

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Применение производственных отходов в качестве модификаторов алюминиевых сплавов

УДК 669.715-048.35:658.567.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ0И	Сапаров Дастан Сагимбаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ НИ ТПУ	Матренин Сергей Вениаминович	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП НИ ТПУ	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП НИ ТПУ	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Панин Сергей Викторович	д.т.н., профессор		

Планируемые результаты обучения ООП
24.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать производственные и/или исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК(У)-3	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области системы менеджмента качества
ОПК(У)-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК(У)-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач.
ПК(У)-2	Способен осуществлять рациональный выбор материалов и оптимизировать их расходование на основе анализа заданных условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономичности и экологических последствий применения
ПК(У)-3	Способен осуществлять анализ новых технологий производства материалов и разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности
ПК(У)-4	Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям

ПК(У)-5	Способен выполнять перевод технической литературы на иностранном языке, связанной с профессиональной деятельностью в области материаловедения
ПК(У)-6	Способен определять соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам; прогнозировать и описывать процесс достижения заданного уровня свойств в материале
ПК(У)-7	Способен организовать проведение анализа и анализировать структуру новых материалов, адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики
ПК(У)-8	Способен моделировать процессы обработок и прогнозировать результаты их осуществления при различных режимах, в использовании стандартных пакетов компьютерных программ и средств автоматизированного проектирования

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____ С.В. Панин
(Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ0И	Сапаров Дастан Сагимбаевич

Тема работы:

Применение производственных отходов в качестве модификаторов алюминиевых сплавов	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 33-29/Сот 02.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	АД-31 модифицированный алюминиевый сплав был выбран в качестве объекта исследования, модификаторами являются производственные отходы: микрокремнезем и отходы отрезных корундовых дисков.
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Актуальность работы и постановка задачи; литературный обзор; методы получения образцов и исследование их физико-механических свойств и структуры; анализ результатов выполненной работы; заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация Microsoft PowerPoint

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна Доцент ОСГН ШБИП НИ ТПУ
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна Доцент ООД ШБИП НИ ТПУ

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

2. Материалы, оборудование и методики исследования

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ НИ ТПУ	Матренин Сергей Вениаминович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ0И	Сапаров Дастан Сагимбаевич		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Уровень образования магистратура

Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2021/2022 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	75
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ НИ ТПУ	Матренин Сергей Вениаминович	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ НИ ТПУ	Панин Сергей Викторович	д.т.н., Профессор		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ0И	Сапаров ДастанСагимбаевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет – 267 871руб. Затраты на заработную плату – 121 434руб. Прочие расходы – 1872 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Тариф на электроэнергию 5,8 кВт/ч</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Налог во внебюджетные фонды 27,1 Районный коэффициент – 1,3 Накладные расходы – 16%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИ</i>	<i>Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>SWOT-анализ;</i>
3. <i>Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Осуществить планирование этапов выполнения исследования; Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4,7 Интегральный показатель эффективности – 3,9 Сравнительная эффективность проекта – 0,78</i>

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности НИ</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Диаграмма Ганта</i>
4. <i>Бюджет НИ</i>
5. <i>Основные показатели эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ0И	Сапаров ДастанСагимбаевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4БМОИ		Сапаров Дастан Сагимбаевич	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	22.03.01 <i>Материаловедение и технологии материалов</i>

Тема ВКР:

Применения производственных отходов в качестве модификаторов алюминиевых сплавов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения 2. Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации		<i>Объект исследования:</i> Алюминиевый сплав АД-31 <i>Область применения:</i> строительство, промышленность. <i>Рабочая зона:</i> лаборатория <i>Размеры помещения:</i> общей площадью 180 м ² <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> 6 персональных компьютеров, полировальную машину «UNIROL-810», твердомер Бриннель, оптический микроскоп, наноиндентор G200. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> подготовки образца – изготовления микрошлифа, травлению в реактиве для выявления структуры алюминиевых сплавов, исследованы на оптическом микроскопе и сканирующем электронном микроскопе,
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:		
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.		Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях.
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия		<i>Вредные факторы:</i> • Недостаточная освещенность рабочей зоны; • Отклонение показателей микроклимата; • Повышенный уровень электромагнитных полей. • Ожоги при работе с HF (плавиковая) кислотой. Класс опасности: II - менее опасны для здоровья человека. <i>Опасные факторы:</i> • Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может

	произойти через тело человека.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	<i>Атмосфера:</i> попадание вредных химических веществ; таких как порошок SiO_2 и плавиковая кислота. <i>Гидросфера:</i> использование водных ресурсов на всех этапах исследования; <i>Литосфера:</i> загрязнение почвы порошком диоксида кремния; <i>Класс опасности:</i> V - безопасные, не наносящие ущерба природе.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:	<i>Возможные ЧС:</i> пожары, взрыв оборудования. Наиболее типичной ЧС для лаборатории является пожар.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	18.04.2022

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМОИ	Сапаров Дастан Сагимбаевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа изложена на 120 страницах, содержит 16 рисунков, 24 таблицы, 61 источника литературы, приложение.

Ключевые слова: алюминий, сплав, модификатор, микрокремнезём, корунд, структура, состав, алюминиевый сплав АД-31.

Объектом исследования является модифицированный алюминиевый сплав АД-31.

Цель работы – применение и исследование влияния производственных отходов в качестве легирующих и модифицирующих элементов или добавок на физико-механические и технологические свойства получаемого сплава алюминия АД-31.

В процессе научной работы проводились исследования структуры и физико-механических свойств полученного модифицированного алюминиевого сплава АД-31. Исследования структуры образцов проводили с применением методов оптической микроскопии, энергодисперсионного анализа, сканирующей электронной микроскопии. Исследования физико-механических свойств проводили с помощью методов инструментального индентирования и определение твердости по Бринеллю.

В процессе исследования образцы модифицированного алюминиевого сплава были подвергнуты пробоподготовке: шлифовке, полировке и травлению в реактиве для выявления структуры алюминиевых сплавов.

Области применения полученных результатов: машиностроение, строительство.

В будущем планируется развитие указанных методов модифицирование с целью повышение физико-механических свойств исследованных сплавов.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ГОСТ 4784-97 - Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки.

АД-31 – алюминиевый сплав типа Авиаль.

Микрокремнезем – отход кремниевого производства в виде силикатная пыль

Корунд - α - фаза оксида алюминия.

Модифицирование – воздействие, при котором изменяются структура и свойства материала при введении в его состав определенных добавок.

Содержание

Введение	14
1 Основные промышленные разновидности легирования и модифицирования	16
1.1 Цели модифицирования	28
1.1.1 Способы модифицирования.....	29
1.2 Технология модифицирования сплавов Al_2O_3	30
1.2.1 Способ модифицирования алюминиевых сплавов.....	30
1.3 Модифицирование алюминиевого сплава дисперсным порошком Al_2O_3 .	34
1.4 Модифицирование литейных алюминиевых сплавов порошковыми композициями	39
2. Материалы, оборудование и методика исследования	45
2.1 Материалы	45
2.2 Методики исследования.....	47
2.2.1 Подготовка образцов к металлографическому исследованию	49
2.3 Металлографические исследования	51
2.4 Наноиндентирование	52
2.4.1 Измерение твердости (по Бринеллю)	54
2.5 Результаты эксперимента	55
2.5.1 Наноиндентирование и измерение твердости по Бринеллю.....	60
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
3.1 Предпроектный анализ	64
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	64
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	66
3.1.3 SWOT анализ	67
3.2 Планирование управления	69
3.2.1 План проекта.....	69
3.3 Бюджет научного исследования	72
3.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	72
3.3.2 Специальное оборудование для научных работ	72

3.3.3 Основная заработная плата	74
3.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	76
3.3.5 Накладные расходы.....	77
3.3.6 Отчисления во внебюджетные фонды	78
3.4 Бюджетная стоимость НИР	78
3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	79
3.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследование	79
Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	80
4 Социальная ответственность	82
4.1 Введение по разделу «Социальная ответственность».....	82
4.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	82
4.2.1 Правовые нормы трудового законодательства	82
4.2.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны.....	83
4.3 Производственная безопасность	84
4.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	85
4.4 Экологическая безопасность	89
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
Заключение по разделу «Социальная ответственность»	91
Заключение	93
Список публикаций.....	95
Список литератур	96
Приложение I.....	102

Введение

Модифицирование являются одним из известных способов изменения структуры различных промышленных сплавов, в том числе и на основе алюминия. Введение в расплав металла малой добавки интерметаллида (например, алюминий титана) в виде мелких частиц размером 10-100 микрон (зародышей будущих зерен затвердевшего алюминия) позволяет измельчить структуру отливки и таким способом улучшить ее механические характеристики.[1]

Введение различных модифицирующих легирующих элементов в алюминиевый сплав существенно изменяет его свойства, а иногда придает ему новые специфические свойства. Прочность чистого алюминия не удовлетворяет современные промышленные нужды, поэтому для изготовления любых изделий, предназначенных для промышленности, применяют не чистый алюминий, а его сплавы. При этом происходят и нежелательные изменения: неизбежно снижается электропроводность, во многих случаях ухудшается коррозионная стойкость, почти всегда повышается относительная плотность. В отличие от модифицирования при легировании приобретённые свойства сохраняются после последующих переплавов металла.[2]

Полуфабрикаты из алюминиевых сплавов на основе систем Al_2O_3 нашли широкое применение в современном авиастроении и аэрокосмической технике благодаря хорошему сочетанию механических, коррозионных и конструктивных свойств. В связи с этим стабильное получение крупногабаритных полуфабрикатов из этих сплавов с требуемым нормативной документацией комплексом свойств является одной из актуальных задач. В настоящее время для измельчения зерна в слитках алюминиевых сплавов, получаемых методом полунепрерывного литья, применяют в основном прутковые модифицирующие лигатуры на основе систем Al_2O_3 иностранного производства. Однако, как показывает производственный опыт, не всегда удается получить мелкозернистую и однородную структуру по всему объему слитка при использовании указанных лигатур. Причины кроются как в качестве

самых лигатур, так и в технологии введения их в расплав. Сложившаяся ситуация свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования процесса модифицирования алюминиевых сплавов. Одним из способов упрочнения алюминиевой матрицы является внесение методом механического легирования готовых частиц упрочняющей фазы.[3]

Автором работы были проведены исследование выявления влияния отходов кремниевого производства микрокремнезёма (микросиликатной пыли) и мелкодисперсного порошка корунда Al_2O_3 (наждачных отходов отрезных дисков) на структуру и свойства алюминиевого сплава АД-31 при его модифицировании.

Данный алюминиевый сплав был выбран в качестве объекта исследования, так как основной компонент сплава –алюминий – характеризуется большой распространенностью и по объемам производства занимает второе место после железа.

Часть работы металлографических исследований была реализовано в Карагандинском государственном индустриальном университете. Там же была проведена плавка алюминиевого сплава АД-31 с добавлением в качестве модификаторов отходов порошка кремниевого производства «Силициум Казахстан» (микрокремнезема марки МК-85) и порошка корунда (абразивного отхода от отрезных дисков). Выявлено положительное влияние модифицирующих добавок из производственных отходов на структуру и свойства сплава – измельчается зерно, изменяется фазовый состав.

Часть экспериментальных работ в металлографических исследований выполнена в Национальном исследовательском Томском политехническом университете в Инженерная школа новых производственных технологий в отделении материаловедения.

Цель работы –исследования структуры и физико-механических свойств модифицированных образцов алюминиевого сплава АД-31.

1 Основные промышленные разновидности легирования и модифицирования

Существуют различные методы изменения структуры веществ с целью создания требуемого набора свойств, которые включают легирование и модифицирование. Традиционно легирование, микролегирование и модификация относятся к сталям, чугунам, цветным металлам. В то же время некоторые страны не имеют собственной минерально-сырьевой базы для производства легирующих материалов или модификаторов, особенно на основе редких и тугоплавких элементов. Потребность в них удовлетворяется за счет импорта из-за рубежа. Эта проблема особенно обострилась в последние годы в связи со стремительным ростом цен на мировом рынке в результате развивающейся тенденции истощения минеральных ресурсов.

Ученые из многих стран разрабатывают научные и промышленные решения техногенного характера, новизна которых заключается в передовом использовании промышленных отходов различной природы с использованием современных технологий и оборудования. Путем легирования, микролегирования и модификации металлов и сплавов промышленными отходами создаются не только металлические сплавы, но и новые материалы специального назначения.

Поэтому авторы изучили множество литературных и электронных источников, которые предлагают технологические решения подобной проблемы. Например, одним из способов выплавки стали является проведение выплавки стали без окисления и используется в основном при выплавке легированных и высоколегированных сталей с целью максимального использования легирующих элементов, содержащихся в отходах производства. Плавка в этом случае осуществляется с ограничением окислительных процессов, без подачи железной руды и кислорода. В то же время они стараются не снимать шлак или удаляют только после восстановления легирующих элементов молотым ферросилицием, что позволяет максимально усвоить легирующие элементы из отходов производства. Отрицательным

аспектом выплавки стали без окисления является невозможность удаления углерода, фосфора и водорода из расплава.

В настоящее время дефицитные вольфрамсодержащие твердые сплавы, стоимость которых постоянно растет, в основном используются для электроискрового легирования металлических поверхностей. В статье [4] при анализе проблемы электродных материалов была выдвинута гипотеза о возможности переработки оловосодержащих отходов и создания новых электродных материалов для электроискрового легирования металлических поверхностей.

Ванадий также является одним из наиболее важных легирующих элементов, но тоже один из самых дорогих. Поэтому разработка ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих максимальное вовлечение в обращение металлов вторичных материалов, содержащих ванадий в виде оксидных соединений, является актуальной на сегодняшний день. Решение этой проблемы было рассмотрено в [5], авторы которого показали возможность использования ванадийсодержащих отходов для получения сталей и сплавов с заданным содержанием этого компонента, что позволит снизить потери ванадия и снизить себестоимость сталей за счет использования более дешевых легирующих материалов, содержащихся в оксидах.

В работе [6] предложено эффективное использование отходов для легирования быстрорежущих сплавов на украинских предприятиях: разработана ресурсосберегающая технология молибден и вольфрамсодержащих сплавов и лигатур.

Это решение обеспечивает значительное увеличение концентрации этих легирующих элементов и, в то же время, повышает степень утилизации легированных немобильных отходов (окалины быстрорежущей стали).

Одним из альтернативных источников получения легирующих материалов является переработка и возврат к производству легированных техногенных отходов, большие объемы которых на практике не находят достаточно эффективного применения. Так в работе [7] авторами рассмотрена

технология восстановления углерода (карботермия) отходов легированных жаропрочных, жаропрочных, коррозионностойких и других марок сталей и сплавов, эксплуатация которых может сопровождаться воздействием агрессивных сред, температурных и механических факторов, содержать дорогостоящие элементы (никель, хром, вольфрам, молибден и другие). Действительно, такие отходы содержат эти легирующие элементы, но в форме оксидов сложных соединений; значительная часть состоит из оксидов и мелкодисперсных отходов (окалина, шлифовальная пыль).

Современные тенденции в металлургии направлены на увеличение спроса на сталь, легированную редкими и тугоплавкими элементами, к которым относится хром. Наблюдается постепенное истощение запасов сырья, что вызывает тенденцию к росту мировых рыночных цен на тугоплавкие легирующие элементы. Традиционные технологии получения легирующих материалов на основе хрома (ферросплавы) с использованием углерод-силикотермических и алюмотермических расплавов характеризуются значительными температурами и временем обработки, что приводит к высокому загрязнению окружающей среды продуктами реакции и твердыми отходами, значительному потреблению ресурсов и энергии.

Существующие проблемы ресурсосбережения наиболее актуальны для специальной металлургии, где используются дорогостоящие легирующие добавки, которые из-за своих физико-химических свойств переходят в шлак, окалину и другие отходы металлургии. В работе [8] авторы предлагают заменить стандартные ферросплавы губчатыми легирующими материалами с качественно новыми выгодными свойствами путем их получения методом порошковой металлургии путем твердофазного восстановления вышеуказанных металлургических отходов.

На машиностроительных предприятиях широко применяется метод электроэрозионной обработки деталей из сложнолегированных сталей и сплавов, используется, в результате чего образуются отходы, содержащие значительное количество легирующих элементов: никель, хром, вольфрам,

молибден, титан и др. Так, авторы работы [9] предлагают технологию получения комплексных легирующих добавок (лигатур) из таких отходов путем наиболее полного восстановления оксидов металлов (термического восстановления). Это позволит вернуть ценные элементы в производство, снизить себестоимость производства чугуна, улучшить его механические свойства и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

В работах [10][11] представлены результаты разработок по созданию литейных материалов из металлосодержащих промышленных отходов и промежуточных продуктов смежных отраслей путем восстановления металлов, в частности титана, из титаносодержащих порошковых материалов.

Введение титана в расплав методом прямого легирования обеспечивает экономию дорогостоящих и дефицитных ферросплавов. Модифицирующий эффект достигается за счет химического взаимодействия вводимых добавок с отдельными элементами кристаллизующегося вещества. В отличие от известных способы модифицирования чугуна из ферротитана, когда модифицирующий эффект объясняется раскисляющим действием титана, а при прямом легировании и присутствии такого сильного восстановителя, как атомарный углерод, карбидные включения оказывают решающее модифицирующее действие. В промышленных условиях титаносодержащие отходы производства используются для микролегирования рельсовой стали титаном. Степень усвоения титана из отходов находится на уровне усвоения из ферросплавов и составляет 40-50%. Полученные рельсы во всех отношениях соответствуют требованиям нормативных документов.

Главным препятствием для широкого использования титана и его сплавов является высокая стоимость, прежде всего, титановой губки. Перспективным направлением снижения себестоимости титановых изделий является использование отходов, что позволяет снизить стоимость вторичных сплавов на 30% и более процентов при сохранении основных структурных свойств, присущих титановым сплавам.

Как известно, в себестоимости титановых слитков до 90% всех затрат

составляют затраты на дорогостоящие компоненты шихты. Каждые 10% отходов снижают их стоимость на 5-8%. Когда в шихту входит 10% отходов на 1 тонну выплавленных слитков на основе титана, в среднем экономится 100 кг губки и 10 кг легирующих элементов[12]. Соответственно, при производстве полуфабрикатов и изделий из титановых сплавов образуются все традиционные виды отходов: кусковые отходы, стружка, обрезки листов.

Общее количество отходов, образующихся ежегодно в производство и использование титановых сплавов очень велико, оно составляет около 70% шихты, потребляемой при плавке, и эта цифра очень мало меняется со временем[13]. В настоящее время, в отличие от большинства металлов, титановые отходы в ограниченной степени используются при производстве титановых сплавов. Промышленные титановые сплавы в основном получают путем легирования титана следующими элементами: Al, V, Mo, Mn, Sn, Zr, Cr, Cu, Fe, W, Ni, Si; легирование Nb и Ta используется реже. Разнообразие сплавов и соотношения их количества затрудняют выплавку дешевых вторичных титановых сплавов с регулируемыми прочностными свойствами в промышленных масштабах, поскольку, согласно современной практике, свойства титановых сплавов, в том числе прочность, в основном определяются их химическим составом и в узких пределах содержания конкретных легирующих элементов. Изобретение относится[14] к области получения α -, псевдо- α -, $\alpha+\beta$ -титановые сплавы из вторичного сырья с регулируемыми прочностными свойствами, а именно пределом прочности при растяжении (предел прочности при растяжении), в основном для производства листовых полуфабрикатов, конструктивных изделий и конструкционной брони и может использоваться в оборонной и гражданской промышленности.

Известно, что в настоящее время существует большое количество сталей, легированных титаном, что улучшает эксплуатационные свойства сплава.

В то же время концентрация титана в сталях колеблется в пределах 0,01–1,0%, то есть в довольно узких рамках. Поэтому актуальной задачей в

технологии производства титаносодержащих сталей является гарантированное обеспечение таких концентраций титана с минимальный расход легирующих материалов. Основной трудностью при легировании стали титаном является ее высокая реакционная способность по отношению к кислороду, что приводит к образованию оксидов титана, которые переходят в шлак. Это значительно увеличивает расход легирующих материалов и негативно сказывается на себестоимости производства.

В статье[15] рассматриваются следующие способы легирования стали титаном, что позволяет решить три следующие проблемы:

I) использование сложных сплавов (лигатур, полученных путем легирования руд, отходы производства в электропечах), содержащие высокоактивные элементы (титан, хром, алюминий, кальций, магний и т.д.). Однако этот способ не позволяет получать сложные сплавы с высоким содержанием титана, имеет место значительный отход высокоактивных элементов и сильная сегрегация, а полученный продукт характеризуется высоким содержанием примесей и высокой стоимостью.

II) получение сложных сплавов с титаном для легирования стали методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Этот процесс протекает без участия кислорода за счет тепла химических реакций синтеза, не требует подачи энергии из внешних источников, он экологически безопасен. Однако при такой технологии и изделия, полученные из чистых металлов, также имеют очень высокую стоимость.

III) на основе вышеизложенного авторы[15] предлагают разработанный металлургический СВС-процесс, в котором в качестве исходных компонентов используются отходы производства или дешевые порошки ферросплавов. Сплавы кремне-титана, полученные этим способом, характеризуются высоким содержанием титана, низким содержанием примесей и наличием элементов, обладающих высокой реакционной способностью по отношению к кислороду, которые защищают титан от окисления. Их использование поможет решить проблему получения требуемых концентраций титана в стали в узких пределах,

снизить расход легирующих материалов и улучшить качество готового стального листа.

В статье[16] представлена технология создания новых композиций оксидных сплавов, полученных на основе промышленных отходов, с заданными эксплуатационными свойствами (износостойкость, коррозионная стойкость, термостойкость).

Эти сплавы предназначены для изготовления литых деталей для агрегатов, работающих в условиях абразивного износа, агрессивных сред и резких перепадов температур. Использование новых оксидных сплавов позволяет увеличить в 4-5 раз (по сравнению с аналогичными металлическими деталями) срок службы деталей и оборудования, работающих в условиях абразивного износа и агрессивных сред, а также снизить стоимость отливок в 2-3 раз а по сравнению с существующими литыми из камня изделиями. Сплавы будут использоваться для производства изделий из шлакового литья в проектируемом цехе литья шлакового камня.

В работе[17] представлена технология получения экзотермического брикета из металлургических отходов. Модификация низкосортных чугунов при низких температурах (1300-1350 °С) с выделением тепла полностью устраняет охлаждение отливок и увеличивает прочность на растяжение. Графит существенно рафинирован, а матрица преимущественно перлитная. Состав брикетов: 60% алюминиевой стружки и 40% окалина. Расход модификатора находится в пределах 0,9–1,1% от массы жидкого металла с эффектом модификации в течение не менее 20 минут.

Постоянно растущие цены на энергоносители в сочетании с ужесточением экологических норм стимулируют развитие современных технологий переработки алюминиевых отходов (стружки и шлаков из алюминиевых сплавов).

В настоящее время во многих странах приоритетными направлениями государственной промышленной политики становятся малоотходные и безотходные технологии, чистые технологические процессы и промышленное

производство, обеспечивающие комплексное использование всех видов сырья. Поэтому в статье авторы [18] предлагают технологическое решение, а именно введение алюминиевой стружки с загрязнением 6 и 25% в качестве компонентов шихты, алюминиевые шлаки с содержанием алюминия 50-68% и просеивание алюминиевого шлака фракцией более 10 мм. Увеличение доли шлака с 22 до 30% приводит к увеличению выхода металла с 71 до 83. Кроме того, такая безотходная технология позволяет получать сплавы марки свинца, такие как АК5М2 и АВ87, что устраняет необходимость утилизации вторичных алюминиевых шлаков и уплаты экологического налога, а также повышает рентабельность производства.

В работе [19] показана возможность изготовления пористого материала на основе алюминия путем реализации наиболее рациональной схемы переработки стружки промышленных отходов, исключаяющей их переплав. Он основан на методах, типичных для процессов порошковой металлургии и обработки давлением, а также на основных принципах, присущих технологии производства пеноалюминия.

В работе [20] авторы исследовали диффузионно-легированный сплав изотраброванный чугуны дробили в подвижной порошковой среде и получали износостойкое покрытие из этого сплава с помощью индукционной наплавки. На производственных объектах ежегодно образуется большое количество дисперсных отходов (железосодержащая пыль, окалина, стружка, шлак, отходы производства метизов и переработки проката, опилки, лом, стружка, отходы литейного производства, проволока и т.д.). Некоторые виды перечисленных отходов успешно используются в качестве вторичного сырья для производства порошков. Однако отходы от производства дробы не нашли применения и в основном направляются на переплав, хотя это нецелесообразно; есть отходы легирующих элементов, в то же время эти отходы представляют собой почти готовый металлический порошок.

В работе [21] предлагается разработка дешевых модификаторов для чугуна, введение которых значительно улучшает структуру и повышает

механические характеристики такого сплава. Внедрение этого метода позволяет эффективно насыщать чугуны углеродом вместо традиционного метода разбавления; в то же время, высококачественную сажу получают из отходов высокополимерных соединений, а также для извлечения дорогих и дефицитных металлов из отходов оксидной фазы (промышленные отходы, отходы измельчения и т.д.) и эффективного сплавления с ними расплавов.

На титано–магниевого предприятия при хлорировании титановых шлаков образуется 0,2–0,3 тонны твердых хлоридных отходов, содержащих элементы, которые могут работать в качестве хороших раскислителей, модификаторов, микролегирующих элементов для всехлестные сплавы. Эти ценные элементы безвозвратно теряются вместе с отходами хлороформа. В то же время такие отходы не перерабатываются на предприятии и в качестве опасных выбросов вывозятся на свалки, загрязняя землю и окружающую среду. В статье авторы [22] разработали и предложили технологию модифицирования чугунов хлоридными отходами титано–магниевого производств в России и Украине. В результате повышаются механические и специальные свойства ковкого чугуна; снижается содержание серы и газов.

В работе [23] предложена ресурсосберегающая технология переработки 100% отходов литейного производства из жаропрочного сплава ЖС32-VI, что обеспечивает качество литых прутковых заготовок по содержанию примесей, газов и механическим свойствам в соответствии с требованиями ТУ, стабильный химический состав сплавов для основных легирующих элементов, снижение стоимости и сокращение потребления дефицитных и дорогих легирующих металлов, таких как Ni, Co, Mo, W, Re, Ta и другие.

Разработанная технология служит основой для решения другой важной проблемы производства литых жаропрочных сплавов, а именно полного использования всех отходов, образующихся на двигателестроительных и ремонтных заводах.

Ресурсосберегающая технология переработки отходов позволяет создать

замкнутый цикл возврата в производство дорогостоящих и дефицитных легирующих металлов, обеспечить их экономичность и снизить себестоимость сплавов без ухудшения качества.

Известно, что модифицирование больших масс жидкого металла различными добавками значительно повышает качество выпускаемой продукции и срок их службы. В работе [24] предложена технология модификации и микролегирования восстановительных покрытий с использованием вторичного сырья или промышленных отходов. Это может повлиять на качество восстановленной поверхности деталей из различных материалов, работающих в условиях износа, высоких температур, нагрузок, а также на снижение стоимости готового изделия.

В связи с постоянным ростом цен на импортные материалы, используемые для получения износостойких покрытий, исследования, связанные с переработкой отходов металлургического производства получают все большее развитие. В работе [25] предложена технология получения диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки из отходов металлургического производства в виде литой дроби и стружки (образующихся при дробеструйной обработке изделий, при механической обработке деталей при их изготовлении) в подвижных порошковых средах с целью наплавки защитных покрытий, работающих в условиях интенсивного абразивного износа. Сначала отходы производства металла подвергаются диффузионному легированию (насыщению бором) во вращающейся электрической печи, а затем к наплавке готовыми легированными отходами. Защитные покрытия после этой технологии имели повышенную твердость, уменьшенную скорость износа.

Из-за высокого уровня легирования дефицитными дорогостоящими компонентами сплавы отличаются повышенной стоимостью, что затрудняет их внедрение в серийное производство. Эффективным решением для снижения стоимости готовой продукции при производстве литых жаропрочных сплавов является вовлечение в производственный цикл отходов, образующихся при изготовлении полуфабрикатов и деталей из этих сплавов. В

работе[26] рассмотрена многоступенчатая технология получения кованных жаропрочных муравьиных никелевых сплавов из промышленных отходов (стружка, череп, шарики, лом) представлен способ, который заключается в предварительной подготовке этих отходов (очистке от примесей и загрязнений, т.е. рафинировании), плавке в вакуумной индукционной печи марочной смесью с использованием некачественных отходов и выплавке сплавов марок ВЖ175 и ВЖ172. Эта технология позволяет снизить стоимость новых сплавов без ухудшения их качества.

Сталь, устойчивая к истиранию и коррозии, представляет значительный интерес для промышленного применения как средство минимизации затрат, связанных с выходом изделия из строя и/или кратковременной заменой. Эти марки сталей содержат легирующие элементы, которые повышают их стойкость к истиранию и коррозии. Однако их преимущества в настоящее время сопряжены с потенциально высокой стоимостью; таким образом, высокоэффективные стальные изделия являются более сложными в техническом отношении и более дорогими в производстве.

Хотя эти методы доказали свою эффективность в улучшении характеристик более дорогих, высокопроизводительных стальных компонентов, они экономически нецелесообразны для относительно недорогих стальных изделий. Необходима разработка новых технологий. Поэтому в работе[27] приведена технология использования отходов автомобильной промышленности для получения керамического покрытия на поверхности стального изделия. Это решение как инновационный и эффективный способ позволяет нам получать продукты с низкой стоимостью, с улучшенными свойствами при одновременном снижении потребности в сырье для покрытий или легирования, а также снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

Для организации крупномасштабного производства высокоплавких композиционных материалов необходимы дешевые и доступные наполнители. В ссылках[28][29][30], авторы указывают, что в дополнение к традиционным

минеральным наполнителям(мел, каолин и др.) для этой цели могут быть использованы отходы производства, утилизация которых не только экономически выгодна, но и способствует решению проблемы охраны окружающей среды. Среди дешевых минеральных наполнителей одно из ведущих мест принадлежит наполнителю карбонатного типа. На территории Казахстана, на полуострове Мангышлак, имеются крупные месторождения ракушечника, разрабатываемые в промышленных масштабах. В настоящее время ракушечник используется в основном в строительстве. Когда его разрезают на блоки и плиты, образуется до 40% мелкодисперсных отходов, которые разносятся ветром, засоряя почву и воздух. Кроме того, миллионы тонн фильтровальной корки осадок с высоким содержанием карбоната кальция накапливается в виде отходов сахарного производства, и лишь небольшая его часть используется в сельском хозяйстве в качестве удобрения. Поэтому перспективным решением проблемы охраны окружающей среды может стать использование мелкодисперсных отходов камнерезного производства ракушечника и мрамора, а также углеродистых отходов других отраслей промышленности в качестве модификатора, наполнителя для получения новых композитных материалов.

Развитие технологии на современном этапе требует разработки новых или модификации уже известных материалов с необходимыми функциональными и эксплуатационными свойствами. В настоящее время в России отсутствуют экономически целесообразные промышленные технологии переработки высокодисперсных отходов электрометаллургической и доменной промышленности, которые характеризуются высоким содержанием железа (до 40%). В результате утилизация шлака осуществляется путем перемещения их на свалки. В работе[31] рассматривается возможность переработки промышленных отходов металлургического производства с целью получения новых железосодержащих материалов, которые могут быть использованы в качестве сырья для электрометаллургического и доменного производства. Результатом этого исследования являются конечные продукты:

порошковые, гранулированные и брикетированные материалы, которые могут быть использованы в качестве сырья для металлургического производства.

Микрокремнезем, т.е. отходы производства кремния, активно используется в производстве сухих строительных смесей, бетона, пенобетона, цемента, керамики, облицовочных плит, тротуарной плитки, бордюров, плитки, огнеупорных масс, резины и покрытий. Такой чугун обладает хорошей стойкостью к истиранию, повышенной когезией в слоях, высокой прочностью, повышенной антикоррозийной стойкостью, долговечностью и морозостойкостью. Он используется в мостостроении, дорожном строительстве, при строительстве жилых и промышленных объектов, плотин и плотин, буровых платформ и скважин, коллекторных трасс [32].

1.1 Цели модифицирования

Модифицирование направлено на решение ряда задач:

- измельчение макрозерна;
- измельчение микрозерна (дендритных ячеек);
- измельчение фазовых составляющих эвтектик, перитектик, в т.ч. хрупких и легкоплавких фаз (с изменением их состава путем введения присадок, образующих с этими фазами химические соединения);
- измельчение первичных кристаллов, выпадающих при кристаллизации, в до или заэвтектических сплавах;
- измельчение формы и изменение размера и распределения неметаллических включений (интерметаллидов, карбидов, графита, оксидов, сульфидов, оксисульфидов, нитридов, фосфидов).

Одновременное решение всех этих задач зачастую оказывается невозможным. Так, измельчение макроструктуры часто сопровождается огрублением микрозерен. Вместе с тем, иногда удается одновременно добиваться достижения нескольких из перечисленных целей.

Модифицирование отличается от легирования:

- меньшим содержанием добавок (сотые или десятые доли процента);

меньшей продолжительностью действия модификаторов (обычно 10...15 мин), однако некоторые модификаторы отличаются длительным действием.[33]

1.1.1 Способы модифицирования

Предлагается следующая классификация способов модифицирования:

- ввод в расплав добавок-модификаторов;
- применение различных физических воздействий (регулирование температуры расплава, предварительное охлаждение расплава при переливе, суспензионная разливка, литье в температурном интервале кристаллизации, вибрация, ультразвук, электромагнитное перемешивание);
- комбинированные способы, сочетающие вышеизложенные (ввод модификаторов + ультразвук и т.д.).[33][34].

Таблица 1 - Модификаторы 1-го рода для различных металлов и сплавов.

Металл (сплав)	Модификатор	Примечание
Сталь	Бор, РЗМ, церий кальций, магний, лантан, цирконий, литий, барий, уран	
Алюминий и сплавы алюминия с кремнием (силумины) (АЛ2, АЛ4, АЛ9, АК9 и др.)	Натрий (0,006-0,012%), калий, литий, висмут, сурьма 0,1-0,3%, стронций 0,01-0,05% (сурьма и стронций - модификаторы длительного действия), смесь солей (0,1% натрия и 2% смеси фтористого и хлористого натрия)	Переохлаждение 6-15°C. Измельчение эвтектики в системе Al-Si натрием, стронцием. Пластинчатая форма кристаллов кремния переходит в компактную размером 2-5 мкм

Медь Медные сплавы без железа Медные сплавы с железом	Олово, сурьма Ванадий, цирконий, молибден Титан, бор, вольфрам	
Магниевые сплавы, содержащие алюминий	Углеродсодержащие вещества (0,3-0,6%), хлорное железо, мел, мрамор, магнезит, гексахлорэтан, углекислый газ, ацетилен. Перегрев расплава-выдержка-охлаждение	
Магниевые сплавы, не содержащие алюминий	Цирконий 0,5-0,7% либо кальций 0,1-0,2%	

1.2 Технология модифицирования сплавов Al_2O_3

1.2.1 Способ модифицирования алюминиевых сплавов

Изобретение относится к металлургии, в частности к литейному производству, может быть использовано для получения отливок из алюминиевых сплавов общемашиностроительного назначения. Цель: путем введения новых компонентов и изменения соотношения компонентов модифицирующей смеси для обработки расплава получить отливки повышенной герметичности при высокой прочности и пластичности. Сущность изобретения: после расплавления шихты в расплав вводится модифицирующая смесь, содержащая карбида, нитридообразующие элементы и сумму окислов алюминия и меди в соотношении 30 - 70: 0,1 - 0,5 и щелочные или щелочноземельные металлы и их соединения. Модифицирующая смесь вводится в количестве 0,02 - 0,20 мас.% шихты. Соотношение окислов алюминия и меди составляет 100 : 0,01 - 0,98. Изобретение относится к

металлургии, более точно к литейному производству, и может быть использовано для получения отливок из сплавов на основе алюминия повышенного качества, особенно высокой герметичности.[35]

Для получения отливок из сплавов на основе алюминия повышенного качества применяют рафинирование и модифицирование с использованием различных газов и сложных по своему составу модификаторов. Это усложняет и удорожает технологию, не позволяет оптимизировать весь комплекс физико-механических характеристик и ухудшает технологичность.

Известны следующие способы описанные в патенте[35] модифицирования алюминиевых сплавов. Способ получения сплавов системы алюминий-титан-бор предусматривает модифицирование фторидами щелочных металлов титана и бора, к которым добавлено 2-10% от массы фторидов порошкового окисла алюминия. Изобретение обеспечивает повышение прочностных характеристик отливок, однако герметичность отливок недостаточна, способ не экономичен.

Известен способ модифицирования сплава алюминий-титан, который включает введение в расплав бора в виде ультрадисперсного порошка гексаборида лантана. Способ обеспечивает улучшение модифицирующего эффекта при снижении стоимости, но герметичность отливок неудовлетворительна.

Известен способ обработки заэвтектических силуминов, заключающийся в модифицировании смесью, которая включает, мас. %: фосфор 7-13, медь 45-70, сумма железа и хлора 2,5-8, остальное отходы производства фосфора, содержащие натрий, калий, кальций, кремний, кислород. Недостатком данного способа является низкая пластичность и герметичность отливок в связи с повышенным содержанием меди и фосфора.

Известен способ получения отливок из алюминиевых сплавов, включающий использование для модифицирования расплава ультрадисперсных порошков сфен-циркона (смесь оксидов циркония, ниобия и титана)[35]. Данный способ обеспечивает повышение прочности и пластичности

отливок, однако герметичность их остается на неудовлетворительном уровне, так как использованные в этом техническом решении оксиды и продукты их взаимодействия практически полностью локализуются внутри зерен (субзерен) и не оказывают благоприятного влияния на состояние границ зерен.

Наиболее близким по технической сущности и решаемой задаче является способ рафинирования и модифицирования алюминиевых сплавов, включающий обработку расплава смесью солей фтористого калия и хлористого калия совместно с фтористым натрием и/или натриевым криолитом в количестве 2-3% от веса расплава[36]. Данный способ упрощает технологию и снижает затраты на рафинирование и модифицирование, однако герметичность отливок остается низкой, так как не происходит интенсивного измельчения зерна, поскольку реализуется механизм модифицирования II рода, т.е. за счет торможения роста зерен, а не увеличения количества центров кристаллизации.

В основу изобретения положена задача: путем использования для модифицирования сплавов на основе алюминия нового набора компонентов по составу и концентрации, получить отливки, обладающие высокой герметичностью при сохранении повышенной прочности и пластичности.

Задача решена таким образом, что в предлагаемом способе модифицирования алюминиевых сплавов, включающем расплавление шихты и введение модифицирующей смеси, в качестве модифицирующей используют смесь карбидо- и нитридообразующих элементов, суммы оксидов алюминия и меди в соотношении элементов и оксидов 30-70:0,1-0,5 и щелочных и/или щелочноземельных металлов и их соединений в количестве 0,02-0,20% от массы шихты. В качестве карбидо- и нитридообразующих элементов используют оксиды циркония, титана, ниобия, гафния, тантала. В качестве щелочных и/или щелочноземельных металлов и их соединений используют криолит. Соотношение оксидов алюминия и меди составляет 100:0,01-0,98 [35].

Сопоставительный анализ с известными техническими решениями (аналоги и прототип) позволяет сделать вывод о том, что заявленный способ модифицирования алюминиевых сплавов отличается тем, что: в качестве

модифицирующей смеси используют карбидо-и нитридообразующие элементы, оксиды алюминия и меди, щелочные и/или щелочно-земельные металлы и их соединения; компоненты: карбидо-и нитридообразующие элементы и сумму оксидов алюминия и меди берут в соотношении 30-70:0,1-0,5, щелочные и/или щелочно-земельные металлы и их соединения - остальное; модифицирующую смесь вводят в количестве 0,02-0,20% от массы шихты; оксиды алюминия и оксиды меди берут в соотношении 100:0,01-0,98.

Некоторые компоненты - карбидо-и нитридообразующие элементы, оксиды алюминия, щелочные и щелочноземельные металлы и их соединения - известны из существующего уровня техники (аналоги и прототип), однако в предлагаемом техническом решении они вводятся в составе других компонентов (новый качественный состав) и в других соотношениях (новое количественное соотношение).

Высокий эффект модифицирования смесью карбидо-и нитридообразующих элементов, суммы оксидов алюминия и меди, щелочных и/или щелочно-земельных металлов и их соединений объясняется тем, что в расплаве на основе карбидо-и нитридообразующих элементов после диссоциации оксидов образуются интерметаллиды коллоидальной дисперсности типа Al_xMe_y , которые в процессе кристаллизации обеспечивают измельчение структуры металла, аналогично действует часть оксидов алюминия, близких по составу к стехиометрическому[36].

Большую роль в формировании структуры, субмикроструктуры и, как следствие, комплекса физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств отливок и сплавов на основе алюминия играют соединения меди: во-первых, оксиды силициды и, частично, сульфиды меди, которые образуются в расплаве, ответственны за существенное измельчение структуры, при этом ликвидус смещается в сторону более высоких температур, возрастает динамика кристаллизации - многие нежелательные включения в весьма дисперсном виде локализуются внутри измельченных зерен, Во-вторых, соединения меди типа $CuAl_2$ и более сложные по составу, выделяются из

твердого раствора по границам зерен. В связи со значительным увеличением площади межзеренной поверхности из-за измельчения зерен и равномерной локализацией этих дисперсных выделений обеспечивается снижение концентрации напряжений с одновременным ростом плотности, герметичности отливки в целом.

Введение модифицирующей смеси менее 0,02 мас.%. шихты не дает должного эффекта по уровню герметичности и другим характеристикам, а выход за верхний предел 0,20 мас.% шихты приводит к снижению пластичности отливок[36].

Пределы соотношения компонентов модифицирующей смеси определяются следующими соображениями: при соотношении карбидо- и нитридообразующих элементов и суммы оксидов алюминия и меди менее 30:0,5 - количество центров кристаллизации оказывается недостаточным, чтобы обеспечить должный уровень свойств отливок; при превышении соотношения более 70:0,1 - сплав охрупчивается из-за чрезмерного количества межзеренных включений. Наряду с потерей пластичности снижается и герметичность, так как возрастает несплошность в околограницных зонах.

При соотношении оксидов алюминия и оксидов меди больше, чем 100:0,01 влияние вторичных фаз резко уменьшается, так как оксиды и другие соединения меди целиком реализуются в виде включений, образующихся в расплаве, выше ликвидуса и не оказывают положительного воздействия на структуру и свойства отливок, а, если это соотношение меньше, чем 100:0,98 - количество вторичных фаз, локализуемых по границам зерен, возрастает настолько, что появляются несплошности в местах выделений и герметичность таких отливок падает[36].

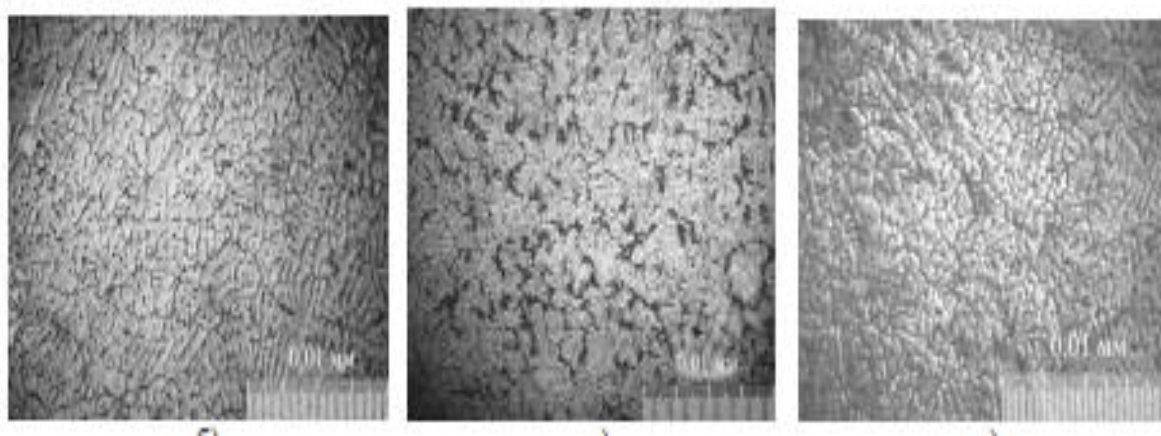
1.3 Модифицирование алюминиевого сплава дисперсным порошком Al_2O_3

В условиях лабораторного эксперимента проведено исследование модифицирования отливок из алюминиевого сплава порошком Al_2O_3 . Показано существенное измельчение структуры и возрастание механических свойств в

модифицированном металле. Установлена зависимость характеристик структуры и свойств от расхода модификатора[37].

Эффективным методом улучшения структуры литого металла является модифицирование порошковыми модификаторами, которые становятся центрами принудительной кристаллизации (инокуляторов). На данный момент в литературе накоплен значительный опыт исследований управления первичным структурообразованием, в том числе при вводе модификаторов второго рода. Однако, вопросы закономерностей изменения структуры и механических свойств деформируемых алюминиевых сплавов в исходном (литом)состоянии за счёт ввода инокуляторов изучены недостаточно. При этом известно, что они могут оказывать существенное влияния на показатели качества сплава в деформированном и термообработанном состоянии. Таким образом, задача экспериментального исследования влияниямодифицирования на характеристики алюминиевых сплавов типа дюралюминов в литом состоянии является актуальной и научно обоснованной.

Анализ последних исследований и публикаций. Ранее в работах[30, 31]нами рассмотрено применение инокуляторов для модифицирования железоуглеродистых сплавов. Данныйподход применим и при разливке цветных металлов и сплавов, в частности алюминиевых. В качестве инокуляторов них известны примеры использования порошков интерметаллида $TiAl_3$, SiC , TiN или TiC . В данной работе рассмотрено применение в качестве модификатора порошка Al_2O_3 , основным достоинством которого является его доступность по сравнению с вышеперечисленными вариантами[37].



а – 0,01ммб – 0,01мм

в – 0,01мм

Рисунок 1 – Микроструктура образцов

а - не модифицированный; б - модифицированный 0,05% Al_2O_3 ; в - модифицированный 0,10% Al_2O_3

На рисунке 1 приведены микроструктуры образцов, из которых видно заметное измельчение зерна при модифицировании.

Характеристики микроструктуры приведены в таблице 2. Различия в параметрах структуры образцов одного типа для всех групп статистически незначимы, следовательно, сравнение совокупных данных корректно[37].

Более длительное травление (~15 мин) позволило установить, что кристаллы объединены в конгломераты, размер которых составляет 0,25-0,50 мм в сравнительных и 0,13-0,30 во пытных отливках.

Таблица 2 - Численные характеристики микроструктуры (размер зерна, мкм)

Тип обработки	Интервал варьирования, мкм	Средние значения и доверительный интервал (надежность 99%)
Без модифицирования	24 – 160	74 +- 7,5
Модифицированный 0,05% Al_2O_3	14 – 113	41 +- 2,6
Модифицированный 0,10% Al_2O_3	10 - 106	34 +- 2,7

Из представленных данных видно, что средний размер зерна в модифицированных и немодифицированных образцах существенно различается. Отсутствие перекрытия доверительных интервалов говорит о статистической значимости различия средних значений.

Размер зерна имеет во всех случаях сильный разброс, интервалы варьирования перекрываются. Однако следует отметить, что в модифицированных образцах, в сравнении с немодифицированными, мелких зёрен значительно больше, а крупных меньше. Разница между модифицированными 0,05% и 0,10% Al_2O_3 выражена слабее. Можно отметить, что в модифицированных 0,10% Al_2O_3 размеры наиболее крупных и наиболее мелких зёрен несколько меньше. Тем не менее, сравнение средних [37] показывает статистическую значимость различия.

Таким образом, ввод модификатора Al_2O_3 обеспечивает измельчение среднего размера зерна в 1,8...2,2 раза. Увеличение расхода модификатора с 0,05% до 0,10% приводит к дополнительному измельчению микроструктуры на 17%.

Результаты измерения механических свойств образцов приведены в таблице 3, из которой видно, что ввод модификатора оказывает влияние на показатели твёрдости и прочности. Сравнение средних значений твёрдости между однотипными образцами в каждом из случаев показало статистическую незначимость разницы, что позволяет объединять данные по каждому типу для сравнения соответствующих групп между собой (немодифицированных, модифицированных с расходом порошка 0,05% и расходом 0,10%).

Таблица 3 - Влияние модифицирования на механические свойства образцов

Тип обработки	Твёрдость, кгс/мм ²	σ_B , Н/мм ²
Без модифицирования	$\frac{56,1 - 84,5 *}{69,9 \mp 3,2}$	$\frac{205 - 305}{245 \mp 11}$
Модифицированный 0,05% Al_2O_3	$\frac{71,3 - 101,6}{83,9 \mp 3,3}$	$\frac{260 - 370}{305 \mp 12}$

Модифицированный 0,10% Al ₂ O ₃	$\frac{80,5 - 116,4}{96,3 \mp 5,6}$	$\frac{290 - 420}{350 \mp 20}$
--	-------------------------------------	--------------------------------

* числитель – интервал варьирования, знаменатель – среднее $\pm$ доверительный интервал

Сравнение значений твердости немодифицированных образцов с модифицированными с расходом модификатора 0,05% показало, что сводный доверительный интервал, для степени надёжности 95% равный 5,2, значительно меньше разницы средних, составляющей 14,0. Следовательно, увеличение твёрдости при вводе 0,05% модификатора статистически значимо. При сравнении не модифицированных образцов с модифицированными при расходе модификатора 0,10% было установлено, что дисперсии неоднородны и сравнение проводилось по методу изработы[37]. Разница средних значений, составляющая 26,4 значительно превосходит значение Т-критерия, рассчитанного для 95% надёжности, составляющего 7,2. Следовательно, ввод 0,10% модификатора также приводит к значительному повышению твёрдости.

Была проведена статистическая проверка значимости различия твёрдости образцов при модифицировании с расходом модификатора 0,05 и 0,10%. Дисперсии в этом случае также оказались неоднородны. Разница средних значений твёрдости составила 12,4, что больше Т-критерия для степени надёжности 95% составляющего 9,8. Следовательно, увеличение расхода Al₂O₃ до 0,10% приводит к статистически значимому увеличению твёрдости. Таким образом, нами установлено, что ввод порошка Al₂O₃, с расходом 0,05...0,10% (по массе) при производстве отливок из алюминиевых сплавов позволяет увеличить твёрдость и прочность металла. При вводе 0,05% модификатора твёрдость и прочность возрастают в 1,23 раза, а при вводе 0,10% - в 1,41 раза по сравнению с не модифицированным металлом. Увеличение расхода с 0,05 до 0,10% позволяет повысить твёрдость и прочность на 13 – 15% [37].

1.4 Модифицирование литейных алюминиевых сплавов порошковыми композициями

В настоящее время разработана технология модифицирования алюминиевых сплавов системы Al-Si-Mg порошковым модификатором карбида кремния. В украинских ракетноносителях применяют силумины системы алюминий-кремний, в частности, сплавы АЛ2, АЛ4 и АЛ4С, химические составы которых приведены в табл.4. Из сплавов АЛ2 и АЛ4С отливают ответственные детали, входящие в состав турбонасосного агрегата ракетного двигателя. Зарубежными аналогами отечественных силуминов служат сплавы 354, С355 системы Al-Si-Cu-Mg, сплавы 359 системы Al-Si-Mg и А357 системы Al-Si-Mg-Be, которые применяются для литья корпусов электронных блоков и систем наведения ракет[38].

Повышения механических и литейных характеристик алюминиевых сплавов можно достичь введением элементов-модификаторов. Модификаторы литейных алюминиевых сплавов разделяют на две принципиально различные группы. К первой группе относятся вещества, которые создают в расплаве высокодисперсную взвесь в виде интерметаллидов, являющихся подложкой для образующихся кристаллов. Ко второй группе модификаторов относятся поверхностно-активные вещества, действие которых сводится к адсорбции на гранях растущих кристаллов и тем самым - торможению их роста.

К модификаторам первого рода для алюминиевых сплавов относятся элементы Ti, Zr, В, Sb, входящие в состав исследованных сплавов в количестве до 1 % масс. Ведутся исследования по использованию в качестве модификаторов первого рода таких тугоплавких металлов, как Sc, Hf, Ta, V. Модификаторами второго рода являются натрий, калий и их соли, которые находят широкое применение в промышленности. К перспективным направлениям относится использование в качестве модификаторов второго рода таких элементов, как Rb, Sr, Te, Se.

Новые направления в модифицировании литейных алюминиевых сплавов ведутся в области применения порошковых модификаторов.

Применение таких модификаторов облегчает технологический процесс, является экологически безопасным, приводит к более равномерному распределению введенных частиц по сечению отливки, что повышает прочностные свойства и характеристики пластичности сплавов.

Следует отметить результаты исследований Г.Г. Крушенко[39]. В состав сплава АЛ2 вводили порошковый модификатор карбид бора B_4C . В результате достигнуто повышение пластичности с 2,9 до 10,5 % при увеличении прочности с 220,7 до 225,6 МПа. При этом средний размер макрозерна уменьшился от 4,4 до 0,65 мм².

Механические свойства доэвтектических силуминов в основном зависят от формы эвтектического кремния и многокомпонентных эвтектик, которые имеют форму «китайских иероглифов». В работе[40] приведены результаты модифицирования сплавов системы Al-Si-Cu-Mg-Zn частицами нитридов титана TiN размером менее 0,5 мкм. Исследование микроструктуры показало, что нитрид титана располагается в алюминиевой матрице, по границам зёрен, вблизи пластин кремния и внутри железосодержащих фаз.

Таблица 4 - Химический состав модифицированных алюминиевых сплавов

Марка сплава	Массовая доля элементов, %							
	Al	Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Sb	Fe
АЛ2	Основа	10-13	0,1	0,5	0,6	0,3	-	1,0
АЛ4		8,0-10,5	0,17-0,35	0,2-0,5	0,3	0,3	-	1,0
АЛ4С		8,0-10,5	0,17-0,35	0,2-0,5	0,3	0,3	0,10-0,25	0,9

Механизм влияния дисперсных частиц TiN на формирование структуры доэвтектических силуминов при кристаллизации состоит в том, что основная их масса выталкивается фронтом кристаллизации в жидкую фазу и принимает участие в измельчении эвтектических составляющих сплава. Расчёты показали,

что при использовании частиц нитрида титана размером 0,1-0,3 мкм и при их содержании в металле около 0,015 % мас. распределение частиц составила 0,1 мкм⁻³.

В публикации[41] рассмотрено модифицирование сплава АК7 дисперсными тугоплавкими частицами нитридов кремния Si₃N₄, в результате чего достигаются следующие механические свойства: $\sigma_{\text{тв}} = 350\text{-}370$ МПа; $\delta = 3,2\text{-}3,4$ %; HB = 1180-1190 МПа. При введении в сплав АК7 частиц нитридов титана в количестве 0,01-0,02 % мас. временное сопротивление разрыву повышается на 12,5-28 %, относительное удлинение возрастает в 1,3-2,4 раза по сравнению с не модифицированным состоянием. После модифицирования сплава АЛ4 дисперсными частицами нитрида титана прочность сплава возросла с 171 до 213 МПа, а относительное удлинение - от 3 до 6,1 %.

Качество литейных композиций и возможность их получения зависят от ряда параметров, а именно: смачиваемости дисперсной фазы расплавом, природы дисперсных частиц, температуры дисперсной среды, режимов перемешивания металлического расплава при вводе частиц. Хорошая смачиваемость дисперсной фазы достигается, в частности, за счёт ввода поверхностно-активных металлических добавок. В данной работе изучено влияние добавок кремния, магния, сурьмы, цинка и меди на усвоение частиц карбида кремния SiC фракции до 1 мкм жидким алюминием марки А7. Порошок SiC вводили в расплав путём механического замешивания при температуре расплава 760±10 °С. Количество вводимого SiC составляло 0,5 % от массы жидкого алюминия.

Сурьма несколько ухудшает усвоение вводимых частиц SiC. Улучшают же усвоение элементы, дающие с алюминием сплавы эвтектического состава (Si, Zn, Cu). Такое влияние, по-видимому, связано не столько с поверхностным натяжением расплава, сколько со смачиваемостью частиц SiC расплавом.

На ГП ПО "Южный машиностроительный завод" проведена серия опытных плавок алюминиевых сплавов АЛ2, АЛ4 и АЛ4С, в которые вводили порошковые модификаторы.

Механические свойства сплавов АЛ2 и АЛ4С до и после модифицирования представлены в таблица 5.

Таблица 5 - Механические свойства сплавов до и после модифицирования

Марка сплава	Способ литья	Вид термической обработки	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	<i>HB</i>
АЛ2	Кокиль	Т2	147	117	3,0	500
АЛ2, модифицированный SiC	Кокиль		157	123	3,5	520
АЛ4С	Кокиль	Т6	235	180	3,0	700
АЛ4С, модифицированный SiC	Кокиль		247	194	3,4	720

Выплавку проводили в индукционной печи САН-0,5 с разливкой в кокили из нержавеющей стали. Микроструктура сплава АЛ4С до модифицирования состоит из грубых дендритов α -твёрдого раствора алюминия и эвтектики $\alpha(\text{Al})+\text{Si}$. Модифицирование карбидом кремния SiC позволило существенно измельчить дендриты α - твёрдого раствора и повысить дисперсность эвтектики (рис. 2 и рис.3).

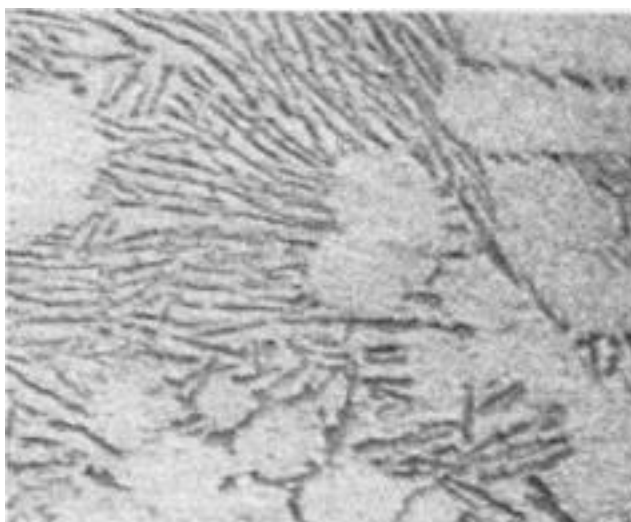


Рисунок 2 - Микроструктура сплава АЛ4С до модифицирования, x150



Рисунок 3 - Микроструктура сплава АЛ4С после модифицирования SiC, x150

В работе[42] изучено влияние температуры на степень усвоения тугоплавких частиц TiC и SiC. Установлено, что степень усвоения порошковых частиц расплавом АЛ4С резко изменяется с температурой. Во всех случаях наблюдали максимум усвоения при определённой для данного сплава температуре. Так, максимум усвоения частиц TiC достигнут при температуре расплава 700- 720°C, при 680°C усвоение падает. При повышении температуры до 780- 790°C усвоение TiC падает в 3-5 раз и продолжает уменьшаться при дальнейшем повышении температуры. Аналогичная зависимость усвоения от температуры расплава получена для SiC, которая имеет максимум при 770°C. Характерной особенностью всех зависимостей является резкое падение усвоения при входе в двухфазную область интервала кристаллизации.

Равномерное распределение дисперсных частиц карбида кремния в расплаве обеспечивается перемешиванием. С увеличением времени перемешивания степень усвоения дисперсных частиц ухудшается. Это свидетельствует о том, что первоначально усвоенные расплавом частицы в дальнейшем частично выводятся из расплава. Предположительно указанное явление можно объяснить действием центробежных сил, оттесняющих

инородные дисперсные частицы, в данном случае SiC, к стенкам тигля, а затем выводящих их на поверхность расплава. Поэтому во время проведения плавки перемешивание не велось непрерывно, а периодически возобновлялось перед отбором порций металла из печи.

На механические свойства силуминов существенно влияют размеры частиц вводимого модификатора. Механическая прочность литейных сплавов АЛ2, АЛ4 и АЛ4С линейно возрастает по мере уменьшения размеров частиц порошковых модификаторов.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны технологические режимы получения качественных литейных алюминиевых сплавов, модифицированных порошковыми тугоплавкими частицами.

2. Материалы, оборудование и методика исследования

2.1 Материалы

Алюминий АД31 – это деформируемый сплав, высокой пластичности и коррозионной стойкости. Кроме того сплав отлично сваривается, поддаётся глубокой вытяжки, а за счёт своей чистоты имеет хорошую теплопроводность и электропроводность. Благодаря этим свойствам его применяют для изготовления деталей, произведённых формовкой, глубокой вытяжкой и деталей рассчитанных для работы под небольшой нагрузкой, в том числе в агрессивной коррозионной среде. Также из него производят твёрдые шины в электротехнике.

Алюминий АД31 производится с химическим составом (таблица 6) по ГОСТ 4782-97, и содержит всего около 2,35 % примесей, среди которых: железо, магний, кремний, цинк, марганец, титан, медь. АД31 – это авиалий (сплав системы Al – Mg – Si).

Таблица 6 - Химический состав в % материала АД31

Fe,%	Si,%	Mn,%	Cr,%	Ti,%	Cu,%	Mg,%	Zn,%	Al,%	Примесей
до 0,5	0,2 0,6	до 0,1	до 0,1	до 0,15	до 0,1	0,45 0,9	до 0,2	97,65 99,35	Прочие, каждые 0,05, всего 0,15

В качестве модифицирующих добавок были выбраны соединения, имеющие температуру плавления выше, чем у алюминия. Также, при выборе модифицирующих добавок акцент был сделан на возможность утилизации отходов производства и техники путем их дальнейшего использования. Таким образом, были выбраны:

1) Силикатная пыль – микрокремнезем, представляющий собой ультрадисперсный материал из частиц круглой формы, полученных в процессе газоочистки технологических печей при производстве кремния и ферросилиция, основным компонентом в котором является диоксид кремния (с

температурой плавления $T_{пл} = 1600^{\circ}\text{C}$) – отход кремниевого производства г. Караганды «Силициум Казахстан», состав которого предварительно был определен с помощью энергодисперсионного анализа.

2) Мелкодисперсный порошок (зернистые массы) корунда Al_2O_3 ($T_{пл} = 2050^{\circ}\text{C}$) из отрезных дисковых отходов, отработанных в процессе резки металлов, дисковых остатков или разрушившихся дисков.

Как показали результаты энергодисперсионного анализа, порошок в основном, состоит из диоксида кремния, который представляет собой микрокремнезем марки МК-85, а также содержит незначительное количество примесей (таблица 7).

Таблица 7 – Состав порошка отхода кремниевого производства «Силициум Казахстан»

Элемент	O	Al	Si	Ca	Fe	Zn	Всего
Масс. %	12,47±0,02	0,58±0,00	85,12±0,04	0,49±0,01	0,73±0,01	0,61±0,01	100,00
Атом. %	20,15±0,04	0,56±0,00	78,39±0,03	0,32±0,00	0,34±0,00	0,24±0,00	100,00

В условиях Карагандинского государственного индустриального университета была проведена плавка в лабораторном корпусе – “Б” кафедры “Металлургия и материаловедение” в корундовом тигле сплава алюминия с добавлением по 1% и 5% порошка корунда (Al_2O_3) и порошка отхода кремниевого производства (микрокремнезема) в камерной электрической печи сопротивления при температуре $\sim 660-700^{\circ}\text{C}$. Данная печь позволяет проводить процессы плавки при температуре до 1200°C .

В лаборатории корпуса – “Б” операцию плавки проводили на печи SNOL 6,7/1300 (рис.5).



Рисунок 4 - Печь камерная электрическая SNOL 6,7/1300 (а,б)

2.2 Методики исследования

Часть металлографических работ были проведены в условиях Карагандинского государственного индустриального университета была проведена плавка алюминиевого сплава АД31 (рисунок 4) в камерной электрической печи сопротивления в корундовых тиглях(при температуре $\sim 900^{\circ}\text{C}$) с добавлением 1% порошка: 1) корунда (Al_2O_3)из отрезных дисковых отходов; 2) отхода кремниевого производства (микрокремнезема).

Изучение структуры сплава. Для изучения структуры мы используем оптический микроскоп. Исследование фазового состава проводилось на оптическом микроскопе Leica DM IRM (Германия) (увеличение 200-1000*).

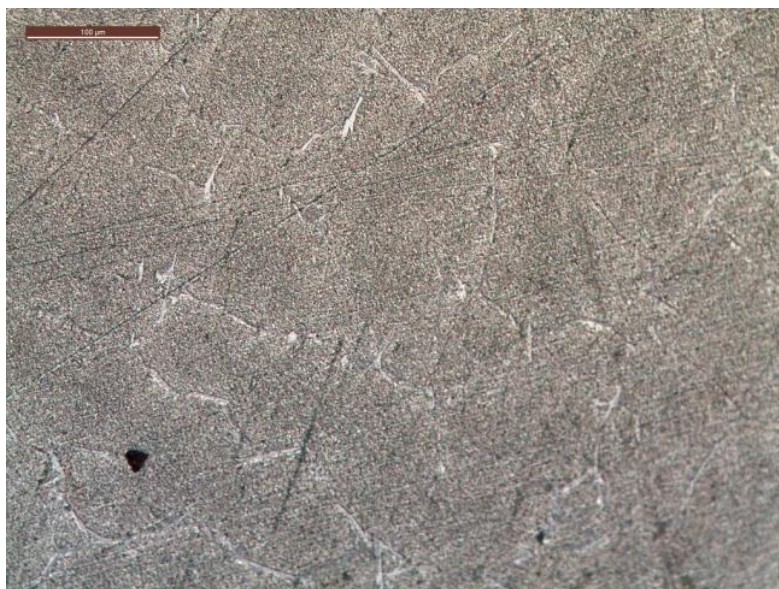


Рисунок 5 - микрокремнезем небольшим количеством образует твердый раствор с алюминием. $\text{Al} + \text{SiO}_2$ (микрокремнезем), $\times 200$

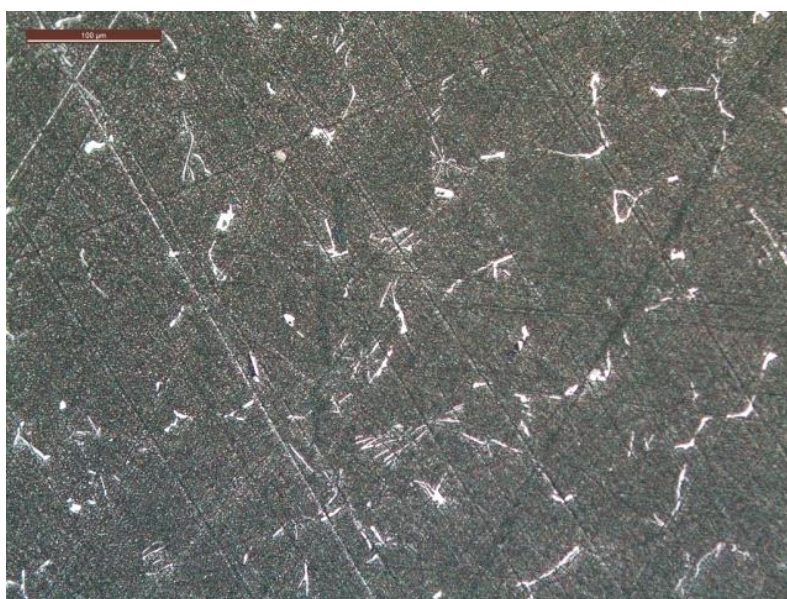


Рисунок 6- за счет введения примесей Al_2O_3 образуется большое количество скелетоподобных эвтектик $\text{Al} + \alpha$. $\text{Al} + \text{Al}_2\text{O}_3$ (корунд), $\times 200$

2.2.1 Подготовка образцов к металлографическому исследованию

Поверхность образцов готовили шлифовкой, полировкой и травлением.



Рисунок 7 - Исследуемые образцы:

1 – исходный образец алюминиевый сплав АД31;

2 - АД-31 - 1% SiO_2 (микрокремнезем);

3 - АД-31 - 5% SiO_2 (микрокремнезем);

4 - АД-31 - 1% Al_2O_3 (корунд);

5 - АД-31-5% Al_2O_3 (корунд).

Полировальная машина EQ-UNIPOL 810 (Рисунок 8) оснащена 8-дюймовой суперплоской алюминиевой притирочной пластиной и одной опорой для рабочего образца, а также комплектными принадлежностями для алмазной притирки. Ее можно использовать в качестве стандартной ручной шлифовальной машины или автоматической притирочной / полировальной машины как для плоских образцов, так и для металлографических образцы. Это наиболее экономичное решение для лаборатории исследования материалов.



Рисунок 8 - Полировальная машина EQ-UNIPOL 810

Шлифовка. Образец подвергался шлифовке на наждачной бумаге, использовалась бумага с различной зернистости, с постепенным переходом от более крупного к более мелкому. С целью оптимизации процесса шлифования, перед шлифованием предварительно смачивают наждачную бумагу. Во время шлифовки необходимо постоянно остывать, чтобы абразив не перегревался. Бумага использовалась по ГОСТ 6456-75 на бумажной основе с номерами зернистости. Перед переходом к каждому последующему номеру бумаги удаляли остатки спиртом, а направление шлифовки меняли на 90° до устранения следов предыдущей обработки.

Полировка. Для полировки использовали плотную бумагу и алмазные пасты разной зернистости. Переход алмазной пасты от крупных абразивных частиц к мелкому, происходит, как только появится зеркальный блеск и отсутствие рисок. Полировка считается законченной, когда поверхность имеет зеркальный блеск и не имеет рисок

Травление. Процесс травления состоял в том, что поверхность шлифа подвергалась воздействию химического реактива.

Для травления модифицированного алюминиевого сплава АД31, использовалось следующее: травитель 40% - ным водным раствором фтороводорода HF (плавиковая кислота), плита, щип, мерный стакан. Время травления составило по 1 минуте. После травления образец сразу же промывали в холодной воде и очищали спиртом.

2.3 Металлографические исследования

Из макроструктуры образца можно узнать зернистую или дендритную структуру металлов и сплавов. Расположение кристаллических зерен, по-видимому, их мишень и длина отдельных зон зависят от условий охлаждения, состава и обработки сплава. Для определения микроструктуры сплавов осуществляли при помощи микроскопа ЛабоМет – И (рисунок 9) с выводом микроструктуры на экран монитора. Микроскоп предназначен для наблюдения и исследования изображения структуры металлов, сплавов и других непрозрачных объектов (в виде шлифов и срезов) при прямом освещении в отражённом свете в светлом поле.

Микроскоп может использоваться для научных, исследовательских целей, а также для лабораторных исследований и учебных работ.



Рисунок 9 - Оптический микроскоп ЛабоМет – И.

2.4 Наноиндентирование

Индентирование осуществляли с помощью прибора NanoIndenterG 200 (рисунок 11). В качестве индентора использовали пирамиду Берковича, нагрузка составляла 500 мН (50 г). Конструкция прибора позволяет выводить диаграмму внедрения индентора на монитор в режиме реального времени. Первичные данные – нагрузка и глубина внедрения пирамиды. По диаграмме внедрения прибор автоматически рассчитывал модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} в соответствии со стандартом ISO 14577.

Вдавливание индентора в материал вызывает локальную упругую и пластическую деформацию и приводит к образованию соответствующего отпечатка на определенной глубине h_c . После снятия нагрузки упругая деформация восстанавливается, что позволяет определить упругие свойства материала.

Экспериментальная первичная кривая «нагрузка – внедрение» (диаграмма внедрения), непрерывно получаемая в процессе индентирования, показана на рисунке 10. По диаграмме определяются следующие величины: пиковая нагрузка и глубина внедрения индентора P_{max} и h_{max} , остаточная глубина после разгрузки h_f , и наклон начальной части кривой разгрузки $S = dP/dh$, который характеризует упругую жесткость контакта. При использовании в качестве индентора трехгранной пирамиды Берковича твердость исследуемой поверхности H определяется по следующей формуле:

$$H = \frac{P}{A} = 0,00387 \frac{P}{h_{max}^2}. \quad (1)$$

Где, P – нагрузка, прилагаемая к испытываемой поверхности, Н, A – площадь отпечатка под нагрузкой, мм², h_{max} – глубина внедрения индентора, мм.

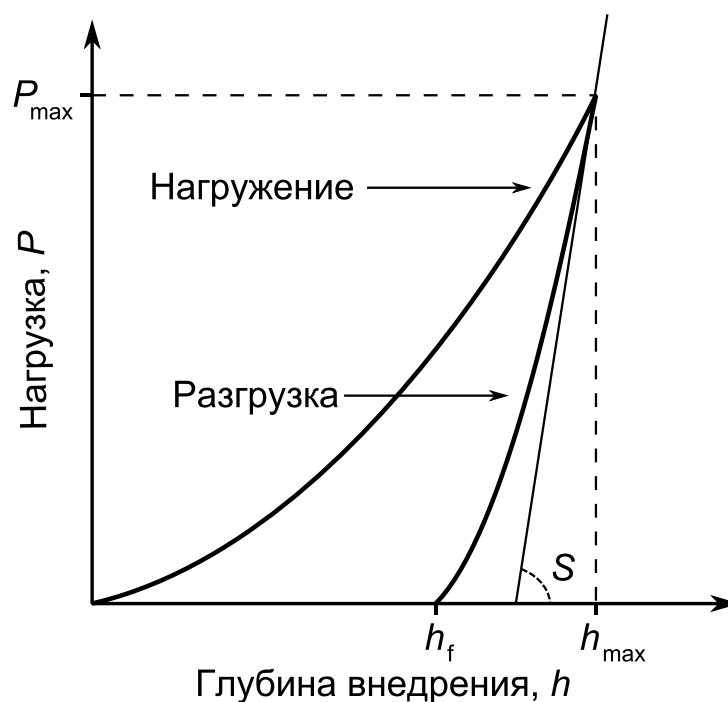


Рисунок 10– Кривая «нагрузка – внедрение», получаемая в процессе индентирования

Модуль упругости исследуемого образца E определяется из приведенного модуля E_r , который рассчитывается по формуле:

$$E_r = \frac{(S\sqrt{\pi})}{2\beta\sqrt{A}}. \quad (2)$$

Здесь β является константой, которая зависит от геометрии индентора. Для осесимметричного индентора $\beta=1$, для индентора с квадратным сечением (пирамида Виккерса) $\beta=1,012$, для индентора с треугольным сечением (пирамида Берковича) $\beta=1,034$. Окончательно модуль упругости исследуемого материала E рассчитывается с помощью выражения:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1-\nu^2)}{E} + \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i}. \quad (3)$$

Где, ν – коэффициент Пуассона исследуемого материала, E_i и ν_i – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала индентора. Для алмаза $E_i=1141$ ГПа и $\nu_i=0,07$.

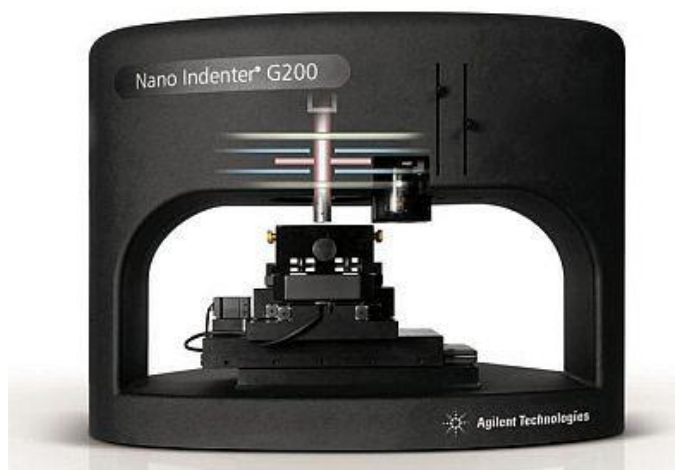


Рисунок 11 - NanoIndenter G200

2.4.1 Измерение твердости (по Бринеллю)

Определение твердости — наиболее распространенный метод исследования свойств материала. Это объясняется рядом причин: определение твердости является неразрушающим методом; не требуют высокой квалификации; зная твердость, можно судить и о других механических свойствах. Твердость характеризует сопротивление материала высоким пластическим деформациям. Наиболее популярные методы определения твердости это внедрение в испытуемый материал специального тела, индентора. В материале при этом остается отпечаток индентора, по которому судят о величине твердости. Принцип действия прибора основан на вдавливание алмазной пирамиды в исследуемый материал под определенной нагрузкой и измерения линейной величины диагонали полученного отпечатка. Число твердости (Н) определяется как частное от деления нагрузки P (в кг) на боковую поверхность S (d мм²) отпечатка в предположении, что углы отпечатка соответствуют углам пирамиды:

Измерение твердости по Бринеллю. Индентором служит стальной закаленный шарик, который вдавливают в испытуемый образец на специальном прессе (рисунок 12). В результате на поверхности образца образуется отпечаток в виде сферической лунки. Диаметр отпечатка измеряют с помощью лупы, на

которой в качестве условных размеров нанесены риски. Число твердости HB (кгс/мм²) – это отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка, его вычисляют по формуле:

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4)$$

Где, F - прилагаемая нагрузка; D и d - соответственно диаметр шарика и отпечатка.

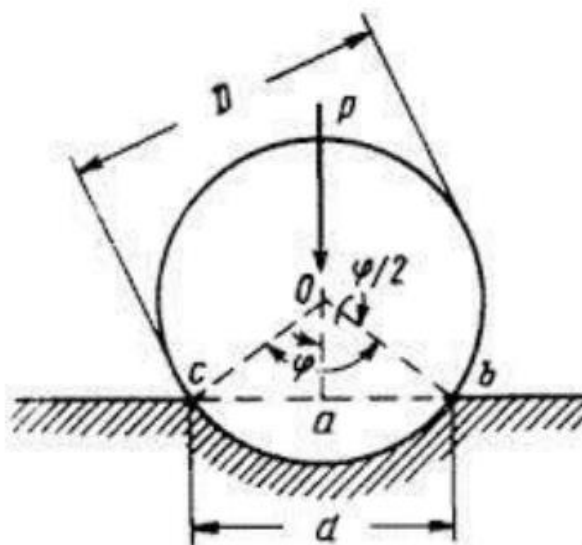


Рисунок 12 – Измерение твердости по Бринеллю: схема измерения отпечатка твердости по Бринеллю (F – нагрузка)

На практике пользуются таблицей, в которой указаны значения твердости в зависимости от диаметра отпечатка. Диаметр шарика и нагрузку выбирают так, чтобы соблюдалось соотношение $d = (0,25 \dots 0,5)D$, т.е. для разных материалов эти параметры различны

2.5 Результаты эксперимента

Экспериментальные работы осуществлялись в Национальном исследовательском Томском политехническом университета, Инженерная школа новых производственных технологий в отделении материаловедения.



Рисунок 13 – Микроструктура исходного алюминиевого сплава - АД31

Полученные в результате плавки образцов модифицированных алюминиевого сплава были подвергнуты пробоподготовке: шлифовке, полировке и травлению в реактиве для выявления структуры алюминиевых сплавов. Далее образцы были исследованы на оптическом микроскопе фирмы ЛабоМет – И и сканирующем электронном микроскопе.

Используемый для модифицирования первого образца алюминиевого сплава АД31 отход кремниевого производства «Силициум Казахстан», как показали результаты энергодисперсионного анализа, состоял из диоксида кремния, который, в свою очередь, содержал незначительное количество примесей, и, в целом, представлял собой микрокремнезем марки МК-85. Модифицирующей добавкой второго образца алюминиевого сплава АД31 являлся отход отрезных дисков – корундовый порошок Al_2O_3 .

Как видно из фото микроструктур исходного образца алюминиевого сплава АД31 (рис.13) и образцов модифицированного алюминиевого сплава (рис.14) в результате модифицирования микроструктуры обоих образцов измельчаются (визуально) в 4-6 раз.

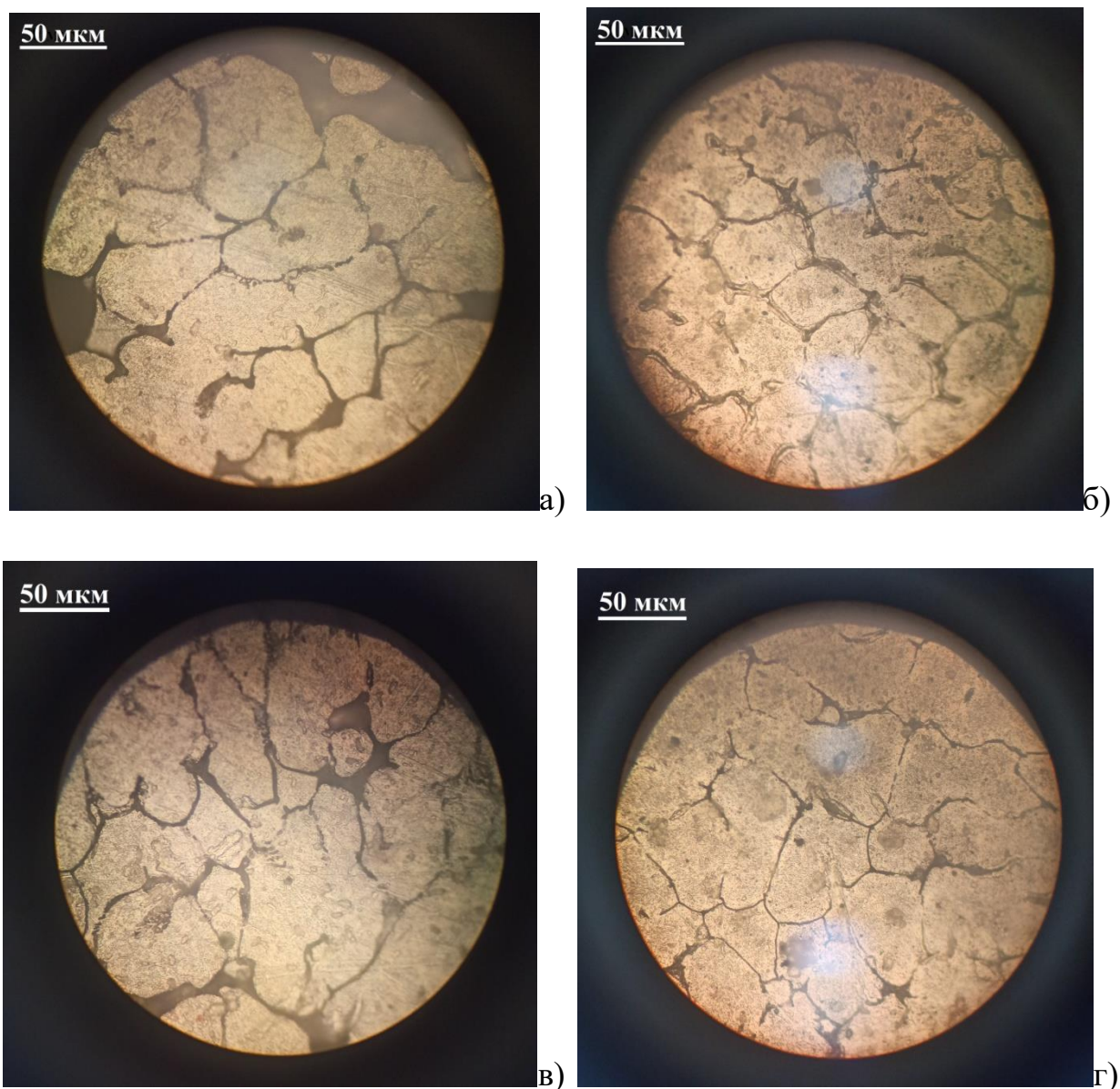


Рисунок 15– Изображение микроструктуры алюминиевого сплава АД31, модифицированного 1%: а – микрокремнезёма; б – корунда Al_2O_3 ; 5%: в – микрокремнезёма; г - корунда Al_2O_3 .

Как показал анализ алюминиевого сплава АД31, модифицированного микрокремнезёмом и корундовым порошком Al_2O_3 :

В результате модифицирования алюминиевого сплава микрокремнезёмом незначительно изменяется состав сплава — появляются примеси Fe и Si (таблица 8).

Таблица 8 – Состав образца алюминиевого сплава в точке (Spectr)1.

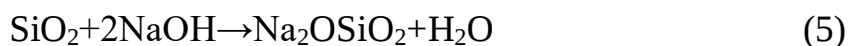
Элемент	Al	Si	Fe	Всего
Масс. %	62,44±2,14	9,59±0,42	27,97±0,73	100,00
Атом. %	73,31±3,42	10,82±4,37	15,87±2,59	100,00

1) примеси железа в алюминиевом сплаве образуют соединения FeAl_3 (темно-фиолетовые выделения на фото микроструктур);

2) светлые структурные составляющие, имеющие характерный вид ломаных (трапецевидных) кривых линий (рисунок 15, а) – в присутствии кремния и железа образуются тройные фазы α (Al-Fe-Si) и β (Al-Fe-Si);

3) кремний в небольшом количестве образует с алюминием твердый раствор (рисунок 15, в), при этом, как показывают литературные источники, он растворяется в твердом алюминии лишь в ограниченно малом количестве[43];

4) при достаточном содержании примесей появляется скелетообразная эвтектика $\text{Al}+\alpha(\text{Al-Fe-Si})$; на поверхности модифицированного сплава образуется защитная пленка, содержащая в своем составе Al_2O_3 и SiO_2 , и отличающаяся относительно хорошей стойкостью во многих агрессивных средах, особенно в окислительных. Как указывают авторы работы[44], окисную пленку указанного состава в силах разрушить только щелочи (5) и плавиковая кислота (6):



Алюминиевый сплав АД-31, модифицированный корундовым порошком Al_2O_3 (рисунок 15, б,г), также изменил фазовый состав и структуру: 1) из-за введенных примесей Al_2O_3 образуется большое количество скелетообразной эвтектики $\text{Al}+\alpha$; 2) в незначительном количестве (в силу присутствия примесей в составе исходного сплава АД-31) образуются фазы α и β - светлые структурные составляющие, имеющие характерный вид ломаных (трапецевидных) кривых линий.

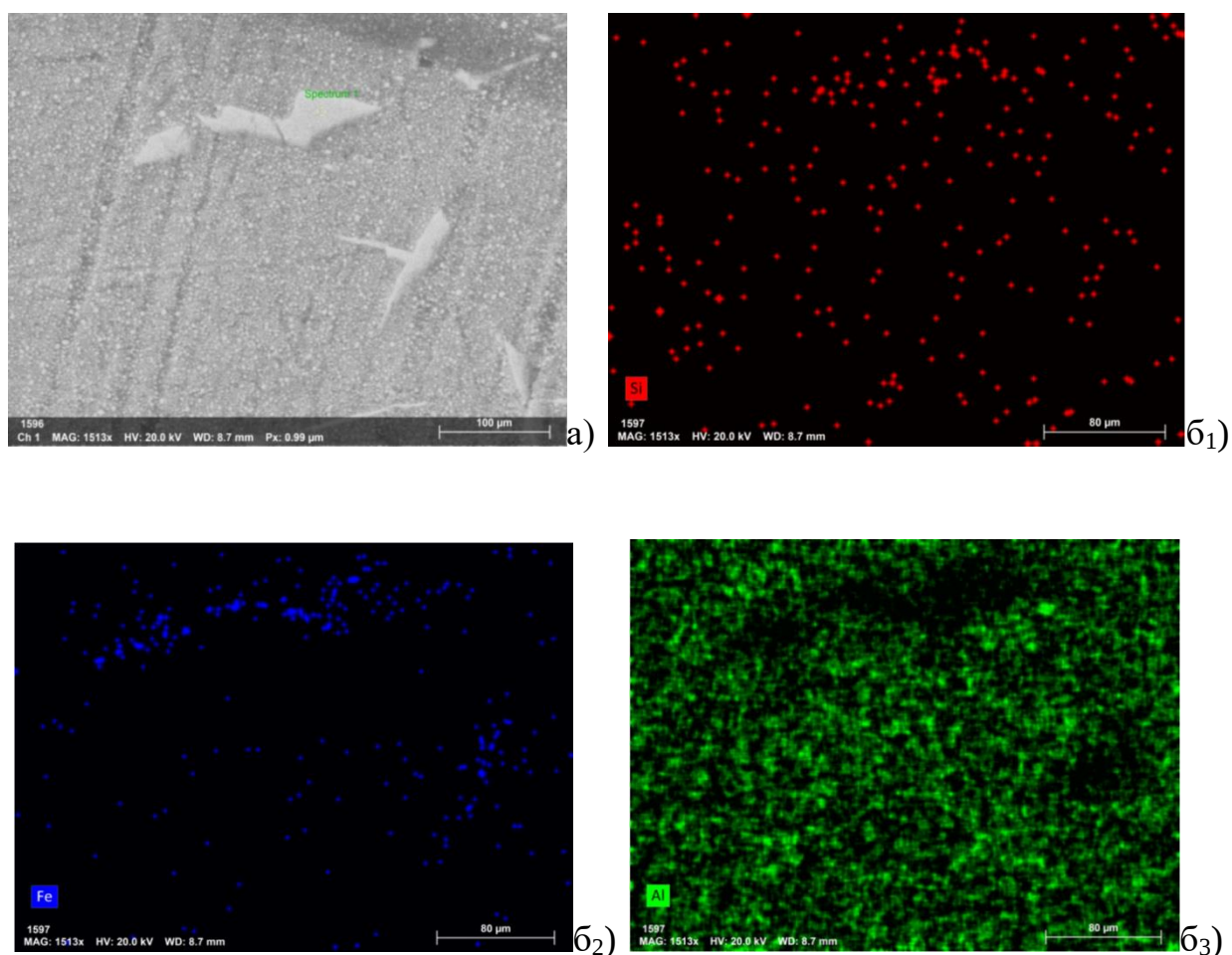


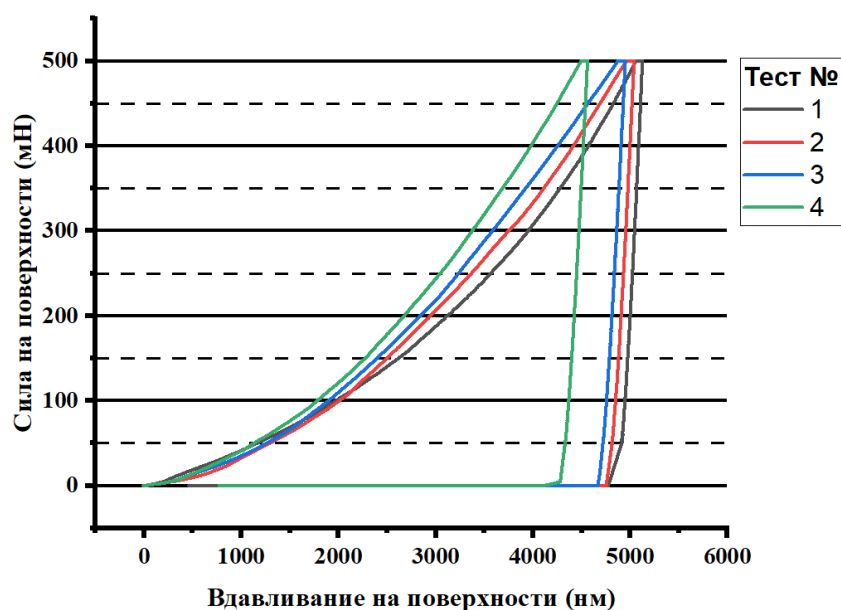
Рисунок 15 - Образец алюминиевого сплава АД31, модифицированного микрокремнезёмом:

а – энергодисперсионный анализ сплава и количественный анализ, x1513;
 б_{1,2,3} – распределение элементов Al, Si и Fe на исследуемой поверхности, x1513;

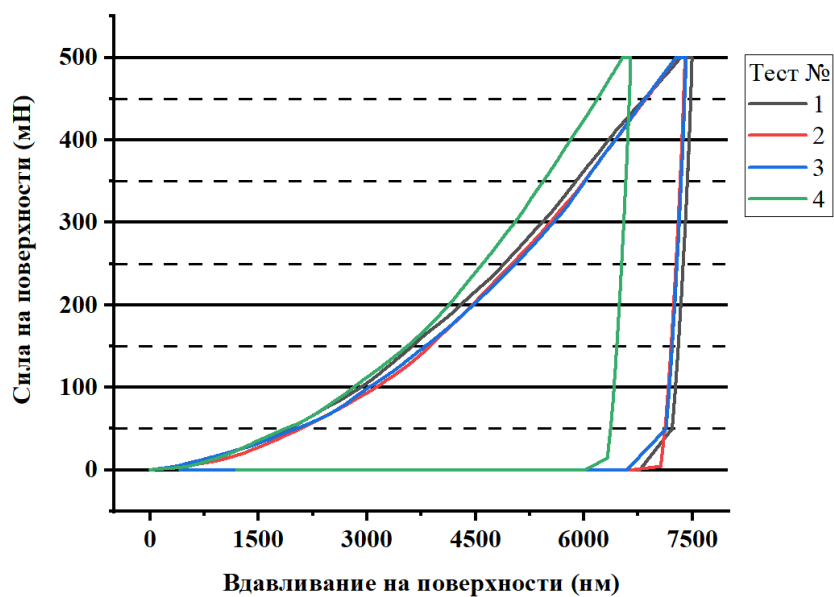
Таким образом, в результате модифицирования производственными отходами микрокремнезёма и корунда Al_2O_3 алюминиевые сплавы изменяют свою структуру и фазовый состав. Микроструктура измельчается, следовательно, согласно закону Холла-Петча, улучшаются механические свойства (повышаются прочностные свойства), которые можно и дальше регулировать, применяя различные режимы термической обработки [44][45].

2.5.1 Наноиндентирование и измерение твердости по Бринеллю

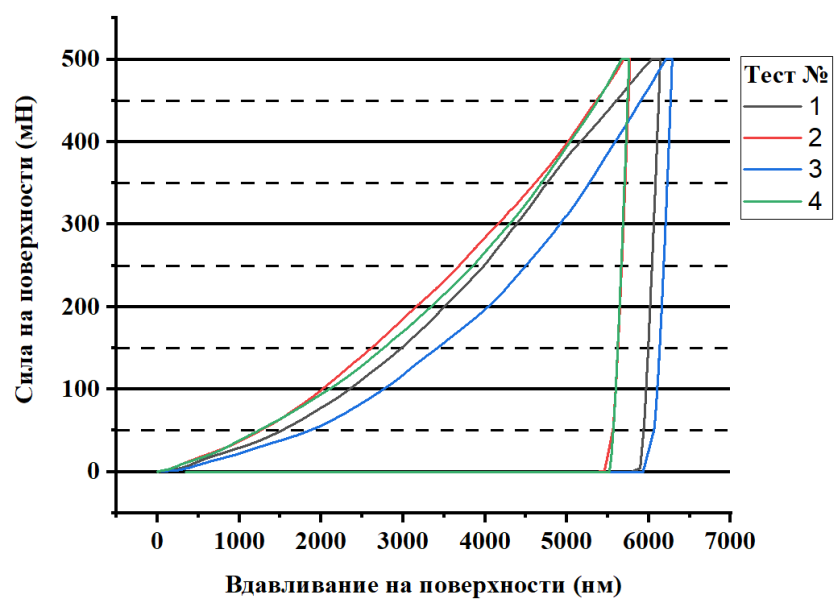
Подготовленные путем шлифования и полировки образцы помещали в машину для испытания на наноидентификацию, где во время впрыска алмазной пирамиды измеряли модуль упругости и твердость. На рисунке 16 показаны кривые зависимости силы вдавливания от смещения. Результаты наноиндентирования показывают, что наибольшие значения модуля упругости и нанотвердости наблюдались на втором образце.



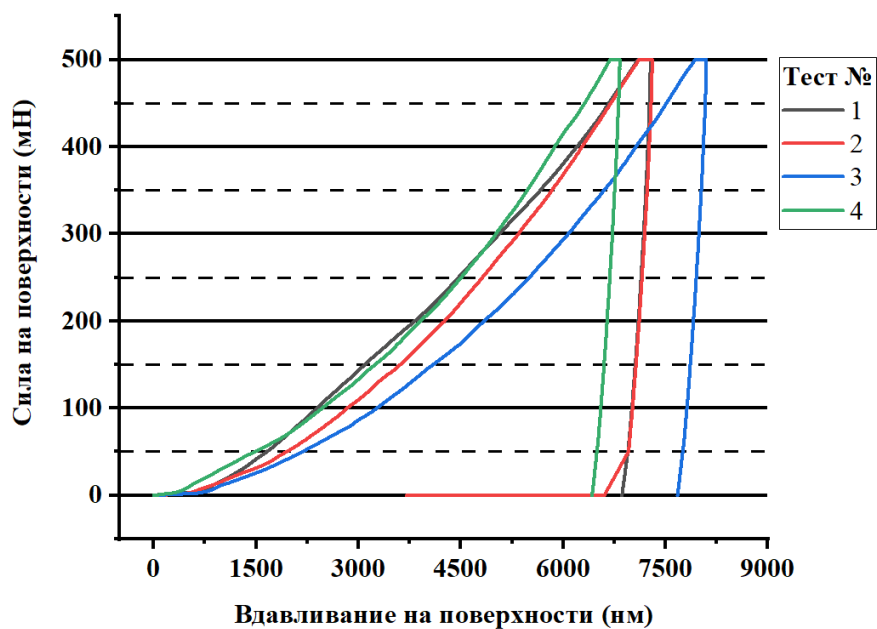
а)



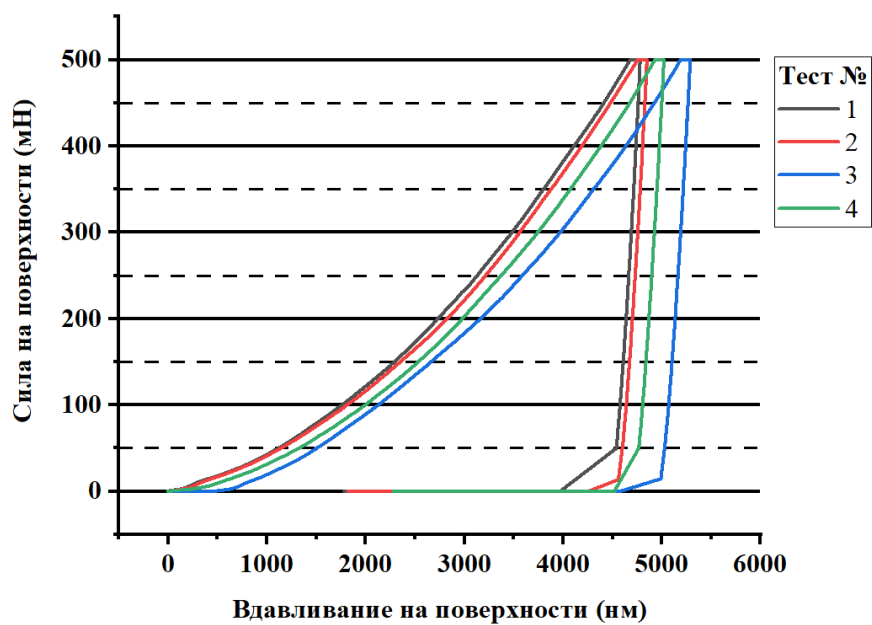
б)



В)



Г)



Д)

Рисунок 16. Диаграмма внедрения индентора.

а) Исходный образец АД31; б) микрокремнезем (порошок); в) корунд (порошок); г) микрокремнезем (порошок); д) 5 % - корунд (порошок)

Полученные данные по нанотвердости и модулю упругости приведены в таблице 9.

Таблица 9. Данные наноиндентирования

Номер образца	Состав	Модуль упругости, МПа	Нанотвердость, МПа	Твердость по Бринеллю <i>HB</i>	Предел прочности σ_b , МПа
1	АД-31-1% SiO ₂ (микрокремнезем)	61700	409	22,3	78,05
2	АД-31-5% SiO ₂ (микрокремнезем)	81438	580	22,7	79,45
3	АД-31- 1%Al ₂ O ₃ (корунд)	52172	412	28,9	101,15
4	АД-31-5%Al ₂ O ₃ (корунд)	93269	956	61,2	214,2
5	АД-31	92719	904	51	178,5

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не только масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;

- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

Целью магистерской диссертации является изучение исследование влияния подобных «не годных» производственных отходов в качестве модифицирующих элементов или добавок на механические, технологические свойства получаемой продукции.

3.1 Предпроектный анализ

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Алюминий – самый распространенный металл на земле, его доля в земной коре составляет до 8,8%. Однако вопреки распространенному мнению, алюминиевых рудников в природе не существует. Благодаря своей химической активности алюминий практически не встречается в свободном виде – для промышленного производства подходит лишь многие их содержащих его минералов и горных пород.

Были добавлены в сплав модифицирующие добавки из производственных отходов порошков микрокремнезёма и корунда. Корундовый диск – это абразивный инструмент, состоящий из зерен определенной фракции сцементированных между собой вяжущим веществом. Микрокремнезем (силикатная пыль) — представляет собой ультрадисперсный материал, состоящий из частиц сферической формы, получаемый в процессе газоочистки технологических печей при производстве кремния и ферросилиция. Основным компонентом материала является диоксид кремния аморфной модификации. Микрокремнезем является

важнейшим компонентом при производстве бетонов с высокими эксплуатационными свойствами.

Алюминий остается очень востребованным на рынке металлом, и спрос на него ежегодно растет, так же, как и его объемы производства. По итогам 2014 года, мировой объем производства алюминия составил 53 млн. тонн, что на 4,8% больше показателей 2013 года. Лидером на рынке является Китай, чья доля в общем объеме составляет 52%.

Благодаря своим уникальным характеристикам алюминий находит все большее применение во многих сферах человеческой деятельности. На протяжении последних тридцати лет потребление алюминия росло самыми быстрыми темпами по сравнению с остальными металлами.

Мировым лидером потребления алюминия является Китай. Ключевыми отраслями алюминия являются строительство и транспорт.

В странах с развитой экономикой основной объем потребления приходится на транспортную индустрию. Развитые страны активно используют алюминий в автомобилестроении – за счет своей легкости он позволяет создавать энергоэффективный транспорт, что отвечает экологической политике США, Японии и стран Евросоюза, стремящихся минимизировать выбросы вредных веществ в атмосферу. В тоже время основной объем потребления алюминия в странах с развивающейся экономикой обеспечивает строительная отрасль.

Алюминиевые заводы в России находятся в настоящее время под управлением объединенной компании РУСАЛ, которая в 2007 году являлась крупнейшим в мире производителем алюминия и глинозема.

Исследуя рынок потенциальных потребителей, можно выделить ряд предприятий, которым потенциально интересны результаты исследований:

- Богучанский алюминиевый завод, Богучаны
- Братский алюминиевый завод, Братск
- Волгоградский алюминиевый завод, Волгоград
- Волховский алюминиевый завод, Волхов

- Всеволожский завод алюминиевых сплавов, Санкт-Петербург
- Иркутский алюминиевый завод, Шелехов
- Красноярский алюминиевый завод, Красноярск
- Новокузнецкий алюминиевый завод, Новокузнецк
- Саяногорский алюминиевый завод, Саяногорск
- Уральский алюминиевый завод, Каменск-Уральский
- Хакасский алюминиевый завод, Саяногорск.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В ходе исследования были рассмотрены сплав алюминия АД31. Алюминиевый сплав АД31 используется в производстве широкого ассортимента металлопроката:

- 1) Алюминиевый сплав АД31;
- 2) Модифицированный алюминиевый сплав с микрокремнеземом и корундом;

Детальный анализ необходим, т.к. каждый материал имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 10 показано сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 10 - Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Точность исследований	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
3. Удобство в эксплуатации	0,15	4	5	3	0,6	0,75	0,45
4. Энергоэкономичность производства	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
5. Повышение производительности труда пользователя	0,14	5	4	3	0,7	0,7	0,42
6. Простота изготовления	0,07	3	4	2	0,21	0,21	0,14

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Цена сырья	0,12	4	3	2	0,48	0,36	0,24
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	3	2	0,2	0,15	0,1
4. Финансирование научной разработки	0,07	4	3	5	0,28	0,21	0,35
Итого	1	45	38	30	4,47	4,08	3,3

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot F_i \quad (7)$$

Где, K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

3.1.3 SWOT анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Для анализа проекта составлена таблица 11. Сперва описываются сильные и слабые стороны проекта, для выявления возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 11 – матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Методика исследования материалов в данной работе является эффективной; С2. Методика, описанная в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность; С3. Возможность применения данной методики, для деформируемых и литейных металлов; С4. Актуальность разработки;	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Завышенные требования к оборудованию т.к. для проведения эксперимента требуются сложные испытательные установки; Сл2. Возможность появления новых методов; Сл3. Большой объем методики; Сл4. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой;
Возможности: В1. Использование во многих отраслях.; В2. Появление дополнительного спроса на конечный продукт; В3. Возможность использования на мировом уровне;	Изучив свойства модифицированный алюминиевого сплава нового поколения, можно вывести продукт на востребованный уровень.	Главными проблемами разработки это вероятность получения несоответствующий продукт и необходимость дальнейшего исследования модифицированный алюминиевого сплава;
Угрозы: У1. Повышение стоимости оборудования; У2. Возможность создание более доступной в цене аналогового метода определения металла; У3. Отсутствие спроса на новую методику;	Цена может быть увеличена из-за роста цен на сырье, из-за повышения импортных пошлин	Отсутствие утвержденных стандартов и актов, что уменьшает спрос на рынке

Проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Самой большой угрозой для проекта является возможность создания более доступного в цене аналогового метода определения структуры, свойств и химического анализа, что на данном этапе не прогнозируется, поскольку данная методика имеет теоретическую, математическую и экспериментально обоснованную базу, которая является наиболее удобной и целесообразной в использовании.

3.2 Планирование управления

Комплекс работ по созданию научно технического исследование включает в себя:

-исследование образца металлографическим методом.

-исследование образца на влияние структуры и свойства после модифицирование.

-исследование образца на индентирование.

Исследование образца будут изучать 2 человека: руководитель проекта и студент-дипломник.

Особенность НИР в энергетической области это ее неповторимость, сложность и уникальность.

Последовательность выполнения научно-исследовательской работы, а также ее содержание зависят от предмета исследования, сложности научно-исследовательской работы, актуальность и новизны темы. В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

3.2.1 План проекта

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 12:

Таблица 12 – Календарный план проекта

Номер работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1.	Составление и утверждение технического задания	3	10.02.2022	12.02.2022	Матренин С.В. – руководитель
2.	Изучение металлографических методик,	4	14.02.2022	17.02.2022	Сапаров Д.С.

Продолжение таблицы 12

3.	Выбор направления исследований	3	19.02.2022	22.02.2022	Сапаров Д.С.
4.	Планирование проведения исследования алюминиевого сплава	3	24.02.2022	26.02.2022	Матренин С.В. Сапаров Д.С.
5.	Подготовка оборудования для проведения исследования	2	26.02.2022	28.02.2022	Матренин С.В. Сапаров Д.С.
6.	Проведение эксперимента по изучениюалюминиевого сплава АД31	5	01.03.2022	05.03.2022	Матренин С.В. Сапаров Д.С.
7.	Исследование модифицированные алюминиевых сплавовАД31	6	7.03.2022	12.03.2022	Сапаров Д.С.
8.	Анализ полученных результатов, исследования алюминиевого сплава АД31	4	21.03.2022	24.03.2022	Матренин С.В. Сапаров Д.С.
9.	Оценка целесообразности и дальнейшего проведения исследований	11	04.04.2022	15.04.2022	Матренин С.В. Сапаров Д.С.
10.	Составление пояснительной записки	42	18.04.2022	7.06.2022	Сапаров Д.С.
Итого:		83			

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения ВКР в форме диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в рамках таблицы 13 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работ

Таблица 13 – Календарный план-график проведения научно-исследовательской работы

№	Вид работ	Ис пол ни.	Т _{к.} ч.	Продолжительность выполнения работ														
				Февр.			Март			Апр.			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Р	3															
2	Изучение металлографических методик,	И	4															
3	Выбор направления исследований	Р, И	3															
4	Календарное планирование работ по теме	И	3															
5	Планирование проведения исследования алюминиевого сплава	Р, И	2															
6	Подготовка оборудования для проведения исследования	Р, И	5															
7	Исследование модифицированные алюминиевых сплавов АД31	И	6															
8	Анализ полученных результатов, исследования алюминиевого сплава АД31	Р, И	5															
9	Оценка целесообразности и дальнейшего проведения исследований	Р, И	10															
10	Составление пояснительной записки	И	30															



– Руководитель (Р)



– Исполняющий (И)

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

3.3 Бюджет научного исследования

3.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 14.

Таблица 14 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Спирт этиловый ректификованный ГОСТ 5962-2013	300 мл	1	200	200
Вата медицинская	300 г	1	400	400
Наждачная бумага	P2000, 3000, 1500	15	20	300
Алмазная паста	АСМ, 100 г	1	400	400
Перчатки лабораторные	Пар, М	25	20	500
Всего за материалы				1800
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				72
Итого по статье С_м				1872

3.3.2 Специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 15 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.
1	Персональный компьютер	1	40000
2	Микроскоп ЛабоМет-1	1	200000
3	Полировальная машина UNIPOL - 801	1	1000000
4	Наноиндентор G200	1	6000000
5	Твердомер Бринелль	1	88000

Расчет амортизационных отчислений осуществляется исходя из базовой стоимости оборудования и утвержденных норм амортизации.

Расчёт амортизационных отчислений H осуществлялся по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{T_{испi}}{365} \cdot K_i \cdot H_{ai}. \quad (8)$$

Где, n – число единиц оборудования;

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

K_i – стоимость i -ой единицы оборудования;

H_{ai} – норма амортизации i -ой единицы оборудования.

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

$$H_a = \frac{1}{T_{cc}}. \quad (9)$$

Результаты расчета амортизации оборудования представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Затраты на оборудование

№ п/ п	Наименование оборудования	Цена	Срок службы, лет	Срок использования в НТИ, кал. дни	На, %	Н, руб.
1.	Микроскоп ЛабоМет-1	200000	5	3	0,2	328,76
2.	Полировальная машина UNIPOL - 801	100000 0	10	10	0,1	1369,86
3.	Наноиндентор G200	600000 0	10	5	0,1	8219,17
4.	Твердомер Бринелль	88000	10	1	0,1	241
Итого:						10 158,79

3.3.3 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата исполнителей и руководителя, помимо этого рассчитываются расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}. \quad (10)$$

Где, $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}. \quad (11)$$

$$Z_{\text{осн}} = 2072 \cdot 27 = 55\,944 \text{ руб. (Рук.)}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1312 \cdot 40 = 52\,480 \text{ руб. (Инж.)}$$

Где, $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 19);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (12)$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{49\,010 \cdot 10,4}{246} = 2072 \text{ руб.} \quad (\text{Рук.})$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{24\,960 \cdot 11,2}{213} = 1312 \text{ руб.} \quad (\text{Инж.})$$

Где, $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 17).

Таблица 17 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	66	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{np} + k_{\text{д}}) \cdot k_p \quad (13)$$

$$З_{\text{м}} = 37\,700 \cdot 1,3 = 49\,010 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{м}} = 19\,200 \cdot 1,3 = 24\,960 \text{ руб.}$$

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

$k_{\text{пр}} = 0,3$ – премиальный коэффициент (определяется положением об оплате труда);

$k_{\text{д}} = 0,2$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется положением об оплате труда);

$k_{\text{р}} = 1,3$ – районный коэффициент для г. Томска.

Расчет основной заработной платы показан в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{\text{мс}}, \text{руб}$	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}, \text{руб}$	$З_{\text{он}}, \text{руб}$	$T_{\text{р}}, \text{раб.дн.}$	$З_{\text{осн}}, \text{руб}$
Руководитель	37700	-	-	1,3	49 010	2072	27	55 944
Инженер	19200	-	-	1,3	24 960	1312	40	52 480
Итого:								108 424

3.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

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

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}}. \quad (14)$$

$$З_{доп} = 55\,944 * 0,12 = 6713 \text{ руб. (Рук.)}$$

$$З_{доп} = 52\,480 * 0,12 = 6297 \text{ руб. (Инж.)}$$

Где, $k_{доп} = 0,12$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

Таблица 19 представляет форму расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 19 – Заработная плата исполнителей НИ

Исполнитель	З _{осн}	З _{доп}	З _{исп}
Руководитель	55 944	6713	62 657
Инженер	52 480	6297	58 777
Итого:	108 424	13 010	121 434

По результатам расчета дополнительной заработной платы было выявлено, что дополнительная заработная плата участникам проекта составляет 13 010руб.

3.3.5 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного ин-стремена и инвентаря, зданий, сооружений и др.

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (15)$$

$$C_{накл} = 0,8 * (108\,424 + 13\,010) = 97\,147 \text{ руб.}$$

Где, $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

По результатам расчета сумма накладных расходов составляет 97 147 руб.

3.3.6 Отчисления во внебюджетные фонды

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

$$З_{внеб} = (З_{осн} + З_{доп}) \cdot k_{внеб}. \quad (16)$$

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

Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ), откуда $k_{внеб}=0,3$.

$$З_{внеб} = 121\,434 \cdot 0,3 = 36\,430 \text{ руб.}$$

По результатам расчета отчислений во внебюджетные фонды было выявлено, что отчисления составляют 36 430 руб.

3.4 Бюджетная стоимость НИР

Определение бюджета затрат на НИР приведет в таблице 20.

Таблица 20 – Стоимость НИР

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты	1872
2	Специальное оборудование для научных (экспериментальных)	10 158,79
3	Основная заработная плата	108 424
4	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	13 010
5	Накладные расходы	97 147
6	Отчисления во внебюджетные фонды	36 430
Итого:		267 871

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

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

3.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследование

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 (табл. 12). 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:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (17)$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 267\,871 \text{ руб.}, \quad \Phi_{\text{исп2}} = 301\,152 \text{ руб.}, \quad \Phi_{\max} = 340\,302 \text{ руб.}$$

$$I_{\phi}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\max}} = \frac{267\,871}{340\,302} = 0,78;$$

$$I_{\phi}^{\text{исп.2.}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2.}}}{\Phi_{\max}} = \frac{301\,152}{340\,302} = 0,88;$$

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

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта (по данным в таблице 20):

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,7;$$

$$I_{p2} = 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 3,9;$$

$$I_{p3} = 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 3,6.$$

Таблица 21 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0,2	5	3	4
3. Простота изготовления	0,15	5	5	3
4. Энергосбережение	0,15	5	3	3
5. Надежность	0,2	4	4	4
6. Стоимость продукции	0,2	5	4	4
ИТОГО	1	28	24	21

Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 83 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 40 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 27;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 267 871руб.

4. Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0.78, что является показателем того, что ИР является относительно выгодной по сравнению с аналогами.

5. Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4.7, что выше, чем у аналогов что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

4 Социальная ответственность

4.1 Введение по разделу «Социальная ответственность»

Данная ВКР основана на проведении научных исследований влияний модифицирующих добавок из производственных отходов на структуру и свойства сплава. Работы проводились в лабораториях Отделения Материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий Томского Политехнического университета. В процесс исследований входили следующие операции по подготовке образцов – полировка, шлифование, измерение твердости, микроскопические исследования.

Участок подготовительных работ включает в себя следующие оборудование – Полировальная машина EQ-UNIPOL 810.

На участке испытательных работ использовалось оборудование – оптический микроскоп – ЛабоМет - И, Nano Indenter G200.

В настоящем разделе рассматриваются вопросы охраны труда и техники безопасности при работе в аналитических лабораториях, а также разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье работников лаборатории опасных и вредных факторов.

4.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.2.1 Правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 – ФЗ работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за

исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра[46].

4.2.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Работник лаборатории работает в двух положениях: сидя (преимущественно) и стоя. Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса. Категории работ - по ГОСТ 12.1.005-88. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда[47][48].

Электробезопасность в соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ обеспечивается: конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями[49].

Требования к планам эвакуации в соответствии с требованиями[50] включает в себя указание путей эвакуации, эвакуационных выходов и мест размещения спасательных средств, аварийных выходов.

4.3 Производственная безопасность

Производственная безопасность является системой организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных и производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо определить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникнуть при работе на установках. Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003 – 2015. [51] Перечень опасных и вредных факторов, характерных для данной производственной среды приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Изготовление	Эксплуатация	
1. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СП 52.13330.2016 [7]
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+	ГОСТ 12.4.011-89[8]
3. Повышенный уровень электромагнитных полей	+	-	ГОСТ 12.1.005-88 [9]
4. Повышенный уровень вибрации	+	-	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ [10]
5. Повышенное значение	+	-	

напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека			ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ [4] СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение [11] СН 2.2.4/2.1.8.566-96. 2.2.4 [12]
--	--	--	---

4.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

1. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны может возникать при неправильном размещении источников света и осветительных приборов в рабочем помещении, а также при световом потоке ниже нормы в 300 лк.

Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму. В зависимости от длины волны, свет может оказывать возбуждающее (оранжево-красный) или успокаивающее (желто-зеленый) действие[52].

Минимальная освещенность на рабочих местах не должна отличаться от нормируемой средней освещенности в помещении более чем на 10% согласно[53]. Система освещения должна быть сконструирована таким

образом, чтобы не существовало ни затененных зон способных вызвать неудобство, ни раздражающего ослепляющего света, ни опасного стробоскопического эффекта на движущихся частях из - за освещения. Внутренние элементы, требующие частой проверки и регулировки, а также зоны технического обслуживания должны быть обеспечены достаточным освещением.

Согласно [54] к средствам нормализации освещенности производственных помещений рабочих мест относятся:

- источники света;
- осветительные приборы;
- световые проемы;
- светозащитные устройства;
- светофильтры;
- защитные очки.

2. Отклонение показателей микроклимата

Отклонение показателей микроклимата могут возникать при несоответствии температуры воздуха и рабочих поверхностей, относительной влажности воздуха и скорости его движения оптимальным или допустимым величинам, в зависимости от теплого или холодного периода года.

Микроклимат рабочих помещений должен обеспечивать общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и не вызывать отклонений в состоянии здоровья[55].

На сварочных постах значения микроклимата не должны превышать значений, указанных в таблице 23.

Таблица 23 – Оптимальные нормы микроклимата при работе в лаборатории

Сезон года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более	Температура воздуха вне постоянных рабочих мест, °С	Тепловое облучение, Вт/м ²
Холодный и переходный период	18 – 20	60 – 40	0,2	13 – 24	800 – 1000
Теплый период	21 - 23	60 – 40	0,3	24 – 28	1000 – 1500

3. Повышенный уровень электромагнитных полей

В условиях производства, связанного с воздействием электромагнитных полей на работников, все изолированные от земли крупногабаритные металлоконструкции, машины, механизмы и другие объекты должны быть заземлены.

Отмечается, что электромагнитные поля при достаточно длительном воздействии на организм человека могут вызывать нарушения в работе таких систем организма, как: нервная, иммунная и эндокринная.

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) на рабочем месте не должны превышать значений[56], представленных в таблице 24.

Таблица 24 – Допустимые уровни ЭМП

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		1,5 кВ/м

4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Инженеру-лаборанту на своем рабочем месте приходится работать с оборудованием, находящимся под напряжением 220В и промышленной частотой 50 Гц, поэтому возникает опасность поражения электрическим током. Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями[56].

Наиболее распространенными причинами электротравматизма являются:

- неправильного ведения работ;
- появление напряжения там, где его в нормальных условиях быть не должно (на корпусах оборудования, на металлических конструкциях сооружений), чаще всего это происходит вследствие повреждения изоляции;
- возможность прикосновения к незащищенным токоведущим частям при отсутствии соответствующих ограждений;
- прочие причины: несогласованные и ошибочные действия персонала, подача напряжения на установку, где работают люди, оставление установки

под напряжением без надзора, допуск к работам на отключенном электрооборудовании без проверки отсутствия напряжения.

Для того чтобы избежать возможности поражения электрическим током необходимо соблюдать требования, установленные «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей»[56].

Для предотвращения случаев электротравматизма на рабочем месте, рекомендуется применение электрооборудования класса 0. Помимо этого в качестве дополнительной защиты использовать сетевые фильтры, источники бесперебойного питания, использование закрытых розеток.

4.4 Экологическая безопасность

Предельно допустимая концентрация примесей в атмосфере на территории промышленного предприятия не должна превышать 30% вредных веществ.

Для отчистки выбросов в атмосферу, производящихся при работе с порошками, достаточно производить улавливание аэрозолей и газообразных примесей из загрязненного воздуха. Для улавливания аэрозолей и частиц порошков, выделяемых в процессе работы лаборанта используется вытяжной шкаф с возможностью отвода пыли и частиц. Шкафы подключены к общей вытяжной системе с системой грубой отчистки, осаживания пыли и циклоном[57].

Большое значение для оздоровления воздушной среды имеет надежная герметизация оборудования, в котором происходит работа с порошком. Через неплотности в соединениях, а также вследствие газопроницаемости материалов происходит истечение находящихся под давлением газов, содержащих частицы порошков.

Потребительские свойства воды обусловили её широкое использование в технологиях промышленного производства. На предприятиях обрабатывающих производств 70–90% воды используется в качестве хладагента, охлаждающего продукцию в теплообменных аппаратах, или для защиты отдельных элементов машин и установок от чрезмерного нагрева; 10–

20% теряется на испарение или входит в состав произведенной продукции; 5–13% используется для очищения продукции или сырья от примесей, а также в качестве транспортирующей среды. Экономия воды при использовании систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения в обрабатывающих отраслях промышленности превышает 90%[57].

Для контроля и значительной экономии воды на производстве стоит организовать технический учет воды. Учет воды позволяет грамотно планировать потребление, выявлять нерациональное использование, а также снижать потери воды на основе анализа учетных данных[58].

Распространение частиц порошков оказывает негативное влияние в большей степени на почву (литосфера), изменяя ее кислотно-щелочной баланс, микробиологическую и ферментативную активность. Попадание порошка в почву может привести к обеднению растительного покрова, что в свою очередь негативно повлияет на качество воздуха.

4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Непосредственно в лаборатории могут возникнуть взрыв оборудования и пожар.

Причиной взрыва может стать разгерметизация, искра, удар молнии. При взрыве образуется очаг взрыва, ударная волна которого способна вызвать масштабные разрушения. Также при взрыве возникает световое излучение – совокупность инфракрасного, ультрафиолетового и видимого излучений[59].

Причиной пожара в лаборатории может быть нарушение технологического режима, короткое замыкание, перегрузки и большие переходные сопротивления, износ или коррозия оборудования и др.

Используемый технологический процесс согласно относится к категории Д, т.к. использует негорючие вещества в холодном состоянии. В данном случае источником возгорания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.

Согласно требованиям противопожарной безопасности[59]предусмотрены средства пожаротушения: огнетушитель

ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком. Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации. Пожарные извещатели преобразуют неэлектрические физические величины в электрические, которые в виде сигнала определенной формы направляются по проводам на приемную станцию.[60] В лаборатории имеются 2 - огнетушителя марки ОУ-2 предназначены для тушения различных веществ и материалов, за исключением щелочноземельных элементов, а также электроустановок под напряжением до 1000В. При тушении электроустановок, находящихся под напряжением, не допускается подводить раструб ближе 1 - метра до электроустановки и пламени.

На случай возникновения чрезвычайной ситуации должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий: рассредоточение и эвакуация; укрытие людей в защитных сооружениях; обеспечение индивидуальными средствами защиты; организация медицинской помощи пострадавшим[61].

Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе. Для минимизации влияния данного фактора, достаточно соблюдать меры, приведенные в ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

Категория помещения по электробезопасности согласно ПУЭ соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности» Электробезопасность в соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ обеспечивается: конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями.

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы I по электробезопасности

производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током.

Причиной пожара в лаборатории может быть нарушение технологического режима, короткое замыкание, перегрузки и большие переходные сопротивления, износ или коррозия оборудования и др.

Используемый технологический процесс согласно относится к категории Д, т.к. использует негорючие вещества в холодном состоянии. В данном случае источником возгорания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории.

Заключение

Целью работы являлось исследование структуры и физико-механических свойств модифицированных образцов алюминиевого сплава АД-31.

Автором работы были проведены исследования влияния отходов кремниевого производства микрокремнезёма (микросиликатной пыли) и мелкодисперсного порошка корунда Al_2O_3 (наждачных отходов отрезных дисков) на структуру и свойства алюминиевого сплава АД-31 при его модифицировании.

Данный алюминиевый сплав был выбран в качестве объекта исследования, так как основной компонент сплава – алюминий – характеризуется большой распространенностью и по объемам производства занимает второе место после железа.

Часть металлографических исследований была реализована в Карагандинском государственном индустриальном университете. Там же была проведена плавка алюминиевого сплава АД-31 с добавлением в качестве модификаторов отходов порошка кремниевого производства «Силициум Казахстан» (микрокремнезема марки МК-85) и порошка корунда (абразивного отхода от отрезных дисков).

Экспериментальные исследования физико-механических свойств модифицированного добавками сплава АД-31 выполнены в Национальном исследовательском Томском политехническом университете в отделении материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий.

В результате проведенных исследований сформулированы следующие основные выводы:

1. Выявлено положительное влияние модифицирующих добавок из производственных отходов на структуру и свойства сплава – измельчается зерно, изменяется фазовый состав.
2. Введение в качестве модификатора порошка кремниевого производства

«Силициум Казахстан» (микрокремнезема марки МК-85) не привело к повышению физико-механических свойств алюминиевого сплава АД-31. Однако с позиций сохранности окружающей среды (утилизация отходов кремниевого производства) эта технология допустима для ряда областей промышленности.

3. Показано, что наиболее перспективным способом модифицирования алюминиевого сплава АД-31 является введение при его плавке порошка корунда (абразивного отхода от отрезных дисков). Данный способ приводит к существенному повышению физико-механических свойств сплава. Так, модуль нормальной упругости повышается с 92,7 ГПа для не модифицированного до 93,3 ГПа для модифицированного, твердость по Мартенсу – с 904 МПа до 956 МПа, по Бринеллю *НВ*– с 51,0 до 61,2 соответственно. Значение предела прочности составило 214,2 МПа.

Это дает основание считать разработанный способ модифицирования перспективным для технологии литых алюминиевых сплавов нового поколения.

Список публикаций

4. К. Туысхан, Г.Е. Ахметова, Ульева Г., Сапаров Д., Толубаев К. Аprobация применения производственных отходов в качестве модификаторов алюминиевых сплавов.Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. Вестник SatbayevUniversity, 143(1), 233–240 (2021). <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.v143.i1.29>

Список литератур

- [1] Напалков В.И., Махов С.В., Поздняков А.В. Модифицирование алюминиевых сплавов/МИСиС, 2017. — 378 с.
- [2] Совершенствование законодательства с целью повышения эффективности переработки и использования отходов производства и потребления [Электронный ресурс].URL:
<http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/29479/>
- [3] Проблема промышленных отходов [Электронный ресурс]. URL:
<https://msd.com.ua/tehnologiya-teploizolyacii/problema-promyshlennyx-otxodov/>
- [4] А.Д. Верхотуров, Е.С. Панин и Н.С. Андрианова, Упрощающие Технологии и покрытия. № 8 (140): 25(2016).
- [5] Е.А.Ясинская, Металл и литье Украины, № 8(255):24 2014.
- [6] С.М. Григорьев, А.С. Петрищев, Новые материалы и технологии в металлургииНовые материалы и технологии в металлургии и машиностроении–Здание], № 2: 61 2008.
- [7] В.В. Борисов, А.С. Литвинов, Н.В. Брагинец, А.С. Петрищев, С.Р. Артемьев,Б.М. Цымбал, А.Н. Поляков, В.В. Братишко, В.Ф. Кузьменко и О.В.Холодюк, Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий, 3, № 10 (105): 482020;<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205779>
- [8] В.В. Борисов, И.В. Хевко, О.Н. торубара, С.В. Борисова, Д.А. Милько, д.п.Журавель, Б.М. Цымбал, В.В. Братишко, К.О. Самойчук и Ю.А. Постол Восточно-Европейский журнал предпринимательства Технологии, 1, № 12 (103): 24 (2020);<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.196653>
- [9] И.А. Мезенцева и В.В. Горбенко, Материалы VI Международнойконференции "Сотрудничество для решения проблемы отходов' (Харьков:2009), с. 92.

- [10] А.П. Ласковнев и А.И. Гарост, Известия Национальной Академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук [Вестник Национальной академиинаук Беларуси. Серия физико-технических наук], № 3: 88 2015.
- [11] Г.С. Гахеладзе, А.Ф. Долгополов, В.К. Соленый // Экология и промышленность[Экология и промышленность], № 1: 44 2006.
- [12] В.А. Гармат, А.Н. Петрунько, Н.В. Галицкий, Ю.Г. Олесов и Р.А. Сандлер, Титан М.: Металлургия, 1983.
- [13] А.Л. Андреев, Н.Ф. Аношкин, Г.А. Бочвар, Плавка и литье титановых сплавов[Плавка и литье титановых сплавов] (М.: Металлургия, 1994).
- [14] В.В. Тетюхин, И.В. Левин, И.Ю. Пузаков и Н.Ю. Таренков, ПатентRU2425164C1. Открытия и изобретения, 54, № 12: 45 2011.
- [15] К.Р. Шаймарданов, дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук. Техн. наук 'Разработка СВС-Технологий получения Силикотитановых сплавов для легирования Стали [РазработкаСВС-технология получения кремнийтитановых сплавов для легирования стали [Магнитогорск: 2014].
- [16] См. <https://magtu.ru/sveden/struct/instituty-fakultety-kafedry/institut-metalurgii-mashinostroeniya-i-materialoobrabotki/инновационные-разработки.html>
- [17] См. <https://magtu.ru/sveden/struct/instituty-fakultety-kafedry/institut-metallurgii-mashinostroeniya-i-materialoobrabotki/инновационные-разработки.html>
- [18] Л.В. Трибушевский, Б.М. Немененок и Г.А. Румянцева, Межрегиональный сборник научных трудов 'Литейные процессы", № 15: 146 2016.
- [19] Н.Н. Загиров, А.А. Ковалева, А.Я. Ольховик и О.Е. Коваль, Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, № 2: 59 (2015).

- [20] Е.Ф. Пантелеенко и В.Г. Щербаков, Литье и металлургия. № 1 (50): 176 (2009).
- [21] А.И. Гарост, Е.В. Кривоносова, А.И. Сурус, К.Д. Последович, Н.И. Урбанович, М.М. Гарост и Г.П. Горецкий, Int. Конф. 'Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически чистые технологии' (26-28 ноября, 2014, Минск) (Белорусский государственный технологический университет: 2014). Ч. 1, с. 113.
- [22] В.А. Федьков, А.В. Федьков, Е.И. Меняйло и В.И. Минакова, Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении, № 1: 85.
- [23] В.В. Сидоров, В.Е. Ригин, А.В. Горюнов и П.Г. Мин, Электронный научный журнал "Труды ВИАМ", № 6(2014); <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2014-0-6-1-1>
- [24] Л.В. Омельченко, Технический сервис Агропромышленного, Лесного и транспортного-техническая служба агропромышленного, лесного и транспортного комплексов. № 11: 301 (2018).
- [25] В.Г. Щербаков, Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов, № 36: 243 (2015).
- [26] П.Г. Мин, В.Е. Вадеев и В.В. Крамер, Всероссийский научно-технический журнал. Конф. 'Перспективные жаропрочные никелевые кованые сплавы и технологии их обработки' (ФГУП 'ВИАМ': 2018), стр. 102.
- [27] Ф. Пехлевани, Р. Кумар, Н. Горджизаде, Р. Хоссейн, С.Т. Чолаке, К. Приват и В. Сахаджвалла, Научные отчеты, 6: 38740 (2016); <https://doi.org/10.1038/srep38740>
- [28] Полимерные инженерные композиты (Под ред. М.О.У. Ричардсона) (Лондон: Прикладная Science Publishers: 1977).
- [29] Полимерные Композиционные Материалы. Свойства. Структура. Технологии полимерных композиционных материалов. Свойства. Структура. технологии] (Под ред. А.А. Берлина) (М.: Профессия, 2009).

- [30] Наполнители для полимерных композиционных материалов (Под ред. Г.С. Каца и Д.В. Милевского) (М.: Химия: 1981).
- [31] См. <https://sochisirius.ru/obuchenie/project/smena399/1988>
- [32] См. <https://opex-ltd.satu.kz/p17096131-mikrokremnezem-kondensirovannyj - mikrosilika.html>
- [33] Модифицирование структуры отливок и слитков http://steelcast.ru/steel_modification
- [34] Задиранов А.Н., Кац А.М. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. - Учебное пособие – М.: МГИУ, 2008. – 194 с.
- [35] Горбунов Д.М., Новиков А.В., Новомейский М.Ю., Новомейский Ю.Д. - Способ модифицирование алюминиевых сплавов. -(патент 1994).
- [36] Новомейский М.Ю. - Способ модифицирования литых сплавов. – (патент 1994).
- [37] Троцан А.И., Каверинский В.В., Бродецкий И.Л., Воронич В.А. Модифицирование алюминиевого сплава дисперсным порошком Al_2O_3 // Висник приазовского державного техничного университет. – 2013. – с.116.
- [38] Рожин А.В. Совершенствование процессов легирования и модифицирования алюминиевых сплавов на основе систем Al-Cu-Mg и Al-Zn-Mg-Cu // диссертация кандидата технических наук. - Екатеринбург, 2013. - 119 с.
- [39] Крушенко Г.Г. Модифицирование алюминиево-кремниевых сплавов порошкообразными добавками // Материалы II Всесоюзной научной конференции “Закономерности формирования структуры сплавов эвтектического типа”. – Днепропетровск, 1982. – С. 137-138.
- [40] Михаленков К.В. Формирование структуры алюминия, содержащего дисперсные частицы нитрида титана // Процессы литья. - 2001.- №1. - с. 40-47.

- [41] Чернега Д. Ф. Влияние дисперсных тугоплавких частиц в расплаве на кристаллизацию алюминия и силумина // Литейное производство. 2002. – № 12.
- [42] Н.Е. Калинина, В.П. Белоярцева, О.А. Кавац. Модифицирование литейных алюминиевых сплавов порошковыми композициями. – статья 2006.
- [43] Mondolfo L.F. Aluminum Alloys: Structure and Properties. LONDON-BOSTON: BUTTER WORTHS, 2018.
- [44] Малахов А.И., Жуков А.П. Основы металловедения и теории коррозии. - М.: Высшая школа, 1978. – 186 с.
- [45] Гуреева М.А. Особенности модифицирования алюминиевых сплавов системы Al–Mg–Si. // Конструирование, расчеты, материалы. – 2015. - № 5 (313). – с. 46.
- [46] "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.04.2021).
- [47] ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
- [48] ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
- [49] ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- [50] ГОСТ Р 12.2.143-2009 Система стандартов безопасности труда. Системы фотолюминесцентные эвакуационные. Требования и методы контроля.
- [51] ГОСТ 12.0.003 – 2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.
- [52] СП 52.13330.2016 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.
- [53] СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение.

- [54] ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
- [55] ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- [56] ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
- [57] СН 2.2.4/2.1.8.566-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы" (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996 N 40).
- [58] Приказ Минэнерго России от 13.01.2003 N 6 (ред. от 13.09.2018).
- [59] СНиП 11-2-80 Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
- [60] СНиП 21-01-97* Строительные нормы и правила российской федерации/ пожарная безопасность зданий и сооружений.
- [61] ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2017. – 6 с

Приложение I

Application of industrial waste as aluminum alloy modifiers (Materials, equipment and research methods)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ0И	Сапаров Дастан Сагимбаевич		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Демидова Ольга Михайловна	ст. преподаватель		

Томск – 2022

2. Materials, equipment and research methods

2.1 Materials

Aluminum AD-31 is an alloy deformable by pressure, with high ductility and corrosion resistance. In addition, the alloy is perfectly weldable, can be deep drawn, and due to its purity, it has good thermal and electrical conductivity. Due to these properties, it is used for the manufacture of parts produced by molding, deep drawing and parts designed to work under light loads, including in an aggressive corrosive environment. It is also used to produce solid tires in electrical engineering.

Aluminum AD-31 is produced with a chemical composition (table 1) according to GOST 4782-97, and contains only about 2.35% of impurities, including: iron, magnesium, silicon, zinc, manganese, titanium, copper. AD-31 is aviation (an alloy of the Al - Mg - Si system).

Table 1 - Chemical composition in % of material AD31

Fe ,%	Si ,%	Mn ,%	Cr ,%	Ti ,%	Cu ,%	Mg ,%	Zn ,%	Al ,%	impurities
up to 0.5	0.2 0.6	up to 0.1	up to 0.1	up to 0.15	up to 0.1	0.45 0.9	up to 0.2	97.65 99.35	Others, every 0.05, only 0.15

Compounds with a melting point higher than that of aluminum were chosen as modifying additives. Also, when choosing modifying additives, the emphasis was placed on the possibility of recycling production and equipment waste through their further use. Thus, we have chosen:

1) Silicate dust - microsilica, which is an ultrafine material from round particles obtained in the process of gas cleaning of technological furnaces in the production of silicon and ferrosilicon, the main component in which is silicon dioxide (with a melting point $T_{pl} = 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$) - a waste of silicon production Karaganda "Silicium Kazakhstan", the composition of which was previously determined using energy dispersive analysis.

2) Finely dispersed powder (granular mass - emery) of corundum Al_2O_3 ($T_{\text{melt}} = 2050^\circ\text{C}$) from cutting disc waste used in the process of cutting metals, disc residues or collapsed discs.

As shown by the results of energy dispersive analysis, the powder mainly consists of silicon dioxide, which is microsilica grade MK-85, and also contains a small amount of impurities (table 2).

Table 2 - The composition of the waste powder of silicon production "Silicium Kazakhstan"

Element	O	Al	Si	Ca	Fe	Zn	Total
Mass. %	12.47±0.02	0.58±0.00	85.12±0.04	0.49±0.01	0.73±0.01	0.61±0.01	100.00
Atom. %	20.15±0.04	0.56±0.00	78.39±0.03	0.32±0.00	0.34±0.00	0.24±0.00	100.00

In the conditions of the Karaganda State Industrial University, melting was carried out in the laboratory building - “ B ” of the Department of Metallurgy and Materials Science in a corundum crucible of an aluminum alloy with the addition of 1% and 5% of corundum powder (Al_2O_3) and powder of waste silicon production (microsilica) in a chamber electric resistance furnace at a temperature of $\sim 660\text{--}700^\circ\text{C}$. This furnace allows to carry out melting processes at temperatures up to 1200°C .

In the laboratory building - "B" the melting operation was carried out on a SNOL 6.7/1300 furnace (Fig. 1).



Figure 1 - Electric chamber furnace SNOL 6.7 / 1300 (a, b)

2.2 Research methods

Part of the metallographic work was carried out in the conditions of the Karaganda State Industrial University, aluminum alloy AD-31 was melted (Figure 5) in a chamber electric resistance furnace in corundum crucibles (at a temperature of $\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$) with the addition of 1% powder: 1) corundum (Al_2O_3) from cutting disk waste ; 2) waste silicon production (microsilica).

Study of the structure of the alloy. To study the structure, we use an optical microscope. The phase composition was studied using a Leica DM IRM optical microscope (Germany) (magnification 200-1000*).

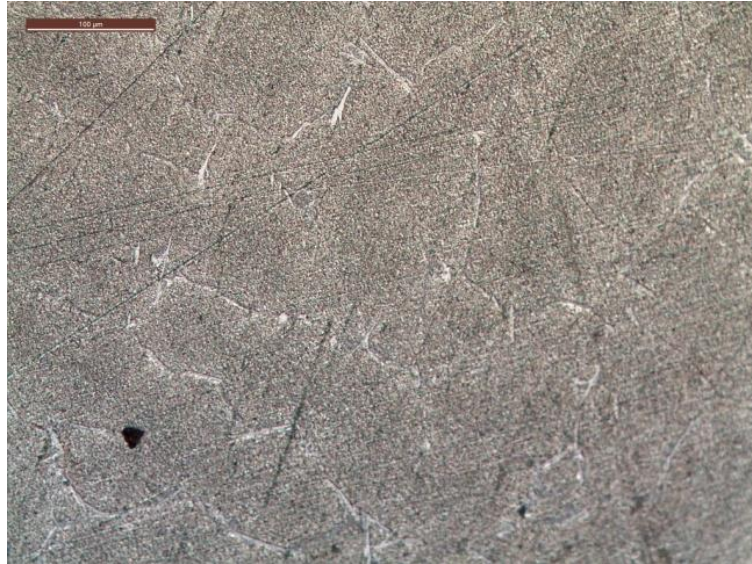


Figure 2 - microsilica in a small amount forms a solid solution with aluminum. Al + SiO₂ (microsilica), x200

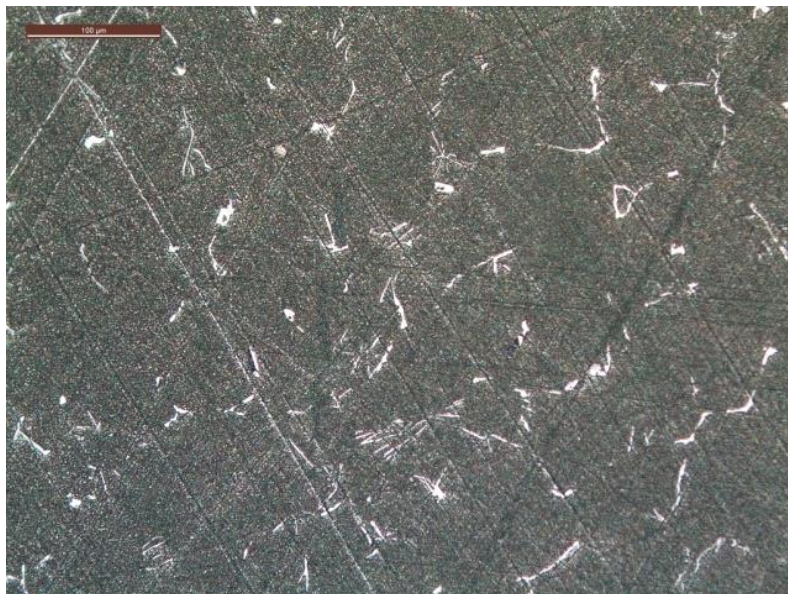


Figure 3 - due to the introduction of Al₂O₃ impurities , a large number of skeletal Al+α eutectics are formed. Al + Al₂O₃ (corundum), x200

2.2.1 Preparation of samples for metallographic research

The surface of the samples was prepared by grinding, polishing, and etching.



Figure 4 - Test samples:

- 1 – original sample aluminum alloy AD-31;
- 2 - AD-31 - 1% SiO₂ (microsilica);
- 3 - AD-31 - 5% SiO₂ (microsilica);
- 4 - AD-31 - 1% Al₂O₃ (corundum);
- 5 - AD-31 - 5% Al₂O₃ (corundum).

EQ - UNIPOL 810 polisher (Fig. 5) is equipped with an 8" super-flat aluminum lapping plate and one work piece support, as well as complete diamond lapping accessories. It can be used as a standard hand grinder or automatic lapping/polishing machine for both flat specimens and metallographic specimens. It is the most economical solution for the materials research laboratory.



Figure 5 - Polishing machine EQ -UNIPOL 810

Grinding. The sample was polished on sandpaper, paper with different grain sizes was used, with a gradual transition from coarser to finer. In order to optimize the grinding process, pre-wet the sandpaper before grinding. During grinding, it is necessary to cool down constantly so that the abrasive does not overheat. The paper was used in accordance with GOST (standart) 6456-75 on a paper basis with grit numbers. Before moving on to each subsequent paper number, the residues were removed with alcohol, and the grinding direction was changed by 90° until the traces of the previous processing were eliminated.

Polishing. Thick paper and diamond pastes of different grain sizes were used for polishing. The transition of diamond paste from large abrasive particles to fine ones occurs as soon as a mirror shine and the absence of scratches appear. Polishing is considered complete when the surface has a mirror finish and no scratches.

Etching. The etching process consisted in the fact that the surface of the thin section was exposed to a chemical reagent.

For etching the modified aluminum alloy AD-31, the following was used: an etchant with a 40 % aqueous solution of hydrogen fluoride HF (hydrofluoric acid), a

plate, a pinch, a measuring cup. The etching time was 1 minute. After etching, the sample was immediately washed in cold water and cleaned with alcohol.

2.3 Metallographic research

From the macrostructure of the sample, you can find out the granular or dendritic structure of metals and alloys. The location of crystalline grains, apparently, their target, and the length of individual zones depend on the cooling conditions, composition, and processing of the alloy. To determine the microstructure of the alloys, it was carried out using a LaboMet-I microscope (Fig.5) with the microstructure displayed on the monitor screen. The microscope is designed to observe and study the image of the structure of metals, alloys and other opaque objects (in the form of thin sections and sections) under direct illumination in reflected light in a bright field.

The microscope can be used for scientific, research purposes, as well as for routine laboratory research and educational work.



Figure 6 - Optical microscope LaboMet - I.

2.4 Nanoindentation

Indentation was carried out using a Nano Indenter G 200 (Figure 8). A. Berkovich pyramid was used as an indenter, the load was 500 mN (50 g). The design of the device allows you to display the indenter penetration diagram on the monitor in real time. Primary data - the load and depth of the pyramid. From the penetration diagram, the device automatically calculated the elastic modulus E_{IT} and microhardness H_{IT} in accordance with ISO 14577.

Pressing the indenter into the material causes local elastic and plastic deformation and leads to the formation of a corresponding imprint at a certain depth h_c . After the load is removed, the elastic deformation is restored, which makes it possible to determine the elastic properties of the material.

The experimental primary curve "load-indentation" (indentation diagram), continuously obtained during indentation, is shown in Figure 11. The following values are determined from the diagram: peak load and indenter penetration depth P_{max} and h_{max} , residual depth after unloading h_f , and the slope of the initial part of the unloading curve $S = dP / dh$, which characterizes the elastic stiffness of the contact. When using a trihedral Berkovich pyramid as an indenter, the hardness of the investigated surface H is determined by the following formula:

$$H = \frac{P}{A} = 0,00387 \frac{P}{h_{max}^2}. \quad (1)$$

where P is the load applied to the test surface, N, A is the area of the imprint under load, mm^2 , h_{max} is the penetration depth of the indenter, mm.

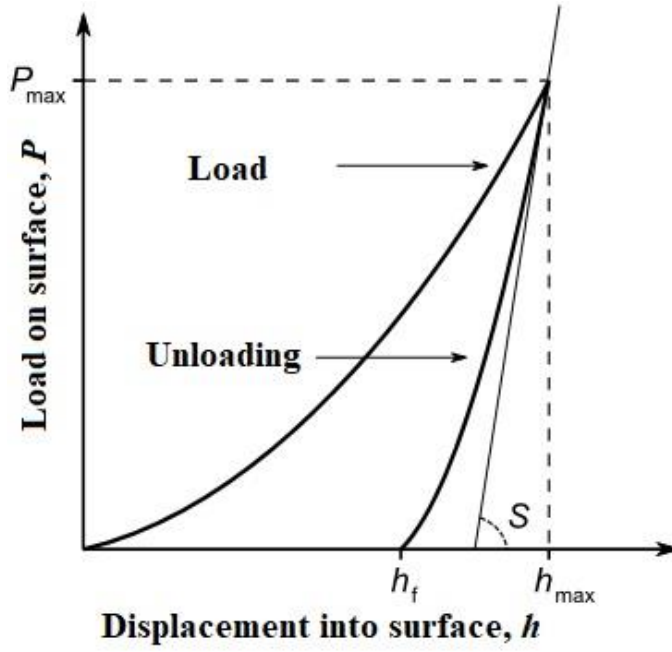


Figure 7 - Curve "load - penetration", obtained in the process of indentation

The modulus of elasticity of the test sample E is determined from the reduced modulus E_r , which is calculated by the formula:

$$E_r = \frac{(S\sqrt{\pi})}{2\beta\sqrt{A}} \cdot \quad (2)$$

Here β is a constant which depends on the geometry of the indenter. For an axisymmetric indenter $\beta = 1$, for an indenter with a square section (Vickers pyramid) $\beta = 1.012$, for an indenter with a triangular section (Berkovich pyramid) $\beta = 1.034$. Finally, the modulus of elasticity of the studied material E is calculated using the expression:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1-\nu^2)}{E} + \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i} \cdot \quad (3)$$

where ν is the Poisson's ratio of the material under study, E_i and ν_i are the modulus of elasticity and the Poisson's ratio of the indenter material. For diamond $E_i = 1141$ GPa and $\nu_i = 0,07$.



Figure 8 - NanoIndenter G200

2.4.1 Hardness measurement (Brinell)

Determination of hardness is the most common method for studying the properties of a material. This is due to a number of reasons: hardness determination is a non-destructive method; do not require high qualifications; knowing hardness, one can judge other mechanical properties. Hardness characterizes the resistance of a material to high plastic deformations. The most popular methods for determining hardness are the introduction of a special body, an indenter, into the test material. In this case, the imprint of the indenter remains in the material, which is used to judge the magnitude of hardness. The principle of operation of the device is based on the indentation of a diamond pyramid into the material under study under a certain load and the measurement of the linear value of the diagonal of the resulting imprint. The hardness number (H) is defined as the quotient of the load P (in kg) on the side surface S (dmm^2) of the imprint, assuming that the imprint angles correspond to the pyramid angles:

Brinell hardness measurement. The indenter is a hardened steel ball, which is pressed into the test sample on a special press (Figure 13). As a result, an imprint in the form of a spherical hole is formed on the surface of the sample. The diameter of the imprint is measured using a magnifying glass, on which risks are applied as conditional dimensions. The HB hardness number (kgf/mm²) is the ratio of the applied load to the surface area of the imprint, it is calculated by the formula:

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4)$$

where F - is the applied load; D and d are the ball and indent diameters, respectively.

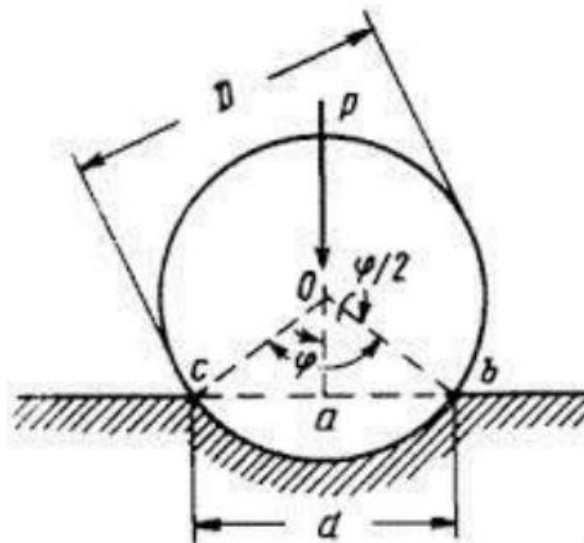


Figure 13 - Brinell hardness measurement: Brinell hardness imprint measurement scheme (F - load)

In practice, they use a table that shows the hardness values depending on the diameter of the print. The ball diameter and load are chosen so that the ratio $d = (0.25 \dots 0.5) D$ is observed, i.e. for different materials these parameters are different

2.5 Results of the experiment

Experimental work was carried out in National Research Tomsk polytechnic University in Engineering school of new production technologies in the department and materials science.



Figure 9 - Microstructure of the original aluminum alloy AD-31

Aluminum alloy samples obtained as a result of melting were subjected to sample preparation: grinding, polishing, and etching in a reagent to reveal the structure of aluminum alloys. Further, the samples were examined using an optical microscope (LaboMet-I) and a scanning electron microscope.

Used for modification of the first sample of aluminum alloy AD-31 waste silicon production "Silicium Kazakhstan", as shown by the results of energy dispersive analysis, it consisted of silicon dioxide, which, in turn, contained an insignificant amount of impurities, and, in general, was microsilica of the MK-85

grade. The modifying additive of the second sample of aluminum alloy AD-31 was the waste of cutting discs - corundum powder Al_2O_3 .

As can be seen from the photo of the microstructures of the original sample of aluminum alloy AD31 (Fig. 10) and samples of the modified aluminum alloy (Fig. 11), as a result of modifying the microstructure of both samples, they are crushed (visually) by 4-6 times.

As the analysis of the AD-31 aluminum alloy modified with microsilica and Al_2O_3 corundum powder showed :

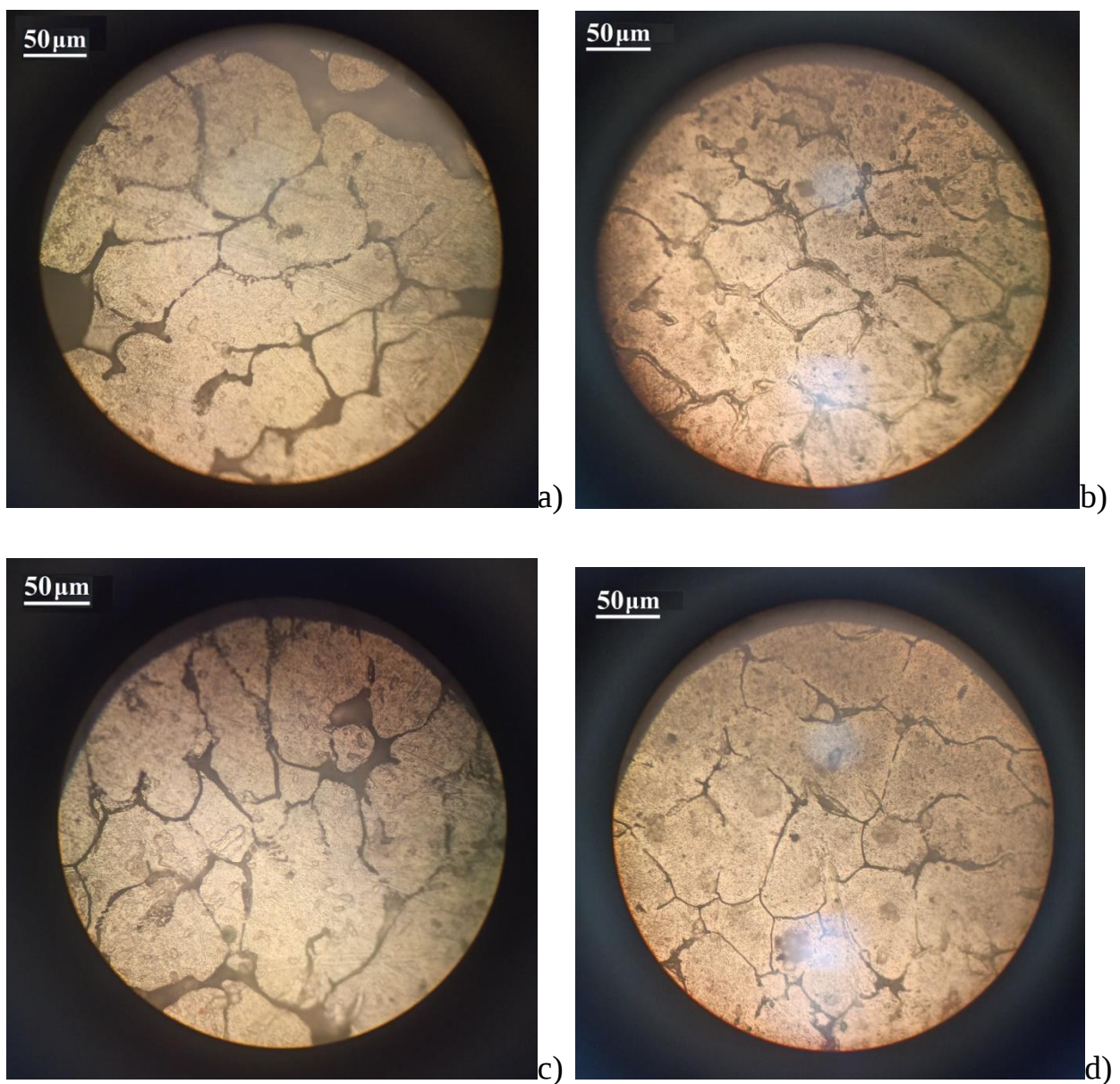


Figure 11 - Image of the microstructure of the AD31 aluminum alloy modified with 1%: a - microsilica; b - corundum Al_2O_3 ; 5%: c - microsilica; g - corundum Al_2O_3 .

As a result of modifying an aluminum alloy with microsilica, the composition of the alloy slightly changes - Fe and Si impurities appear (Table 3).

Table 3 - The composition of the aluminum alloy sample at the point (Spectr)1.

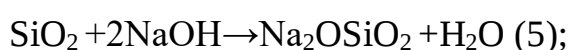
Element	Al	Si	Fe	Total
Mass. %	62.44±2.14	9.59±0.42	27.97±0.73	100.00
Atom. %	73.31±3.42	10.82±4.37	15.87±2.59	100.00

1) iron impurities in the aluminum alloy form FeAl_3 compounds (dark purple highlights in the photo of microstructures);

2) light structural components, having a characteristic appearance of broken (trapezoidal) curved lines (Figure 11, a) - in the presence of silicon and iron, triple phases α (Al-Fe-Si) and β (Al-Fe-Si) are formed;

3) silicon in a small amount forms a solid solution with aluminum (Figure 15, b), while, as literature sources show, it dissolves in solid aluminum only in a limited amount [2] ;

4) with a sufficient content of impurities, a skeletal eutectic $\text{Al} + \alpha$ (Al-Fe-Si) appears; a protective film is formed on the surface of the modified alloy, containing Al_2O_3 and SiO_2 in its composition , and is characterized by relatively good resistance in many aggressive environments, especially in oxidizing ones. As the authors of [3], only alkalis (5) and hydrofluoric acid (6) can destroy the oxide film of the indicated composition:



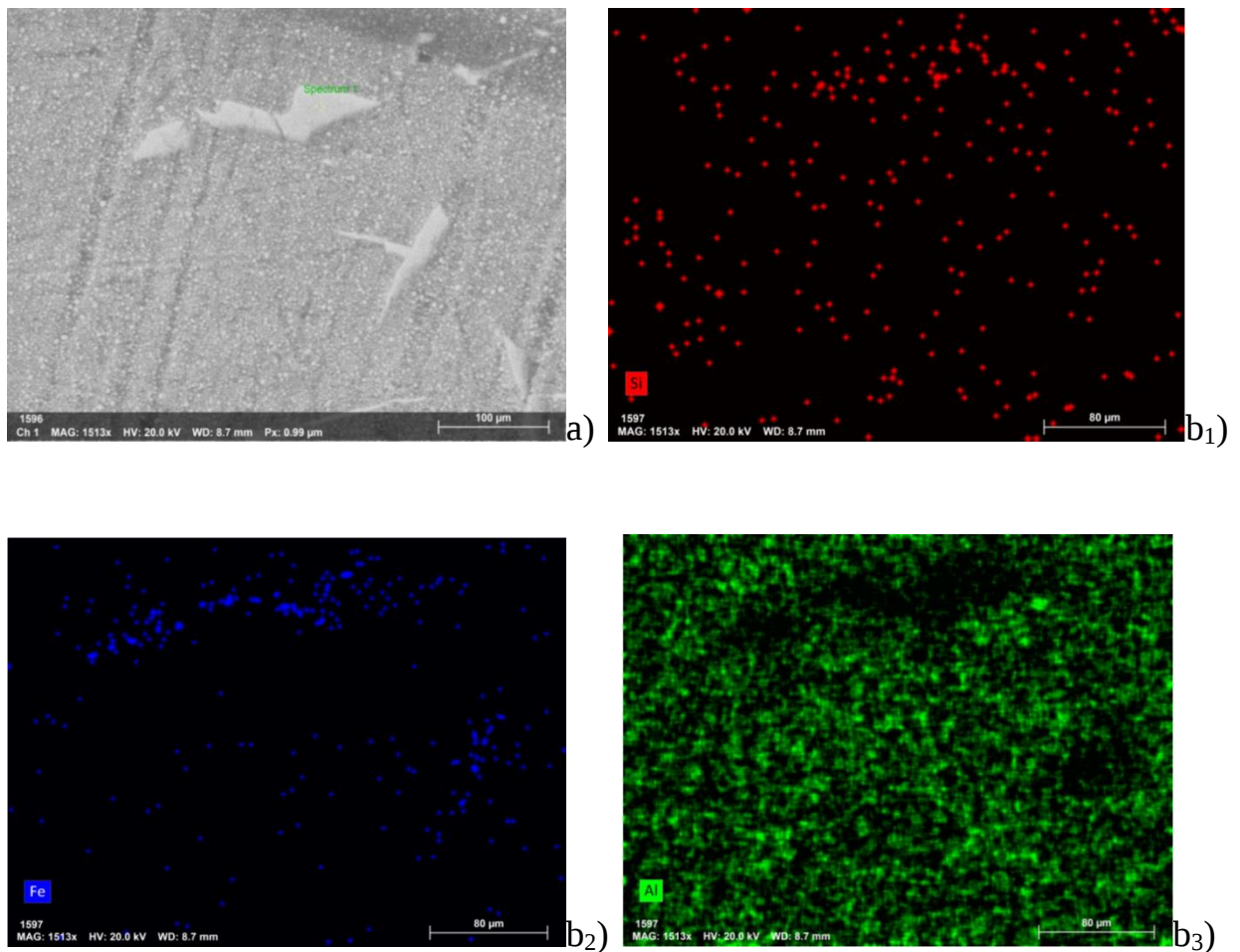


Figure 12 - A sample of aluminum alloy AD31 modified with microsilica:
a – energy dispersive analysis of the alloy and quantitative analysis, x1513;
b_{1,2,3} – distribution of elements Al, Si and Fe on the studied surface, x1513;

Aluminum alloy AD31, modified with corundum powder Al_2O_3 (Figure 11, b, d), also changed the phase composition and structure:

1) due to the introduced impurities of Al_2O_3 , a large amount of skeletal eutectic $\text{Al} + \alpha$ is formed;

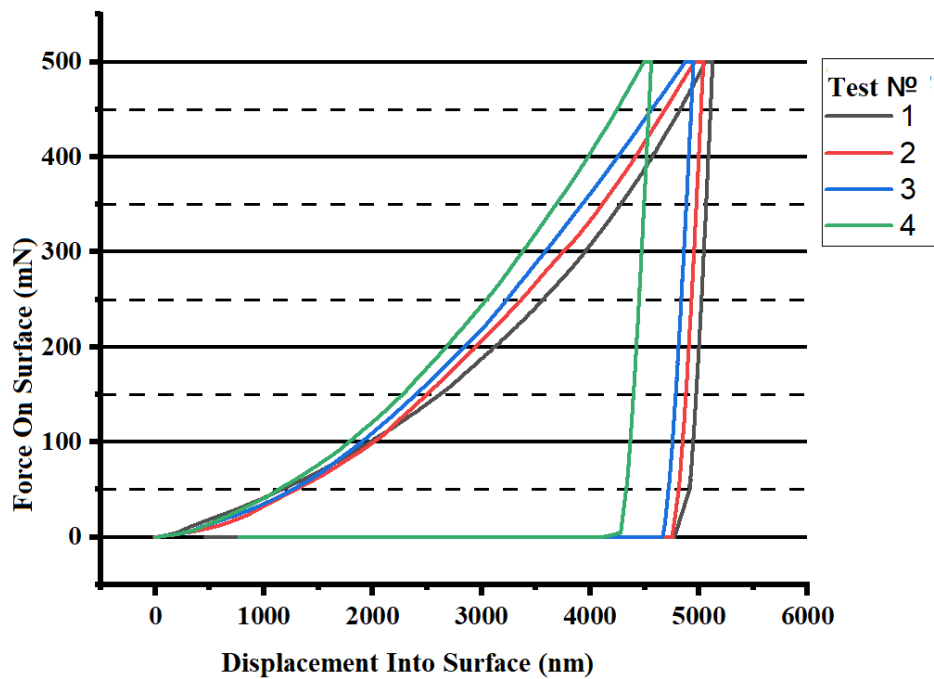
2) in a small amount (due to the presence of impurities in the composition of the original AD31 alloy), phases α and β are formed - light structural components that have a characteristic form of broken (trapezoidal) curved lines.

Thus, as a result of modifying microsilica and corundum Al_2O_3 with industrial waste, aluminum alloys change their structure and phase composition. The microstructure is refined, therefore, according to the Hall-Petch law, the mechanical

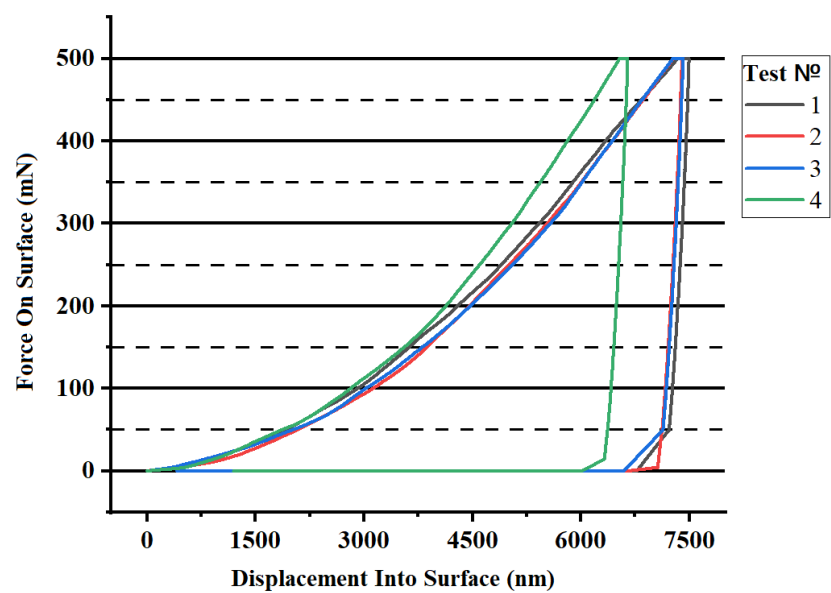
properties are improved (strength properties increase), which can be further controlled by applying various heat treatment modes .

2.5.1 Nanoindentation and Brinell hardness measurement

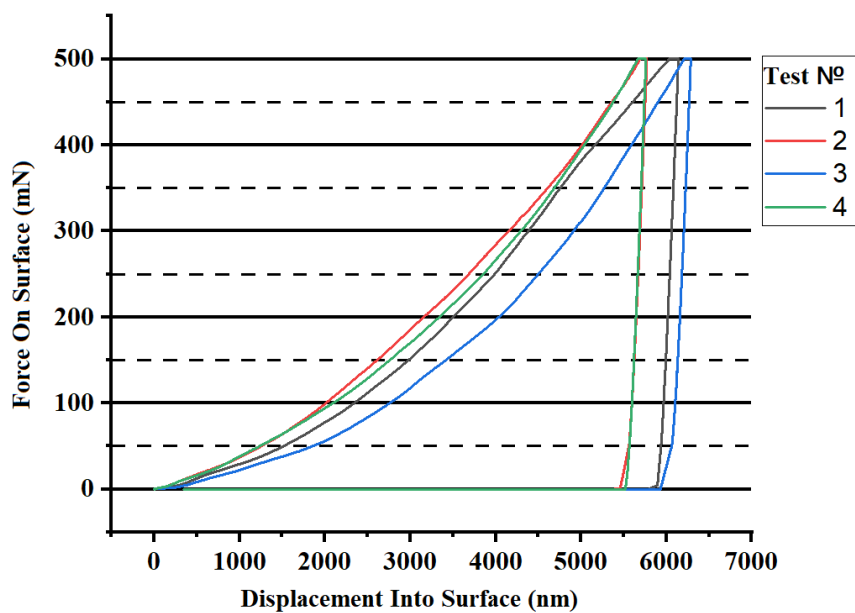
The samples prepared by grinding and polishing were placed in a nano-indentation testing machine, where the modulus of elasticity and hardness were measured during the injection of a diamond pyramid. Figure 13 shows the indentation force versus displacement curves. The results of nanoindentation show that the highest values of the modulus of elasticity and nanohardness were observed on the second sample.



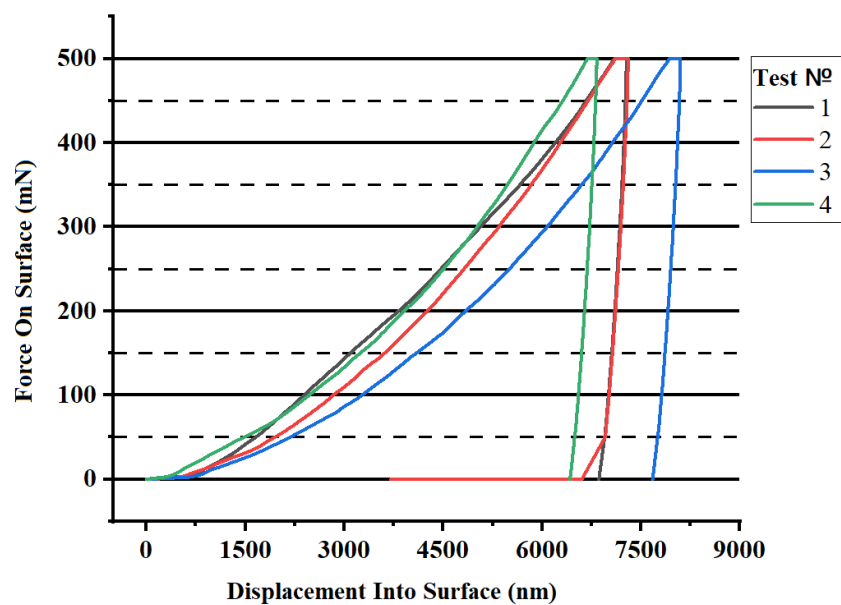
a)



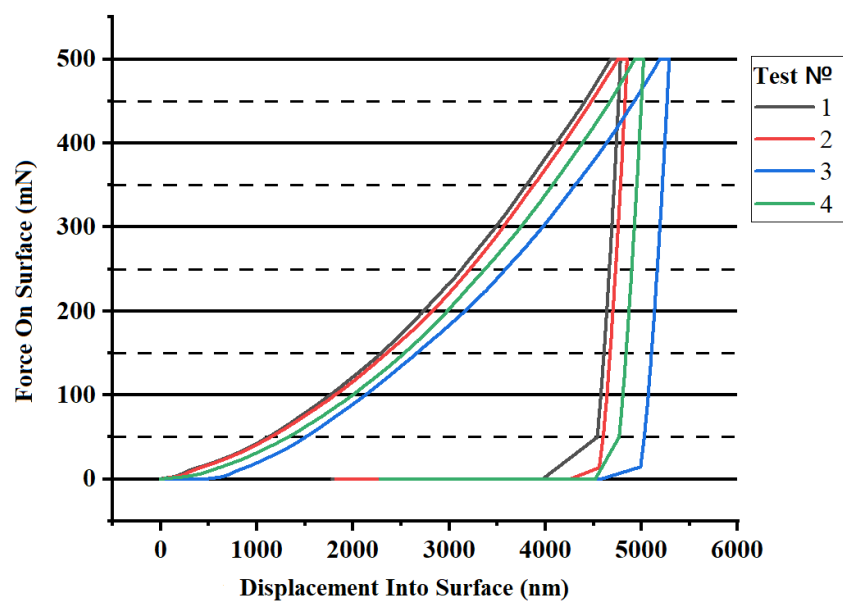
b)



c)



d)



f)

Figure 13. Diagram of indenter penetration.

- a) Initial sample AD-31;
- b) 1% - microsilica (powder);
- c) 1% - corundum (powder);
- d) 5% - microsilica (powder);
- f) 5% - corundum (powder)

The obtained data on nanohardness, elastic modulus and Brinell hardness are shown in Table 4.

Table 4. Nanoindentation data

Sample number	Compound	Modulus of elasticity, MPa	Nanohardness, MPa	Brinell hardness <i>HB</i>	Tensile strength σ_{in} , MPa
1	AD-31-1% SiO ₂ (microsilica)	61700	409	22.3	78.05
2	AD-31-5% SiO ₂ (microsilica)	81438	580	22.7	79.45
3	AD-31-1% Al ₂ O ₃ (corundum)	52172	412	28.9	101.15
4	AD-31-5% Al ₂ O ₃ (corundum)	93 269	956	61.2	214.2
5	AD-31	92719	904	51	178.5