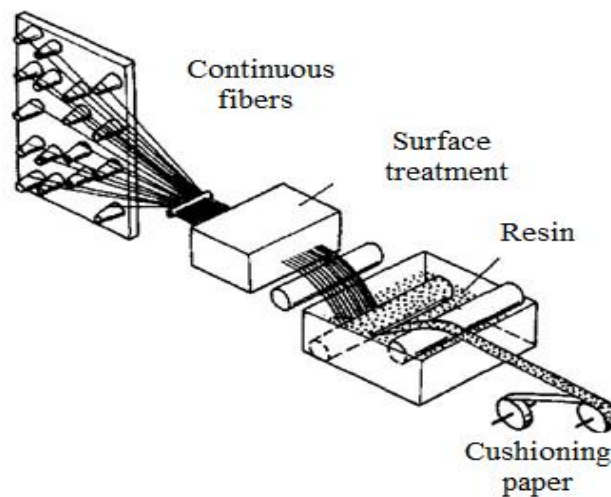
It should also be noted that there are three types of reinforcing fillers: layered, fibrous, and dispersion hardened [4]. Distinctive features of their structure are presented in figure 1.1.



**Figure 1.1** The structure of the composites: a - dispersion hardened, b - fibrous, c - layered [4].

Layered composites are produced by alternating filler and base layers. Metal, ceramic or plastic can be chosen for basis, tapes from fabrics, polymer fibers, etc. – for a filler. Laminated composites are widely used in engineering, construction, furniture industry, etc. In addition, such composites made using phenol-formaldehyde resins with glass or carbon fiber are used for thermal protection of rockets. In certain cases, nickel, aluminum, copper, cobalt and titanium sheets can act as a binder, and ceramics, metals, intermetallic compounds as layers [4].

Fibrous CMs are characterized by a fibrous filler that exists in various forms. It can be ribbons, threads and nets of different weaving. Such composites are produced by hot pressing or slip casting, in which the fibers are wetted with a suspension of matrix material, after which the suspension is dried and then sintered. Figure 1.2 shows an example of fibrous CM production. The process begins with removing fibers from the bobbins, followed by subjecting them to a surface treatment increasing the adhesion. Then the fibers are placed in a bath for applying polymer resin. Using resin, the fibers are combined into a flat bundle (tape). Finished tapes can be collected in a layered sheet material, after which curing using heat treatment occurs [4].



**Figure 1.2** Diagram of the production of fibrous composite material [4]

Metal matrix fiber composites are used at very high temperatures. Most often aluminum, titanium and magnesium, characterized by low density, are used. Metal CMs are characterized by high thermal and electrical conductivity. The exploitation of materials at rather high operating temperatures causes the use of ceramics as the basis of composites. However, its significant drawback is the lack of ductility, which severely limits its use as the composite basis. Also, it is worth noting that the use of amorphous carbon as the base, and graphite fibers as the filler, allowed us to create a CM that can withstand heating up to 2500 ° C.

Fibrous are often filled with carbon, boron, carbide and boron nitride, aluminum oxide, carbide and silicon oxide and titanium diboride. In addition, a thin



metal wire made by drawing of tungsten, steel, titanium and beryllium can be used. Carbon and boron fibers are widespread. The methods for producing fibrous composite materials are impregnation of fibers in liquid magnesium and aluminum melts, plasma spraying, as well as hot pressing. For the production of composite using alternating layers of aluminum foil and fibers, hot pressing, explosion welding, rolling and diffusion welding are used [4].

Table 1.1 presents the main characteristics of metal matrices, among which are the density of the substance ( $\rho$ ), temporary tensile strength ( $\sigma_B$ ), normal elastic modulus ( $E$ ) and temperature coefficient of linear expansion ( $\alpha$ ).

**Table 1.1** Characteristics of metal matrices [1]

Matrix	$\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	$\sigma_B$ , MPa	$E$ , GPa	$\alpha$ , 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Aluminum	2,63 – 2,80	250 – 573	69 – 73	11 – 13
Magnesium	1,74 – 1,83	200 – 280	43 – 45	14 – 15
Nickel	4,5	500 – 1200	113	9 – 10
Copper	8,94	220 – 400	132	17 – 18

Dispersion-strengthened composites are obtained by introducing the smallest refractory particles of carbides, nitrides, oxides, etc. The smaller the particle size and the smaller the distance between them, the more durable the composite will be. Dispersed particles prevent plastic strain by resisting the dislocation movements, which can occur being exposed to a load. The best resistance to dislocation motion is provided up to the melting temperature of the base, which is why such composites are characterized by high heat resistance and high creep resistance. It is known that the use of dispersed refractory particles such as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, SiC, BN, are characterized by a relatively low density and high modulus of elasticity. Composite materials with reinforced dispersed particles obtained by powder metallurgy usually have isotropic properties in all directions.

Dispersion-strengthened aluminum-based composites are the most common in industry, among which is sintered aluminum powder consisting of an aluminum base and hardened dispersed particles of aluminum oxide. The method for atomization of molten metal and subsequent grinding in ball mills in the presence of oxygen is used to produce aluminum powder with a particle size of up to 1  $\mu$ m.

During grinding, the particles are crushed and the concentration of alumina in them increases. At the next stage of the production, cold pressing, preliminary sintering, hot pressing, rolling or extrusion of the workpiece in the form of finished products, which in some cases are subjected to heat treatment, is carried out [4].

Being hot, alloys as well as sintered aluminum powder are able to deform well, and alloys with a concentration of 6-9% alumina are deformed at room temperature. The use of such alloys with a content of from 6 to 23% alumina is known [1]. Such alloys are used in aeronautical engineering; they also make shells for tubes of heat exchangers, compressor parts, piston rods, etc.

The main physico-mechanical properties of fillers of aluminum-based composite materials are given in Table 2, which lists the most important characteristics of the composites, such as specific strength ( $\sigma_B / \rho$ ) and specific stiffness ( $E/\rho$ ).

It should be noted that in unidirectional composites based on aluminum, magnesium and titanium, the elastic modulus, strength, and impact resistance increase with increasing number of fibers. A feature of metal reinforcement is a significant increase in toughness.

The use of alumina as a filler for an aluminum-based composite material provides a restriction for the development of cracks, and thereby prevents delamination [4].

**Table 1.2** Characteristics of fillers of composites based on aluminum [4]

<b>Fiber material</b>	<b><math>\rho</math>, g/cm<sup>3</sup></b>	<b>E, GPa</b>	<b><math>\sigma_B</math>, MPa</b>	<b><math>\alpha</math>, 10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup></b>	<b>E/<math>\rho</math>, 10<sup>3</sup> кМ</b>	<b><math>\sigma_B/\rho</math>, кМ</b>	<b>T<sub>max</sub>, °C</b>
Basis of aluminum alloy	2,63 – 2,8	69 – 73	40 – 60	11 – 13	2,5	20	150
Carbon	2,1 – 2,3	360/35	850/70	1,0 – 3,6	20	90	500
Boron	2,6	250/140	1800/330	6,0	10	70	540
Carbide silicon	2,85 – 2,9	230/140	1600/350	6,1	7	56	300
Oxide aluminum	3,4	260/140	1200	–	7	34	–

Note! In the fractional characteristics, the numerator shows the longitudinal strength values, and the denominator presents the transverse strength values.

Composite materials based on aluminum are widely used in the aerospace, automotive, construction, marine and electronic industries due to their relatively light weight, excellent mechanical properties, and good thermal and electrical conductivity.

## **1.2 Antifriction materials**

Antifriction materials are called special materials that are used for machine parts operating in friction conditions. Such materials are characterized by a low coefficient of friction, poor adhesion, high thermal conductivity, high wear resistance, the ability to provide uniform lubrication and excellent running-in.

Various designs of friction units, especially operating conditions contributed to the development of a fairly diverse anti-friction materials, which can be attributed [3]:

- babbitts - alloys based on lead or tin;
- bronze - an alloy based on copper;
- gray cast iron - an alloy based on iron;
- bronze-graphite, iron-graphite - cermet alloys;
- fluoroplast-4, textolite - plastics;
- composite materials such as "metal-plastic";
- aluminum alloys.

Currently, expensive alloys are most often chosen for the production of bearings, bronzes are most in demand [3]. That is why the urgent task is to create cheaper, but no less reliable materials. Aluminum alloys meet the necessary requirements and have antifriction properties comparable to bronze. Recently, aluminum alloys are also the most common as a replacement for lead and tin based alloys. The structure of metal anti-friction materials is divided into two categories: materials with a solid base and soft fillers and materials with a soft base and solid fillers.

Aluminum alloys are divided into two groups according to their composition. The first group includes metal-based alloys, which include solid structural components, such as:  $\text{Al}_3\text{Ni}$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{CuAl}_2$  and etc. Such alloys are used at high rotational speeds and light loads using grease. The disadvantage of this kind of alloys is that in the event of a cessation of lubrication, setting occurs. For this reason, tin alloyed alloys belonging to the second group were developed. When using such alloys, in case of stopping the flow of lubricant, tin melts. Consequently, there is no contact of iron with aluminum, which means that the parts do not catch. However, a high concentration of tin has a negative effect on ductility due to the deterioration of the bonding of the aluminum frame. It is known that copper can be introduced into alloys for hardening an aluminum base, as well as iron, silicon, nickel as hardening additives. As a result, the bearing capacity, and therefore the wear resistance of the aluminum alloy is reduced [4].

According to published data [5], silumin is widely used for the manufacture of engines, which are characterized by a low coefficient of thermal expansion, good fluidity and wear resistance. A large number of brittle and large silicon crystals in silumin causes a decrease in ductility, thermal conductivity and workability by pressure.

Thus, both tin and silicon at a certain concentration can help reduce the ductility of the aluminum alloy. It can be assumed that the presence of two alloying components, one of which serves as a lubricant, and the other - solid particles inert to the counterbody, will lead to increased wear resistance while maintaining ductility. So, in [6] it was established that the wear resistance of the Al-17Si-10Sn alloy obtained by sputtering on a copper substrate was much higher than the wear resistance of silumin, obtained and tested under the same conditions.

In other words, even a small amount of tin has a beneficial effect on the durability of silumins. We can assume that at higher tin concentrations the tribological properties of the composite improve, if at the same time it is possible to maintain strong bonds of the aluminum matrix and exclude the contact of tin and silicon particles, since their interphase boundaries are rather weak.

In [7], information was presented that the method of powder metallurgy was able to obtain an alloy of aluminum with tin, where the concentration of the latter was 40%, while maintaining the cohesion of the aluminum frame.

When we conduct studies to create a composite material (Al-12Si) -xSn by liquid-phase sintering of compacts from a mixture of tin and eutectic alloy powders (Al-12Si), it was found that the wear resistance of composites increases with increasing concentration of tin, in contrast to the strength where inverse relationship [8]. It should be noted that all the composite materials obtained are characterized by a rather strong matrix. The lowest wear rate during dry friction of the steel counterbody was observed for samples with a high tin content. It should be noted that the greater the pressure on the friction surface, the more pronounced such a pattern (table 1.3).

**Table 1.3** The effect of tin content and pressure on the wear rate of composites (Al-12Si) -xSn at 250 ° C [8]

Composition	Wear rate, $\mu\text{m/m}$			
	Pressure, MPa			
	1	3	4	5
(Al-12Si)-10Sn	0,11	0,19	0,26	0,34
(Al-12Si)-20Sn	0,10	0,16	0,24	0,21
(Al-12Si)-30Sn	0,13	0,17	0,22	0,20
(Al-12Si)-40Sn	0,10	0,14	0,21	0,18

According to the data given in table 1.3, it follows that with increasing pressure from 1 to 4 MPa, the wear rate of the compared composites increases. At pressures above 4MPa there is a decrease in wear rate, with the exception of the composite (Al-12Si) -10Sn. The reason for this is the low concentration of tin, which does not conduct heat well, therefore this composite is characterized by low thermal conductivity, which leads to greater heating of the part and, as a result, greater wear.

Eight aluminum alloys obtained by casting were investigated in the work [9]. Each alloy contained tin, lead, copper, silicon, magnesium and zinc. The chemical composition and characteristics of the experimental alloys are presented in table 1.4.

**Table 1.4** Experimental composite materials and their characteristics obtained after 40 hours of friction

Alloy	Mass content, %							$\sigma$ , MPa	Alloy wear, mg	Steel wear, mg	Temp., °C
	Sn	Pb	Cu	Si	Zn	Mg	Al				
AO-5,4	5,4	2,6	3,5	0,8	2,3	1,7	83,7	144	0,5	0,7	36
AO-5,8	5,8	2,7	4,1	1,5	2,3	1,5	82,1	140	0,4	0,6	40
AO-6,4	6,4	3,0	4,1	0,9	1,9	1,4	82,3	139	0,9	1,0	38
AO-7,6	7,6	3,3	4,0	1,0	0,5	0,07	83,5	159	0,5	0,8	42
AO-8,7	8,7	3,2	3,4	0,5	2,9	0,4	80,9	168	2,4	0,8	32
AO-9,6	9,6	3,2	4,9	0,1	4,4	0,3	77,5	185	2,0	2,1	37
AO-9,8	9,8	2,5	4,5	0,6	2,4	1,2	79,0	163	0,1	0,7	31
AO-11	11,0	2,6	3,9	0,1	2,6	-	79,8	173	1,2	0,6	33
BrO4Z4S17 (for comparison)	4,1	16,9	75,2	-	3,8	-	-	148	2,7	4,0	38

It was established [9] that during friction with a steel counterbody when oil M14V2 was supplied as a lubricant, the AO-5.8 alloy showed the lowest wear, thereby exceeding the reference bronze by 5-6 times.

After 40 hours of friction, structural changes were detected, namely, the formation of secondary structures on the friction surface of the alloy. In the process of friction, such structures contribute to less wear of the aluminum matrix, since they form a microrelief on the surface, which favorably affects the ability to hold oil on the friction surface. The processes involved in the formation of secondary structures are mass transfer, diffusion, oxidation, and tribochemical reactions. [9].

In [10], the possibility of changing the tribotechnical properties of aluminum-based antifriction alloys by varying the content of various alloying elements was shown.

Tin content from 8.5 to 11% can reduce the resistivity and increase the wear resistance of the material and steel counterbody. Lead concentration of 2.5-3.2% reduces the running-in and wear resistance of aluminum antifriction alloy. Zinc with a concentration of 2.41% to 3.39% also reduces the running-in time and helps to reduce counterbody wear. An iron content of up to 0.13% is favorable, since the wear resistance of the alloys increases [10].

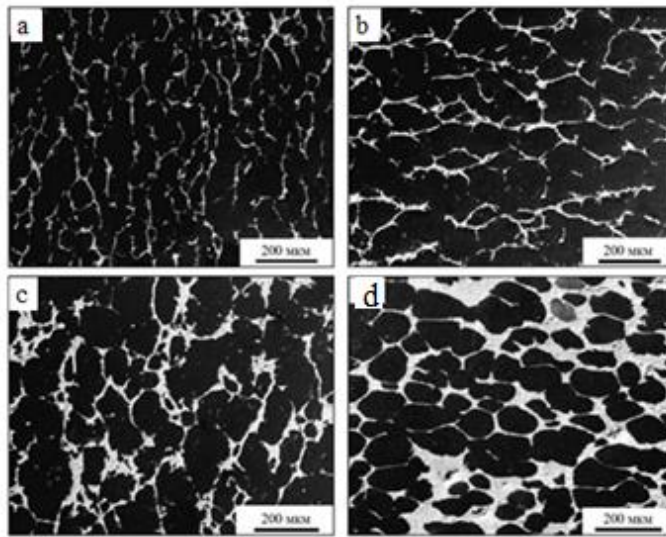
It was established in the work, [11] that the sintering of aluminum and tin powders at a temperature of 600 ° C for 1 hour promotes the creation of high-density composites with a strong aluminum base and uniformly distributed tin particles. Such composite materials with a tin concentration of up to 20 vol.% Have high wear resistance during dry friction on steel.

It should be noted that the particle size of aluminum in sintered Al-Sn composites does not depend on the tin content, since the formation of an aluminum matrix occurs according to a single mechanism as follows. First, aluminum powders are fragmented by liquid tin, and then aluminum particles coarsen, proceeding at the same rate by dissolving small ones and recrystallizing the dissolved atoms through the liquid phase. The thickness of the tin layers increases with increasing concentration of tin in the composite, and the bonds of particles in the matrix decrease.

It was revealed [11] that the skeleton of sintered composite materials remains strong and bound at a volume fraction of tin (20 vol.%), Which is twice as much as in cast industrial alloys of aluminum with tin.

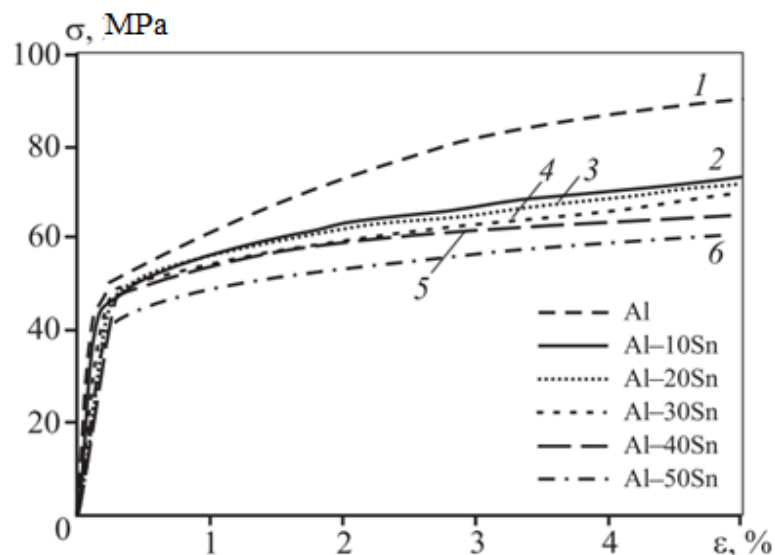
It was also established in [11] that the compressive strength of sintered composites is an additive value, which is determined by the volume ratio of Al and Sn phases. These phases are a mechanical mixture of non-interacting particles and experiencing the same deformation regardless of their location.

Figures 1.4 show the structure of aluminum-tin composites obtained by sintering at a temperature of 600 ° C for 1 hour.



**Figure 1.4** The microstructure of aluminum and tin composites obtained by sintering at a temperature of 600 ° C for 1 hour. Sn, wt. %: a - 10; b - 20; c - 30; d - 50 [11]

The results of mechanical tests are presented in the form of compression curves of the studied composites (Figure 1.5). According to the obtained dependence, the studied sintered composites are able to harden under deformation, and with almost the same speed.



**Figure 1.5** The dependence of the compression of sintered (600 ° C, 1 h) KM Al – Sn, Sn wt.%: 0 (1), 10 (2), 20 (3), 30 (4), 40 (5), 50 (6)

In the work present [12], a study of antifriction aluminum alloys containing iron was presented. The main alloy was aluminum alloy Al – 6% Sn – 5% Si – 4% Cu (wt.%), Into which iron was introduced (about 1%), as well as bismuth, lead, and



manganese. The experimental samples were heated at temperatures up to 500 ° C, followed by cooling in various modes. It was shown that, regardless of the cooling mode, spheroidization of the low-melting phase (Sn-Pb-Bi) and the silicon phase (Al-Si) takes place. In the case of rapid cooling (when quenching in water), the best efficiency was revealed. It was found that the addition of iron with manganese (0.5%) leads to the formation of favorable skeletal  $\text{Al}_{15}(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}_2$  phases. The tribological tests showed that the aluminum iron-containing alloy has increased hardness and wear resistance, which may be due to the formation of such skeletal phases. The results of this study showed the possibility and prospects of using materials containing iron for the production of antifriction aluminum alloys.

Modern technology requires new anti-friction materials based on aluminum, capable of working at high loads and sliding speeds. Obviously, for these purposes, reinforcing particles are needed, more durable, heat-resistant and have greater adhesion to tin than silicon. For example, intermetallic compounds, especially those containing aluminum, can serve as such an alternative substitute, since its presence in the composition of the compounds automatically ensures their good adhesion to the aluminum matrix and strong interphase boundaries. The indicated conditions can be satisfied, for example, by Al-Fe-Sn system composite materials, the synthesis of which can form refractory and solid intermetallic compounds of the  $\text{FeAl}_3$  type.

In the next section, we consider the sintering features of the Al-Fe-Sn powder system and the properties of the materials obtained.