

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физики высоких технологий
Направление подготовки Материаловедение и технология материалов
Кафедра Материаловедение в машиностроение

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние термической обработки на структуру и свойства алюминиевого сплава Д16

УДК 669.715-047.37:621.785

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Дронов Андрей Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ММС	Ваулина О.Ю	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Е.А			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б	Доктор технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедры ММС	Панин В.Е	Д-р физ.- мат.наук, акад.РАН		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов (бакалавриат)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин В. Е.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Дронов А.А.

Тема работы:

Влияние термической обработки на свойство и структуру алюминиевого сплава Д16

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ №505/с от 29.01.16

Срок сдачи студентом выполненной работы:

21.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Работа выполнялась в рамках предприятия НПФ «ТехноТрон», ООО «Сибирская машиностроительная компания». На завод поступил материал, предположительно алюминиевый сплав Д16, из которого, согласно чертежу, необходимо было изготовить деталь – обечайку. Так как проведенная стандартная термообработка не показала табличных свойств (необходимых для данного изделия), решили уточнить с заявленной маркой стали. А затем подобрать термическую обработку для получения необходимых свойств. Поэтому в работе были поставлены следующие задачи:

- 1) Исследовать материал обечайки. Определить состав и марку.
- 2) Исследовать исходный образец (химический анализ, рентгеноструктурный анализ, микроструктуру, измерить твердость (микротвердость по Виккерсу и твердость по Бринеллю)).
- 3) Подобрать режимы и провести упрочняющую

	<p>термообработку.</p> <p>4) Исследовать микроструктуру и свойства (твердость) после обработки.</p> <p>5) Сделать выводы по работе.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор литературы Методика и материал исследования Результаты исследования и их обсуждение Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность</p>
<p>Перечень графического материала (15 слайдов)</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение 2. Чертеж детали 3. Сборочный чертеж конструкции, применение 4. Методы исследования 5. Экспресс анализ Niton XL3t 6. Определение химического состава в отдельных фазах с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA Tescan 7. Металлографический анализ 8. Измерение твердости 9. Заключение
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Обзор литературы	Ваулина О.Ю.
Постановка задачи, методика и материал исследования	Ваулина О.Ю.
Результаты исследования и их обсуждение	Ваулина О.Ю.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Е. А.
Социальная ответственность	Назаренко О. Б.
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
Реферат – Abstract	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.02.2016
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ММС	Ваулина О.Ю.	К.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Дронов А.А.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа кол-во страниц с., кол-во рисунков рис., кол-во таблиц табл., кол-во источников источника.

Ключевые слова: термическая обработка, влияние термической обработки на свойства и структуру алюминиевого сплава Д16, анализ химического состава в ИФПМ СО РАН, алюминиевый сплав Д16, металлографический анализ.

Цель работы: Работа выполнялась в рамках предприятия НПФ «Технотрон», ООО «Сибирская машиностроительная компания». На завод поступил материал, предположительно алюминиевый сплав Д16, из которого, согласно чертежу, необходимо было изготовить деталь – обечайку. Так как проведенная стандартная термообработка не показала табличных свойств (необходимых для данного изделия), решили уточнить с заявленной маркой стали. А затем подобрать термическую обработку для получения необходимых свойств. Поэтому в работе были поставлены следующие задачи:

- 1) Исследовать материал обечайки. Определить состав и марку.
- 2) Исследовать исходный образец (химический анализ, рентгеноструктурный анализ, микроструктуру, измерить твердость (микротвердость по Виккерсу и твердость по Бринеллю)).
- 3) Подобрать режимы и провести упрочняющую термообработку.
- 4) Исследовать микроструктуру и свойства (твердость) после обработки.
- 5) Сделать выводы по работе.

Abstract

Key words: heat treatment, heat treatment effect on the properties and structure of aluminum alloy D16, the analysis of the chemical composition in the IPISM SB RAS, D16 aluminum alloy, metallographic analysis.

Objective: The work was performed as part of the company NPF "Tekhnotron", OOO "Siberian Engineering Company." At the plant material entered, presumably aluminum alloy D16, from which, according to the drawing, it was necessary to make part - shell. Since the heat treatment is carried out by the standard did not show table properties (required for this product), we decided to clarify the steel with the claimed mark. Then pick up the heat treatment for obtaining required properties. Therefore, in the following tasks:

- 1) Investigate the material shell. Determine the composition and brand.
- 2) To investigate the initial sample (chemical analysis, X-ray analysis, microstructure, hardness measurement (Micro Vickers and Brinell hardness)).
- 3) Choose modes and spend the strengthening heat treatment.
- 4) The microstructure and properties (hardness) after treatment.
- 5) Make the conclusions of the work.

Содержание

Литературный обзор	7
1. Особенности алюминиевого сплава Д16	12
1.1 Классификация алюминиевых сплавов	19
1.2 Влияние температуры на свойства алюминиевых сплавов	20
1.3 Классификация алюминиевых сплавов	21
1.4 Термическая обработка алюминиевых сплавов	22
1.5 Коррозионная стойкость	28
1.6 Области применения алюминиевого сплава Д16	30
1.6.1 Кровельные настилы	30
1.6.2 Оконные и фонарные переплеты	31
1.6.3 Стеновые панели	31
1.6.4 Применение алюминиевых сплавов для строительства объектов химической и нефтяной промышленности	32
1.6.5 Автоматизированные безотяжечные Антенно-мачтовые устройства МИК-АМУ	33
2. Материалы и методы исследования	35
2.1 Материал исследования	35
2.2. Методики исследования	36
2.2.1 Подготовка образцов к металлографическому исследованию	36
2.2.2 Металлографические исследования	37
2.2.3 Измерение твердости (микротвердость, по Бринеллю)	38
2.2.4 Растровый электронный микроскоп	40
2.2.5 Экспресс анализатор металла Niton XL3t GOLDD	42
2.2.6 Фазовый анализ	42
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	44
4.1 Инициализация исследования и его технико-экономическое обоснование	45
4.1.1 Потенциальные потребители результатов НТИ	45
4.1.2 SWOT анализ	46
4.2 Планирование комплекса работ на научно-техническое исследование	49
4.2.1 Составление перечня работ	49

4.2.2	Определение трудоемкости работ.....	51
4.2.3	Расчет бюджета затрат на НИР	57
4.3	Определение эффективности НТИ.....	62
4.3.1	Оценка ресурсоэффективности	62
	Список публикаций	66

Введение

В настоящее время, промышленные производства по изготовлению различной продукции нуждаются в качественных цветных сплавах, которые соответствовали всем параметрам ГОСТ. Не у каждой компании имеется возможность обрести высококвалифицированный персонал и хорошо оборудованную лабораторию для входного контроля металла. Исследование металла на его соответствие перед дальнейшей механической и термической обработкой является важным аспектом, после изучения, которого можно сделать важные выводы:

- 1) Можно ли пропускать металл и соответствует заявленной маркой металла по чертежу;
- 2) Подобрать термообработку зная количество процента легирующего элемента;
- 3) Возможность провести иную упрочняющую операцию.

При этом сократив экономические затраты, временные затраты и не заставит тормозить конвейер производства. Основной акцент на исследования это определить химический анализ алюминиевого сплава Д16 и убедиться в этом сравнив с теоретическими данным, и с этим же сплавом провести термическую обработку.

Работа была согласована с машиностроительной компанией ООО “Сибирская машиностроительная компания”. Взят на исследование образец алюминиевого сплава Д16 из которого изготавливают деталь типа обечайка, которая используется в качестве высоко приоритетного военного оборудования. Автоматизированные безотяжечные Антенно-мачтовые устройства МИК-АМУ.

В рамках промышленного предприятия проведено исследование на аналогичность алюминиевого сплава.

Цели исследования алюминиевого сплава Д16:

- 1) Исследовать материал обечайки. Определить состав и марку.

- 2) Исследовать исходный образец (химический анализ, рентгеноструктурный анализ, микроструктуру, измерить твердость (микротвердость по Виккерсу и твердость по Бринеллю)).
- 3) Подобрать режимы и провести упрочняющую термообработку.
- 4) Исследовать микроструктуру и свойства (твердость) после обработки.
- 5) Сделать выводы по работе.

Литературный обзор

Первоначально фирменное наименование дюралль (Dural) в русском языке было обширным значением для целых групп сплавов на основе алюминия, легированных добавками меди, магния и марганца. Бывает встречается так же старинная (основная до 1940-х гг.) форма дуралюминий и англоязычные варианты дюралюмин. Имя названо в честь немецкого города Дурен, нем. Duren, в 1909 году было начато его промышленный выпуск, хотя в этом названии несомненная и аллюзия к лат.Durus - «твёрдый», «жесткий», как главная характеристика свойства сплава.

Дюралль создан немецким инженером металлургом Альфредом Вильмом (Alfred Wilm), рабочим металлургического завода Dürener Metallwerke AG. Вильм установил в 1903 году, сплав алюминия с примесью 4 % меди после быстрого охлаждения (температура закаленного сплава +500 С), находясь при комнатной температуре в течение 3-4 суток, понемногу делается более твёрдым и прочным, не теряя при этом пластичности. Дальнейшие опыты со сплавами этой системы привели к освоению в 1909 году заводом Dürener Metallwerke сплава дюралюминия. Открытое Вильмом строение алюминиевых сплавов разрешило увеличить прочность дюралюминия до 350-370 МПа по уподоблению с 70-80 МПа у чистого алюминия. Испущенные в Евро Союзе (Великобритания и Швейцария) алюминиевые сплавы марок Hiduminium и Avional возникают недалекими по составу к дюралюминию сплавами прочих производителей.

В России дюралюминами именуют деформируемые сплавы системы Al-Cu-Mg, в которые дополнительно включают марганец. Свойственным дюралюмином выражается сплав Д1, всё же в следствии довольно малых механических свойств потребление его заметно сократилось; сплав Д1 для листов и профилей замещается сплавом Д16. В США и Евросоюзе дюралюмины отрекомендованы, в главную очередь, сплавами 2024, 2017 и 2117. По интернациональной универсальной классификации группе деформируемых

алюминиевых сплавов Al – Cu - Mg присваиваются обозначения от 2000 до 2999.

Дюралюминий - главный конструкционный материал в авиации и космонавтике, а также в других областях машиностроения с высокими требованиями к весовой отдаче. Основное применение дюралюминия - изготовление каркаса дирижаблей жёсткой конструкции, начиная с 1911 года, обладает широкое использование.

Состав сплава и термическое упрочнение в годы 1- мировой войны были секретны. Благодаря большой удельной прочности дюралюминий, начиная с 1920-х годов, становится основным конструкционным материалом в самолётостроении. Плотность сплава 2500 -2800 кг/м³, температура плавления около 650 °С. Сплав свободно используется в авиастроении, при производстве в экспресс поездах (например, поездов Синкансэн) и во многих других областях машиностроения (так как отличается существенно большей твёрдостью, чем чистый алюминий). После отжига (нагрева до температуры около +500°С и охлаждения) становится пластичным (как алюминий). После старения (естественного: при +20°С + 30° - несколько суток, искусственного: при повышенной температуре несколько часов) становится твёрдым и крепким.

В настоящее время сплавы алюминий медь магний с добавками марганца известны под общим названием дуралюмины. В их число входят советские сплавы вытекающих марок: Д1, Д16, Д18, В65, Д19, В17, ВАД1. Дуралюмины упрочняются термообработкой; подвергаются, как правило, закалке и естественному или искусственному старению. Характеризуются сочетанием высокой статической прочности (до 450 - 500 МПа) при комнатной и повышенной (до +150...+175 С) температурах, высоких усталостной прочности и вязкости разрушения.

Дефицит дуралюминов - низкая коррозионная стойкость, изделия требуют тщательной защиты от коррозии. Листы дуралюминов, как правило, плакируют чистым техническим алюминием. Все употребляемые в конструкции самолёта детали из алюминиевых сплавов плакируются

специально разработанными для авиации грунтовокми (обычно жёлтого или зелёного цветов) и, при необходимости, окрашиваются [1].

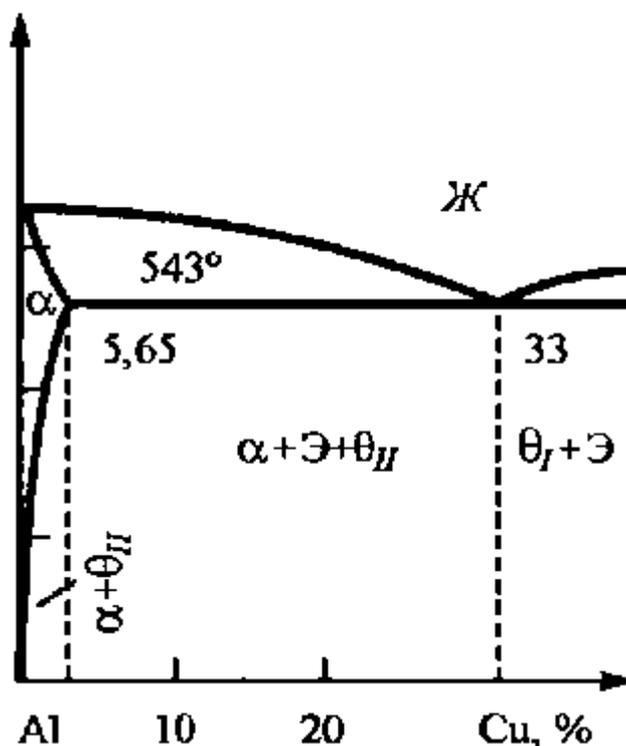


Рисунок 1- Диаграмма состояния “Al - Cu”

К сплавам, упрочняемым термической обработки, касаются важнейшим типом сплавы нормальной прочности и высокопрочные. Свойственными представителями являются дуралюмины (маркируют буквой Д). Они характеризуются хорошим соединением прочности и пластичности, относятся к сплавам Al-Cu-Mg. Согласно диаграмме состояния Al-Cu (диаграмма 1) медь с алюминием создадут твердый раствор, наибольшая концентрация меди в котором 5,65% при эвтектической температуре. С понижением температуры растворимость меди снижается, достигая 0,1 % при 20 °С. Из твердого раствора при этом выделяется θ -фаза (CuAl_2), содержащая – 54,1 % Cu. Она имеет объемно–центрированную тетрагональную кристаллическую решетку и обладает довольно высокой твердостью (530 HV). В сплавах, дополнительно легированных магнием, помимо θ -фазы образуется еще S -фаза (CuMgAl_2) с ромбической кристаллической решеткой (564 HV). На диаграмме 2 показано

влияние соотношения θ - и S-фаз на прочность. Чем больше меди содержится в сплаве, тем больше количество θ -фазы будет в его структуре (Д1).

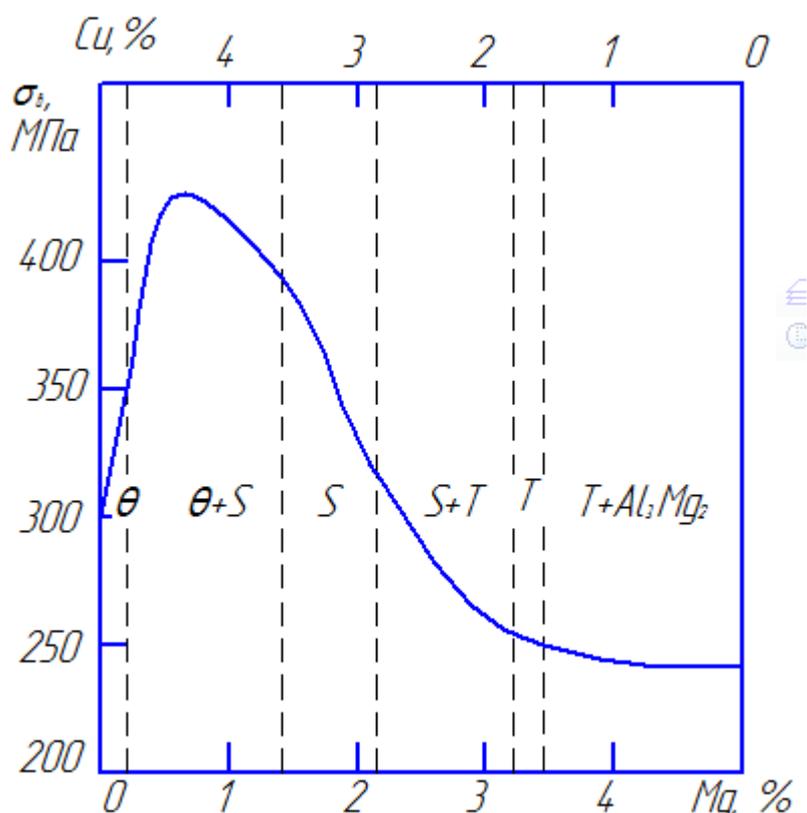


Рисунок 2 - Зависимость прочности дуралюминов от соотношения меди и магния при их постоянном суммарном содержании 5 %

Увеличение содержания магния приводит к росту количества S-фазы и росту прочности сплавов (Д16). Различие в свойствах особенно немала после упрочняющей термической обработки (таблица 1), состоящей из закалки и естественного старения. При закалке сплавы Д16 и Д18 нагревают до 490-500°С, а Д1 – 500-510°С, затем охлаждают в воде при 40 °С.

После закалки структура состоит из пересыщенного твердого раствора и нерастворимых фаз, образуемых примесями. При естественном старении происходит образование зон Генье-Престона, богатых медью и магнием. Старение продолжается 3-4 суток. Продолжительность старения существенно укорачивается при увеличении температуры до 40 °С и особенно 100 °С. Более возвышенные значения σ_b и $\sigma_{0,2}$ прессованных прутков объясняются пресс-эффектом.

Таблица 1- Химический состав (ГОСТ 4784-74) и механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Al), %				σ_B	$\sigma_{0,2}$	σ_{-1}	НВ
	Cu	Mg	Mn	Прочее				
Алц	-	-	1-1,6	-	130	50	55	30
Алг2	-	1,8-2,6	0,2-0,6	-	190	100	125	45
Алг6	-	5,8-6,8	0,5-0,8	0,02-0,1Ti	340	170	-	70
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,8	-	400	240	105	95
Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	-	440	330	115	105
Д18	2,2-3	0,2-0,5	-	-	300	170	95	70
В95	1,4-2	1,8-2,8	0,2-0,6	0,01-0,25Cr	540	470	150	150
АК6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2 Si	400	299	299	100
АК8	3,9-4,8	0,4-0,8	0,4-1	0,6-1,2 Si	480	380	380	135

Для упрочнения дуралюминов, как правило, используют закалку с естественным старением, так как в этом случае сплавы имеют лучшую пластичность и менее восприимчивы к концентраторам напряжений.

Искусственному старению (190 °С, 10 ч) подвергают лишь детали, применяемые для работы при увеличенных температурах (до 200 °С). Высокое практический смысл имеет первый, или “инкубационный”, время старения (20-60 мин), когда сплав сохраняет значительную пластичность и небольшую твердость. Это разрешает проводить такие технологические операции, как

клепка, правка и др. Для проведения похожих операций естественно состаренные сплавы и детали из них можно подвергнуть обработке “на возврат”, которая заключается в кратковременной выдержке сплава (1-2 мин) при 230-300 °С. Во время нагрева рассасываются зоны Гинье-Престона и восстанавливается пластичность, присущая сплавам непосредственно после закалки. Однако употребление обработки “на возврат” ограничено тем, что у тонкостенных изделий уменьшается коррозионная стойкость, а у толстостенных за короткое время выдержки не успевает восстанавливаться пластичность по всему сечению. Повышение выдержки приводит к искусственному старению сплава на поверхности изделия, что вызывает понижение пластичности.

Дуралюмины обширно используют в авиации. Из сплава Д1, например, изготавливают лопасти воздушных винтов; из Д16 – шпангоуты, нервюры, тяги управления и др. Кроме того, их используют для строительных конструкций, кузовов грузовых автомобилей, обсадных труб и др. [2].

1. Особенности алюминиевого сплава Д16

Среди деформируемых легких сплавов наибольшее распространение в приборостроении и машиностроении нашли стареющие алюминиевые и магниевые сплавы как обладающие наиболее благоприятным комплексом физико-механических свойств. Изучению связи между структурным состоянием и прочностными свойствами стареющих алюминиевых сплавов посвящено большое количество работ. Исследован механизм распада пересыщенных твердых растворов и последовательность выделений зон Гинье-Престона, метастабильных и стабильных фаз, предложены теории предела текучести и деформационного упрочнения дисперсионно-твердеющих сплавов. Однако вопросы связи между изменением структуры и показателями сопротивления микропластическим деформациям алюминиевых и магниевых сплавов мало изучены и совершенно недостаточно освещены в литературе. Ниже приведены экспериментальные данные по этому вопросу применительно

к сплавам, наиболее часто используемым в приборостроении и машиностроении.

Воздействие фазовых и структурных превращений на объемные изменения в сплавах исследованы без применения нагрузки на так называемых «пальчиковых» образцах. Обнаружено, что в результате закалки длина образцов из сплавов Д16 и Д1 (Al-Cu-Mg) сильно понижается. Снижение размеров после закалки можно объяснить растворением фаз, содержащих медь, которая уменьшает параметр решетки алюминия. После естественного старения наблюдается незначительное уменьшение длины закаленных образцов. При искусственном старении при 130-200° С размеры в первоначальный период уменьшаются, а затем начинают расти. Последнее объясняется распадом твердого раствора с выделением и коагуляцией упрочняющих фаз (CuAl₂ и S), что согласуется с данными Д. А. Петрова и других исследователей об увеличении параметра решетки сплавов системы Al-Cu в процессе старения при 200° С и выше. С ростом температуры старения выше 200° С сразу наблюдается резкое увеличение длины образцов. 24-часовое старение при 190° С не приводит к стабилизации размеров в процессе нагрева, в то время как при 225° С для этого достаточно 6 часов (рисунок 3).

В процессе долгих выдержек при 100° С не обнаружено изменений размеров образцов из сплавов системы Al-Cu-Mg Д16, Д1 и ВАД-1 в отожженном состоянии и после обработки по режиму Т1 (закалка и искусственное старение при 190° С в течение 12 ч), в то время как после естественного старения уменьшение размеров закаленных образцов весьма значительно (на 3-4 мкм на 10 мм за 300 ч).

Размеры образцов из сплава В95 (Al-Mg-Zn-Cu) после закалки резко увеличиваются (на 90 мкм) вследствие растворения упрочняющих фаз. При искусственном старении происходит понижение размеров, максимальное после нагрева при 200° С. Наибольший интерес представляет эффективность старения при температуре 140° С, принятой для этого сплава из соображений

обеспечения максимальных прочностных свойств. Как следует, на протяжении 48-часового старения наблюдается непрерывное уменьшение размеров сплава

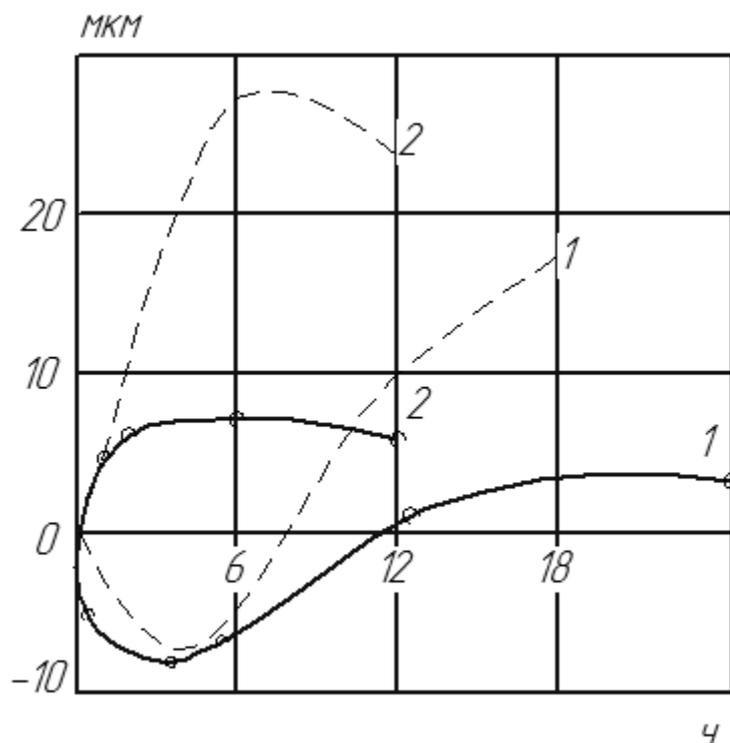


Рисунок 3 - Изменение размеров закаленных образцов из сплавов Д16 (сплошные линии) и Д1 (пунктир) в зависимости от продолжительности старения при 190 °С (1) и 225 °С (2)

В процессе последующих контрольных испытаний при 100° С также замечается существенное уменьшение размеров. В процессе старения при 140° С стабилизации электросопротивления сплава В95 не достигается даже после 200-часовой выдержки. Таким образом, высокопрочный алюминиевый сплав В95 характеризуется нестабильным фазовым и структурным состоянием.

Представлена зависимость сопротивления микропластическим деформациям и механических свойств закаленных алюминиевых сплавов от температуры старения (рисунок 3). Видно, что корреляция между релаксационной стойкостью и прочностными свойствами отсутствует. Наибольшая релаксационная стойкость наблюдается после старения при 200° С, в то время как пределы прочности и текучести имеют максимальное значение для сплавов А1-Си после естественного старения, для сплава В95 после старения при 140° С. Предел упругости сплавов А1-Си, активно

стареющих при комнатной температуре, также не коррелирует с прочностными свойствами. Как показано ранее, наиболее активно нестабильность структуры сплавов проявляется на втором участке релаксационной кривой.

После закалки и старения сопротивление микропластическим деформациям и, следовательно, размерная стабильность дюралюминия намного выше, чем в отожженном состоянии. Релаксационная стойкость сплава АМгб ниже, чем у неупрочненного дюралюминия. Для рассмотрения связи между изменением сопротивления микропластическим деформациям и структурой сплавов были проведены электронно-микроскопические исследования сплава А1-4% Сu после различных режимов термообработки, а также после микродеформации при кратковременном и длительном нагружении.

Закаленный с температуры гомогенизации стареющий сплав имеет неоднородное строение с областями, обогащенными легирующим компонентом, и значительное количество геликоидальных и призматических дислокаций. Сплав пересыщен вакансиями особенно по границам зерен, которые являются ловушками для вакансий. Конечные резко ускоряют диффузию атомов при образовании выделений. После естественного старения в сплаве А1-4%Сu появляются когерентные выделения зон ГП. По мере роста температуры и времени старения увеличивается количество и размер зон ГП, затем появляется промежуточная S- фаза и, наконец, при достаточно высокой температуре - стабильная θ - фаза (CuAl_2). На границах зерен благодаря большой пересыщенности вакансиями после закалки и ускорению диффузионных процессов стабильная S-фаза образуется при относительно невысоких температурах. θ -фаза возникает преимущественно на дислокациях. Образование выделения θ -фазы на дислокациях показано электронно-микроскопическим исследованием сплава А1+4%Сu. После старения при 150 и 200° С наблюдаются выделения S-фазы на геликоидальных дислокациях. Приграничная зона после естественного и искусственного старения обычно свободна от выделений, что объясняется обеднением этой зоны вакансиями при закалке. Даже после старения при 150° С в течение 2000 ч не видно выделений

вблизи границ. После микропластической деформации закаленного сплава при кратковременном нагружении и последующего старения при 150° С наблюдается значительное количество выделений S-фазы в приграничной зоне. Внутри зерна выделений θ -фазы существенно меньше. После релаксации напряжений наблюдается значительное увеличение выделений θ -фазы в приграничной зоне.

Внутри зерна количество выделений также поднимается, но в гораздо меньшей степени. Очевидно, что неупрочненная приграничная зона, свободная от выделений, облегчает прохождение микропластической деформации и является одной из причин наблюдаемых малых значений предела упругости и релаксационной стойкости естественно состаренного сплава, так как начальные стадии пластической деформации, как показано выше, развиваются преимущественно в приграничной зоне. Как отмечалось выше, сопротивление микропластическим деформациям в условиях релаксации напряжений в сильной степени зависит от интенсивности диффузионных процессов в сплаве, которые, в свою очередь, активизируются под воздействием напряжений. Особенно велика скорость диффузии под напряжением при повышенных температурах несостаренного сплава или после начальных стадий старения, когда последний обладает большим запасом химической свободной энергии, являющейся движущейся силой распада, а также большим количеством неравновесных вакансий, ускоряющих диффузию.

Таким образом, наблюдаемое низкое сопротивление микродеформации естественно состаренных алюминиевых сплавов при кратковременном нагружении ($\sigma_{0,001}$ и $\sigma_{0,005}$) обусловлено главным образом наличием неупрочненной приграничной зоны, свободной от выделений. Низкая релаксационная стойкость, особенно при 100° С, также связана с наличием этой приграничной зоны, но, по-видимому, определяется прежде всего скоростью диффузионных процессов в связи с большой пересыщенностью твердого раствора после естественного старения.

Предел прочности и твердость, отражающие сопротивление сплава макропластическим деформациям при кратковременном нагружении, после начальных стадий старения (естественного или низкотемпературного искусственного) имеют наивысшие значения. Эти характеристики определяются главным образом количеством и размером полностью или частично когерентных выделений.

При комнатной температуре наибольшую прочность и твердость имеют сплавы, в структуре которых преобладают зоны ГП (они составляют около 70%, а частицы метастабильной фазы 30%) и размеры выделений находятся в пределах 50-1000 А. Присутствие приграничных зон, свободных от выделений, и высокая скорость диффузии в сплаве после первых стадий старения не имеют определяющего воздействия на характеристики сопротивления макродеформации при кратковременном нагружении. После последующих стадий старения сплава снижается неоднородность выделений по объему, появляются выделения и в приграничной зоне, уменьшается скорость диффузионных процессов в сплаве, уменьшается запас химической свободной энергии и количество неравновесных вакансий. В связи с этим сопротивление микропластическим деформациям при кратковременном нагружении и длительных испытаниях в условиях релаксации напряжений, особенно при повышенной температуре, значительно увеличивается. Одновременно, поскольку при этом несколько уменьшается дисперсность выделений, наблюдается некоторое уменьшение сопротивления макропластической деформации (прочности и твердости) в сравнении с характеристиками сплава после начальных стадий старения. Сплав Al+4%Cu имеет наиболее высокие характеристики сопротивления микропластическим деформациям после старения при 200° С, когда в структуре появляется значительное количество Q-фазы.

В процессе старения при 230-250° С происходит значительное укрупнение выделений и образование некогерентных частиц, что обуславливает понижение характеристик сопротивления макро- и

микродеформации. При пластической деформации перестаренного сплава дислокации проходят между некогерентными частицами. При этом напряжение течения, как следует из зависимости Орована, убывает с увеличением расстояния между частицами выделений. Очевидно, что для получения высокой релаксационной стойкости сплав должен отличаться наряду с высоким напряжением течения достаточно стабильной структурой. Для обеспечения оптимальных прочностных свойств при кратковременном нагружении стабильность структурного состояния менее существенна.

Стабильность структуры стареющего сплава в условиях эксплуатации определяется степенью пересыщенности твердого раствора (запасом его химической свободной энергии), диффузионной подвижностью атомов легирующих элементов, а также степенью соответствия структур фазы выделения и твердого раствора. Сплавы с большой разницей в растворимости легирующего элемента при повышенной и комнатной температурах структурно нестабильны уже при комнатной температуре. При близости структур фазы выделения и твердого раствора не возникает резких перенапряжений в кристалле и медленно идет рост областей новой фазы.

Следственно, чем меньше различаются кристаллические решетки основного твердого раствора и фазы выделения, тем меньше перенапряжение на границе фаз и более стабильна структура. Сплавы системы Al-Cu-Mg Д16Т1 и свариваемый ВАД1Т1 характеризуются наиболее высокой релаксационной стойкостью при 20 и 100° С в сравнении с другими исследуемыми сплавами в связи с тем, что их структура после оптимального искусственного старения более полно отвечает указанным требованиям по стабильности. Основной упрочняющей фазой сплава Д16 является S-фаза сложного строения (Al₂CuMg). При образовании S-фазы происходит весьма малое изменение объема, а следовательно, не образуются большие перенапряжения на границе фаз, обуславливающие нестабильность структуры. Кроме того, как видно из диаграммы (рисунок 4), в сплавах системы Al-Cu-Mg, в которых образуются

фазы S и CuAl_2 , растворимость компонентов практически не изменяется в интервале температур 20-200° С.

Сплав Д16 после старения при 200° С имеет сравнительно малую степень пересыщения твердого раствора. Таким образом, относительно малая степень пересыщения твердого раствора, низкая диффузионная подвижность атомов меди в алюминии, а также отсутствие резких перенапряжений в кристалле при образовании выделений обеспечивают достаточную стабильность структуры и высокое сопротивление микропластическим деформациям сплавов Д16Т1 и ВАД1Т1 в условиях эксплуатации.

1.1 Классификация алюминиевых сплавов

Наибольшее распространение получили сплавы Al-Cu-, Al-Cu-Si, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Si, Al-Mg-Si, а также Al-Zn-Mg-Cu. В равновесном состоянии эти сплавы представляют собой низколигированный твердый раствор и интерметаллидные фазы CuAl_2 (θ -фаза), Mg_2Si , Al_2CuMg (S-фаза), Al_6CuMg_4 (Т-фаза), Al_3Mg_2 , $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ (Т-фаза) и др.

Все сплавы алюминия можно разделить на 3 группы:

1) деформируемые, предназначенные для получения полуфабрикатов (листов, плит, прутков, профилей труб, и т.д.), а также поковок и штамповок путем прокатки, прессования,ковки и штамповки. Деформируемые сплавы по способности упрочняться термической обработкой, делят на: сплавы, неупрочняемые термической обработкой, и сплавы, упрочняемые термической обработкой;

2) литейные сплавы - эти сплавы широко применяются для фасонного литья. К ним предъявляют следующие требования: 1) хорошая жидкотекучесть эвтектической структурой или преобладанием эвтектики; 2) высокая прочность, создаваемая модифицированием и термической обработкой (старением); 3) хорошая обрабатываемость режущим инструментом. Основными элементами, входящими в состав алюминиевых литейных сплавов, являются кремний, медь, магний и цинк, присутствие которых в значительных количествах обеспечивает

возможность упрочнения после старения. Исключение составляют двойные Al – Si – сплавы в меньших количествах и оказывают меньшее влияние на их прочность. Железо является вредной примесью для большинства сплавов за исключением жаропрочных. Присадки титана, натрия и церия, несмотря на их незначительное количество, могут сильно изменить структуру и свойства алюминиевых сплавов в желательном для нас направлении. Литейные сплавы алюминия в основном содержат от 4,5 до 13 % Si и представляют собой сплавы до эвтектического и за эвтектического типа с невысокой температурой плавления и хорошей жидкотекучестью. Они хорошо заполняют форму и дают малую усадку. Эти сплавы допускают при затверждении значительное переохлаждение и улучшают свою структуру и механические свойства при модифицировании. Обычный эвтектический сплав Al – Si содержит 11,6 % Si; при быстром охлаждении можно и при содержании 13 – 14 % Si получить сплав в котором структура будет состоять из одной эвтектики без первичного кремния. Такой же эффект получается при модифицировании – добавке 0,05 – 0,10 % Na или незначительного количества смеси из $\frac{2}{3}$ NaF и $\frac{1}{2}$ NaCl. Эвтектическая температура при этом снижается с 577 до 564 С. Марки литейных сплавов: Ал2, Ал4, Ал5, Ал9, Ал11.

3) сплавы, получаемые методом порошковой металлургии (САП – спеченные алюминиевые порошки, САС – спеченные алюминиевые сплавы).

1.2 Влияние температуры на свойства алюминиевых сплавов

Коэффициент линейного расширения алюминиевых сплавов почти в два раза больше коэффициента линейного расширения стали ($23,8 \cdot 10^{-6}$ против $11,2 \cdot 10^{-6}$). Температурные напряжения, возникающие в алюминиевых конструкциях при жестком закреплении концов элемента, в полтора раза меньше напряжений в стальных конструкциях вследствие низкого значения модуля упругости сплавов. При температуре около 100° начинается увеличение ползучести алюминиевых сплавов. Поэтому техническими условиями на проектирование алюминиевых конструкций предлагается вводить понижающие

коэффициенты к расчетным сопротивлениям, если конструкции эксплуатируются при температурах 80-120°C.

Отжиг закаленных сплавов происходит при 350-400°C, раньше, чем для стали наступает температурная пластичность. Несмотря на низкую температуру плавления сплавов (650-750°), требуется затратить большое количество тепловой энергии, чтобы расплавить алюминий, так как этот металл имеет высокую скрытую теплоту плавления. Благодаря этим свойствам алюминиевые конструкции мало подвержены разрушению пламенем, что подтверждается обследованием сооружений после пожара. Достоинством рассматриваемых сплавов является то, что при пониженных температурах они не только не ухудшают своих механических показателей, а даже становятся более прочными вследствие усиления процесса старения. Поэтому для строительства в северных широтах и для полярных экспедиций предпочтительнее изготавливать конструкции из алюминиевых сплавов, чем из стали [3].

1.3 Классификация алюминиевых сплавов

Наибольшее распространение получили сплавы Al-Cu-, Al-Cu-Si, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Si, Al-Mg-Si, а также Al-Zn-Mg-Cu. В равновесном состоянии эти сплавы представляют собой низколегированный твердый раствор и интерметаллидные фазы CuAl_2 (θ -фаза), Mg_2Si , Al_2CuMg (S-фаза), Al_6CuMg_4 (T-фаза), Al_3Mg_2 , $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ (T-фаза) и др.

Все сплавы алюминия можно разделить на 3 группы:

1) деформируемые, предназначенные для получения полуфабрикатов (листов, плит, прутков, профилей труб, и т.д.), а также поковок и штамповок путем прокатки, прессования,ковки и штамповки. Деформируемые сплавы по способности упрочняться термической обработкой, делят на: сплавы, неупрочняемые термической обработкой, и сплавы, упрочняемые термической обработкой;

2) литейные сплавы - эти сплавы широко применяются для фасонного литья. К ним предъявляют следующие требования: 1) хорошая жидкотекучесть

эвтектической структурой или преобладанием эвтектики; 2) высокая прочность, создаваемая модифицированием и термической обработкой (старением); 3) хорошая обрабатываемость режущим инструментом. Основными элементами, входящими в состав алюминиевых литейных сплавов, являются кремний, медь, магний и цинк, присутствие которых в значительных количествах обеспечивает возможность упрочнения после старения. Исключения составляют двойные Al – Si – сплавы в меньших количествах и оказывают меньшее влияние на их прочность. Железо является вредной примесью для большинства сплавов за исключением жаропрочных. Присадки титана, натрия и церия, несмотря на их незначительное количество, могут сильно изменить структуру и свойства алюминиевых сплавов в желательном для нас направлении. Литейные сплавы алюминия в основном содержат от 4,5 до 13 % Si и представляют собой сплавы до эвтектического и за эвтектического типа с невысокой температурой плавления и хорошей жидкотекучестью. Они хорошо заполняют форму и дают малую усадку. Эти сплавы допускают при затверждении значительное переохлаждение и улучшают свою структуру и механические свойства при модифицировании. Обычный эвтектический сплав Al – Si содержит 11,6 % Si; при быстром охлаждении можно и при содержании 13 – 14 % Si получить сплав в котором структура будет состоять из одной эвтектики без первичного кремния. Такой же эффект получается при модифицировании – добавке 0,05 – 0,10 % Na или незначительного количества смеси из $\frac{2}{3}$ NaF и $\frac{1}{2}$ NaCl. Эвтектическая температура при этом снижается с 577 до 564 С. Марки литейных сплавов: Ал2, Ал4, Ал5, Ал9, Ал11.

3) сплавы, получаемые методом порошковой металлургии (САП – спеченные алюминиевые порошки, САС – спеченные алюминиевые сплавы).

1.4 Термическая обработка алюминиевых сплавов

Изделия из алюминиевых литейных сплавов в большинстве случаев подвергаются тепловой (термической) обработке. Характер и режим обработки зависят от марки сплава, способа изготовления изделия и его назначения.

Закалка. Цель закалки — приобрести в сплаве максимально неравновесное фазовое состояние (пересыщенный твердый раствор с наибольшим содержанием легирующих элементов). Этакое состояние снабжает, с одной стороны, непосредственное повышение (по сравнению с равновесным состоянием) твердости и прочности, а с другой стороны, возможность дальнейшего упрочнения при последующем старении.

Закалку употребят для сплавов, претерпевающих фазовые превращения в твердом состоянии. В алюминиевых сплавах, используемых в промышленности, наблюдается лишь один вид фазовых превращений: при нагреве интерметаллидные фазы растворяются в алюминии, а при охлаждении вновь выделяются из твердого раствора. Этаким образом, закалка потенциальна лишь для алюминиевых сплавов, содержащих компоненты, растворимость которых в твердом алюминии возрастает с температурой (Cu, Mg, Mn, Si, Zn, Li), причем в количествах, превышающих растворимость при комнатной температуре.

Содержание легирующих компонентов в алюминиевом твердом растворе после закалки значительно превосходит их предельную равновесную концентрацию при комнатной температуре, т.е. при комнатной температуре твердый раствор пересыщен (и, как правило, в очень сильной степени). Так, если сплав Al+4%Cu нагреть до температуры t_3 , выдержать некоторое время, необходимое для полного растворения Al_2Cu в алюминии, и охладить в воде до комнатной температуры, то твердый раствор, содержащий 4,0% Cu, в результате быстрого охлаждения будет сохранен или, как часто говорят, зафиксирован при комнатной температуре. Поскольку равновесная растворимость меди в алюминии при низких температурах составляет около 0,2%, твердый раствор в закаленном сплаве Al+4% Cu пересыщен медью более чем в 20 раз.

Пересыщенный твердый раствор легирующих компонентов в алюминии, который получают в сплавах в результате закалки, определяет повышение прочности после закалки и возможность дальнейшего упрочнения при старении.

Рассмотрим главные принципы предпочтения режима закалки алюминиевых сплавов. Температура нагрева под закалку обязан обеспечить как можно более полное растворение интерметаллидных фаз в алюминии. Если содержание легирующих компонентов в сплавах не превышает их предельной растворимости при эвтектической температуре (например, 5,65% Cu в сплавах Al-Cu, то легирующие компоненты практически полностью могут быть растворены при нагреве под закалку; температура нагрева в этом случае должна быть выше критической точки.

Если содержание легирующих компонентов превышает предельную растворимость, т.е. в структуре сплава в равновесных условиях имеются включения эвтектических или первичных кристаллов интерметаллидных фаз (например, в сплаве с 10% Cu), то полное растворение интерметаллидных фаз невозможно. В этом случае ориентиром для выбора температуры нагрева под закалку служит температура солидус (как правило, температура плавления наиболее легкоплавкой эвтектики); нагрев проводят до температуры на 5... 15 °С ниже линии солидус.

При закалке литейных алюминиевых сплавов следует иметь в виду, что в структуре сплавов может быть неравновесная эвтектика. Поэтому температура нагрева под закалку литейных сплавов не должна превышать температуры плавления неравновесной эвтектики. Приведенные выше соображения по выбору температуры гомогенизации полностью относятся к выбору температуры нагрева под закалку литейных алюминиевых сплавов. Температура нагрева под закалку различных промышленных сплавов колеблется в пределах от 450 до 560 °С.

Выдержка при температуре нагрева под закалку должна обеспечивать растворение интерметаллидных фаз, поэтому она зависит от величины частиц и характера их распределения. В деформированных изделиях интерметаллидные фазы находятся в основном в виде мелких вторичных кристаллов (сплав уже подвергнут гомогенизации и ряду технологических нагревов), а в отливках — в виде довольно грубых эвтектических включений. Отсюда различная

продолжительность выдержки при температуре нагрева под закалку: для деформируемых сплавов она измеряется десятками минут, а для литейных — часами или даже десятками часов.

Охлаждение при закалке следует проводить с такой скоростью, которая обеспечит отсутствие распада твердого раствора в процессе охлаждения. Эта скорость должна быть больше некоторой определенной для каждого сплава критической скорости охлаждения $V_{кр}$, которая определяется как наименьшая скорость охлаждения сплава, при которой распад твердого раствора в процессе охлаждения еще не происходит.

В промышленности большинство алюминиевых сплавов при закалке охлаждают в воде (как правило, в холодной, иногда в подогретой). Скорость охлаждения тонкостенных изделий в холодной воде (600...800 °C/c) значительно превышает критическую скорость охлаждения любого алюминиевого сплава, т.е. удовлетворяет главному требованию, предъявляемому к охлаждению при закалке.

При закалке толстостенных изделий в воде скорость охлаждения внутренних объемов по мере удаления от поверхности уменьшается, и при какой-то достаточно большой толщине близкие к центру объемы изделия будут охлаждаться со скоростью меньше критической. Прокаливаемость тем выше, чем меньше критическая скорость охлаждения. Для промышленных алюминиевых сплавов критическая скорость охлаждения и соответственно прокаливаемость меняются в широких пределах (таблица 2).

Таблица 2 - Критическая скорость охлаждения и прокаливаемость при закалке в холодной воде некоторых алюминиевых сплавов

Сплав	Система	$V_{кр} \text{ C/с}$	Максимальная толщина плиты, прокаливающейся насквозь ,мм
В93	Al-Zn-Mg-Cu	3...5	250...300
АК4-1	Al-Cu-Mg	10...20	150...200
Д16	Al-Cu-Mg	60...90	100...120
В95	Al-Zn-Mg-Cu + Mn + Cr	100...120	50...70

Однако охлаждение в воде не может рассматриваться как оптимальный вариант закалки во всех случаях. Очень высокая скорость охлаждения при закалке в воде приводит к образованию больших внутренних напряжений, которые обуславливают коробление изделий. Это особенно проявляется в крупногабаритных изделиях сложной конфигурации (штамповки, панели), правка которых после закалки — весьма трудоемкая и дорогостоящая операция. Выбор для каждого сплава охлаждающих сред, обеспечивающих охлаждение со скоростью больше критической, но меньше, чем в воде, — актуальная задача.

Следует указать, что существуют алюминиевые сплавы, имеющие очень малую критическую скорость охлаждения при закалке, тонкостенные изделия из которых могут закаливаться с охлаждением на воздухе. К таким сплавам относятся низколегированные сплавы систем Al-Mg-Si (АД31), Al-Zn-Mg (1915, 1935), сплавы системы Al-Mg-Li (1420). Для таких сплавов возможно совмещение процесса закалки с охлаждением изделий после их горячей деформации (экструдирования, прокатки), поскольку температура горячей деформации для ряда алюминиевых сплавов близка к температуре нагрева под закалку.

После закалки сплавы, обладая повышенной по сравнению с отожженным состоянием прочностью, сохраняют высокую пластичность.

Однако роль закалки не ограничивается ее непосредственным влиянием на свойства. Обуславливая получение пересыщенных твердых растворов легирующих компонентов в алюминии, закалка обеспечивает возможность дальнейшего повышения прочности при старении. В таблице 3 приведен пример изменения механических свойств одного из наиболее распространенных термически упрочняемых алюминиевых сплавов Д16 после различных видов термообработки.

Таблица 3 – Механические свойства листов Д16

Состояние	Механические свойства		
	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %
После отжига	200	100	25
Непосредственно после закалки	300	220	23
После закалки и старения	450	340	18

Старение представляет собой выдержку закаленного сплава при некоторых (относительно низких) температурах, при которых начинается распад пересыщенного твердого раствора или в твердом растворе происходят структурные изменения, являющиеся подготовкой к распаду. Цель старения - дополнительное повышение прочности закаленных сплавов.

Сильная пересыщенность твердого раствора в закаленном сплаве обуславливает его термодинамическую нестабильность. Распад твердого раствора, приближающий фазовое состояние к равновесному, а, следовательно, к уменьшению свободной энергии сплава, является самопроизвольно идущим процессом.

Во многих закаленных алюминиевых сплавах подготовительные стадии распада, а иногда и начало собственно распада проходят без специального нагрева, при вылеживании в естественных условиях в цехе, на складе или в другом помещении, в котором хранятся изделия, где температуры обычно находятся в пределах от 0 до 30 °С. В некоторых алюминиевых сплавах (Al-Cu-Mn) подготовка к распаду и начальные стадии распада происходят лишь при

нагреве закаленного сплава до температур 100...200°C. Смысл этого нагрева – термическая активация диффузионных процессов.

Выдержку закаленных алюминиевых сплавов в естественных условиях (при температуре окружающей среды), которая приводит к определенным изменениям структуры и свойств (прочность, как правило, повышается), называют естественным старением.

Нагрев закаленных алюминиевых сплавов до относительно невысоких температур (обычно в интервале 100...200 °С) и выдержку при этих температурах (в пределах от нескольких часов до нескольких десятков часов) называют искусственным старением. Способность многих алюминиевых сплавов к старению при комнатной температуре обусловила возникновение применительно к алюминиевым сплавам термина «свежезакаленное состояние», т.е. состояние сплава непосредственно после закалки. Свойства алюминиевых сплавов в свежезакаленном состоянии могут значительно отличаться от их свойств спустя определенное время после закалки (в результате естественного старения). Естественное и низкотемпературное искусственное старение связано с тонкими изменениями структуры, которые не обнаруживаются в световом, а в ряде случаев и в электронном микроскопе.

1.5 Коррозионная стойкость

Алюминиевые сплавы имеют очень высокую стойкость против коррозии, которая приблизительно в 20 раз больше стойкости стали. Так, в металлургическом цехе, где в воздухе имеется много сернистых газов, глубина разрушения элементов кровли в течение 20 лет не превысила 0,11 мм. За это время стальные листы пришлось бы сменить несколько раз. Такая высокая стойкость против коррозии объясняется образованием на поверхности детали высокопрочной пленки окисла алюминия толщиной в сотые доли микрона. Эта пленка надежно охраняет металл от дальнейшего окисления.

Наибольшей антикоррозийной стойкостью обладает чистый алюминий; затем следуют сплавы его с магнием; марганцем и другие сплавы, не

содержащие медь. Последнее место в этом списке занимают дуралюмины, в которых содержится до 6% меди. Усиленная коррозия дуралюминов объясняется, тем, что при термической обработке из твердого раствора выделяются кристаллиты соединений алюминия с медью, которые с основным металлом образуют электрические микропары, являющиеся причиной точечной коррозии. Особенно опасно возникновение электрохимических процессов в местах контакта алюминия с другими металлами, например со сталью, из которой иногда изготавливаются болты и заклепки для соединения алюминиевых элементов или другие детали в смешанных конструкциях.

Смешанные конструкции, а также конструкции, изготовленные из дуралюмина, необходимо окрашивать химически нейтральными по отношению к алюминию красками: битумными и органическими красителями, содержащими алюминиевый порошок или хромат цинка. Нельзя применять краски, имеющие соли меди, ртути (медный купорос, бронзу, амальгамы и др.). Для того чтобы повысить стойкость против коррозии дуралюминиевых листов, производят так называемое плакирование, которое заключается в том, что на поверхность заготовки накладывают тонкий лист чистого алюминия или алюминиево-магниевого сплава, нагревают до 150-200° и прокатывают до получения гладкой поверхности. В соответствии с нашими стандартами все дуралюминиевые листы, выпускаемые отечественной промышленностью, проходят плакирование.

С целью повышения устойчивости против коррозии производят анодирование. Анодирование состоит из ряда электрохимических процессов по подготовке поверхности и по созданию на ней более твердой и устойчивой против коррозии пленки окислов алюминия, чем пленка, полученная при естественном окислении. Сразу же после анодирования искусственная бесцветная пленка, обладающая большой адсорбционной способностью, может быть окрашена неорганическими пигментами в любые цвета путем погружения деталей в подогретую ванну с красителем. Детали, прошедшие такую обработку, длительное время сохраняют свежесть окраски и приданный им

блеск. Заметим, что для анодирования "под золото" не требуется тратить этот драгоценный металл, так как цвет создает специальный пигмент, а блеск - окисная пленка. Рекомендуется подвергать анодированию элементы, изготовленные из дуралюмина. Качественное анодирование сплавов не может быть достигнуто, так как электролиты химически взаимодействуют с кремниевыми соединениями этих сплавов.

При использовании алюминиевых сплавов для возведения объектов химической промышленности необходимо учитывать, что алюминий малоустойчив против веществ, содержащих альдегидную группу (например, растворы формалина, уксусного альдегида и др.) [4].

1.6 Области применения алюминиевого сплава Д16

Наибольшее распространение получили алюминиевые сплавы благодаря своей высокой стойкости против коррозии не только в специальных, - сооружениях, эксплуатирующихся в условиях особо агрессивной среды, но и в обычных гражданских и промышленных зданиях для элементов, которые испытывают атмосферные воздействия.

1.6.1 Кровельные настилы

Кровля из алюминиевых листов, благодаря совмещению несущих и ограждающих функций в ряде случаев дешевле других кровель. Если даже первоначальные затраты на нее будут выше, чем на другие типы покрытий, то алюминиевая кровля окупит себя в короткое время, так как она почти не требует профилактического ремонта и срок службы ее во много раз длиннее, чем обычных кровель.

а) В Швейцарии и Западной Германии штампованная алюминиевая кровля применяется в виде ленты шириной 580 мм и толщиной 0,7 мм. Материалом для листа служит алюминиевом аржанцевый сплав.

Гофрировка ленты соответствует размерам крепежных шипов, выполненных в форме "ласточкиного хвоста" на которые лента одевается при

разворачивании рулона поперек ската. Вдоль оката делается нахлестка на нижележащие ленты 80 мм.

б) В американской строительной практике для кровли также используется алюминий-марганцевый сплав, но в виде штампованных картин размером 6000X570 мм при толщине 0.7 мм. Расстояние между элементами обрешетки по окату принимается, исходя из несущей способности настила 1,5 - 1,8 м. Крепление картин к обрешетке производится с помощью клямер.

в) Алюминиевая кровля может применяться в виде волнистых листов небольшой толщины (до 1 мм). В Австралии такие листы используются для покрытий зерновых складов и для изготовления емкостей под зерно.

1.6.2 Оконные и фонарные переплеты

Как известно, деревянные переплеты имеют ряд недостатков, основными из которых являются их недолговечность и ненадежность в эксплуатации. Стальные рамы быстро подвергаются коррозии, имеют большой вес и неудобны в открывании. Алюминиевые переплеты не имеют этих недостатков, поэтому они нашли применение за рубежом и в нашем строительстве (в высотных зданиях МГУ, на Смоленской площади и др.).

1.6.3 Стеновые панели

Листы из алюминиевых сплавов используются для внешней отделки и облицовки зданий. Для этой цели могут применяться как штампованные листы, так и специально изготовленные ограждающие панели, которые состоят из наружных алюминиевых листов, эффективного утеплителя (или герметически замкнутой воздушной прослойки) и внутренней облицовки.

Полированные листы из алюминиевых сплавов применены в качестве стенового ограждения павильонов Росси и Венгрии на Всемирной выставке в Брюсселе, а также других павильонов (Атомиума и др.).

1.6.4 Применение алюминиевых сплавов для строительства объектов химической и нефтяной промышленности

Химическая стойкость алюминия по отношению ко многим кислотам и щелочам делает этот металл и его сплавы незаменимыми для возведения емкостей и трубопроводов в химической и топливной промышленности для хранения и транспортирования продуктов, богатых сернистыми соединениями.

а) Резервуары

На строительстве комбината синтетических жирозаменителей в Волгодонске было сооружено семь крупных резервуаров из листов алюминий-магниевого сплава.

Соединения - сварные, осуществленные на укрупнительной сборке с помощью ручной электродуговой сварки, и монтажные, сваренные газовой сваркой.

Для хранения нефтепродуктов можно строить комбинированные резервуары: из алюминиевых сплавов изготавливать элементы, наиболее подверженные коррозии, верхние листы стенок, конструкции покрытий, кровлю; остальные части резервуаров могут быть изготовлены из стали.

б) Трубопроводы

Алюминиевые трубы целесообразно применять для трубопроводов в химической и нефтяной промышленности. Антикоррозийные свойства этих сплавов позволяют не делать наружную изоляцию, а также увеличивают длительность эксплуатации сооружений (благодаря устойчивости против агрессивного воздействия транспортируемой среды).

Достоинством таких трубопроводов является также и то, что сопротивление движению жидкостей или газов в более гладких алюминиевых трубах на 10 - 15% меньше, чем в стальных, а поэтому можно соответственно уменьшить мощность компрессорных станций.

1.6.5 Автоматизированные безотяжечные Антенно-мачтовые устройства МИК-АМУ

1. Назначение

Телескопическая мачта АМУ служит для подъема антенных устройств, используются в составе мобильных объектов и комплексов, предназначены для автоматизированного подъема антенн и приемо-передающего оборудования ЦРРС, БШД, РЛС, прожекторов, видеокамер дневного и ночного видения и другого аналогичного оборудования. Мачта может крепиться на шасси автомобиля или к кузову а так же устанавливаться на земле, для чего в комплекте поставки предусматривается плита и оттяжки первого яруса.

Телескопическая мачта может эксплуатироваться на открытом воздухе в интервале температур от -50 до $+50$ °С при относительной влажности воздуха 98% при температуре $+35$ °С.

Развернутая телескопическая мачта, закрепленная оттяжками, сохраняет механическую прочность и устойчивость при скорости ветра до 30 м/с. Масса полезной нагрузки на телескопическую мачту составляет 65 кг.

2. Состав

Телескопическая мачта состоит из неподвижной секции, подвижных секции (труба из композиционных материалов), роликов, хомут (обечайка), стальных тросов и редуктора с электроприводом.

3. Устройство и принцип работы

Подвижные звенья телескопической мачты с помощью системы тросиков и роликов соединены между собой редуктором с электроприводом. При вращении редуктора по часовой стрелке производится наматывание троса на барабан, что обеспечивает одновременный выход всех подвижных коленьев мачты.

При вращении редуктора против часовой стрелки происходит сматывание троса с барабана, и подвижных звеньев под действием собственного веса, а так же веса антенного устройства, входят одно в другое, т.е. происходит свертывание мачты.

4. Устройство и работа основных частей

Неподвижное звено изготовлено из стальной трубы. На первом звене у большого прямоугольного окна закреплен редуктор с электроприводом. Указанная обечайка состоит в сборке секции-192 ЖНКЮ.301363.005 позиция 2. (см. СБ чертеж) Эта обечайка ставится внутрь углепластиковой трубы, из которой состоит секция, в нижней части, и на её еще устанавливается кольцо поз.3. Этим кольцом (оно выполнено из нерж. стали) она скользит внутри другой углепластиковой секции. К данной обечайке также крепится канат п. 26. Чтобы понять как этот канат работает, нужно посмотреть СБ чертеж мачты. Усилия в канате в данном месте порядка 6,7 кН. Подвижные звенья выполнены из углепластика. [5]

2. Материалы и методы исследования

2.1 Материал исследования

Д16 - это сплав алюминия с магнием и медью. Такие сплавы называют дюралюми. Дюралюми используются в качестве конструкционных сплавов в авиационной и космической промышленности, благодаря их прочности и сравнительной лёгкости. Сплав легко обрабатывается резанием. Д16 - это термоупрочняемый деформируемый сплав алюминия, который имеет химический состав по ГОСТ 4784-97(таблица 2).

Таблица 4 – Химический состав в % материале Д16

Fe,%	Si,%	Mn,%	Cr,%	Ti,%	Al,%	Cu,%	Mg,%	Zn,%
0.5	0.5	0.9	0.1	0.15	94.7	3.4-4.9	1.2-1.8	Прочие, каждая 0.05: всего 0.15

Благодаря малой тепло и электропроводности этот материал хорошо проявляет себя при температурах 120 - 250° С, однако не допускается его использовать даже кратковременно при температуре выше 500 °С. Д16 не склонен к образованию трещин, но при повышении температуры выше 80° С склонен к образованию межкристаллитной коррозии, что накладывает определённые ограничения на его применение. Однако искусственное старение позволяет избежать образования коррозии, с одновременным уменьшением прочности и пластичности.

Большинство дюралюми имеет склонность к коррозии больше чем другие сплавы алюминия. По этой причине изделия из дюралюми лакируют 2-4% слоем технического алюминия, либо покрывают лаком. Кроме того Д16Т плохо поддаётся сварке и может свариваться только точечной сваркой, поэтому в большинстве случаев закрепляется с помощью заклёпок и других разъёмных и неразъёмных соединений. Соответственно, выпускаются полуфабрикаты из Д16 следующих видов:

- в чистом виде,
- Т - закалённые и естественно состаренные,
- Т1 - искусственно состаренное состояние.
- М - отожжённые,
- Плакированные (прим. Д15ТА)

2.2. Методики исследования

2.2.1 Подготовка образцов к металлографическому исследованию

Поверхность образцов готовили шлифовкой, полировкой и травлением.

Шлифовка. Образец подвергался шлифовке на наждачной бумаге, использовалась бумага с различной зернистости, с постепенным переходом от более крупного к более мелкому. 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° [13].

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 шлица подвергалась воздействию химического реактива. Алюминиевые сплавы с магнием, медью, марганцем, кремнием и др. следует травить погружением на 10 – 40 с в нагретый до 70 C раствор невысокой концентрации (10 – 25%), после чего шлиц быстро охлаждают в холодной воде. В результате травления CuAl_2 , Ni_3Al_3 , Mg_2Si чернеют, CuAl_2 в сплавах Cu-Al окрашивается в цвет от голубого до коричневого. Остальные интерметаллиды, как правило, остаются светлыми [8].

Для травления деформируемого алюминиевого сплава Д16, использовалось следующее: травитель (HNO_3 + вода, в соотношение 1 к 4),

термометр, посуда для подогрева металлографического реактива, плита, щип, мерный стакан.

Травитель подогревался до 70° С. Время травления составило 7...10 раз по 1 минуте. После травления образец сразу же промывали в холодной воде.

2.2.2 Металлографические исследования

Изучение микроструктуры сплавов осуществляли при помощи микроскопа ЛабоМет – И вариант 1 (рисунок 4) с выводом микроструктуры на экран монитора. Микроскоп металлографический лабораторный инвертированный ЛабоМет - И вариант 1. 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.



Рисунок 4 - Микроскоп металлографический

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

Микроскоп может применяться в различных областях науки, техники и жизнедеятельности: металлургическая, электронная и полупроводниковая промышленности, металлография, петрография, минералогия, геология, криминалистика, стоматология и др. Предусмотрена возможность расширения технических характеристик микроскопа за счет свободной комплектации

узлами и принадлежностями, такими, как объективы, окуляры, визуальные насадки, устройства контрастирования, светофильтры и др рисунок 5.

При анализе структуры алюминиево-медно-магниевого сплава съемку вели цифровой видеокамерой, находящейся непосредственно на микроскопе. Изображения микроструктуры образцов были внесены в память компьютера при помощи программного обеспечения Siams 700, входящего в состав микроскопа, и распечатаны на принтере.

2.2.3 Измерение твердости (микротвердость, 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 Р (в кг) на боковую поверхность S ($d \text{ мм}^2$) отпечатка в предположении, что углы отпечатка соответствуют углам пирамиды:

Измерение микротвердости проводили на микротвердомере ПМТ-3 рисунок 5.



Рисунок 5 – Микротвердомер ПМТ – 3

Значение микротвердости (H_{μ}) вычисляли по ниже приведенной формуле, где P – нагрузка выражено в граммах, d в микрометрах;

$$H = \frac{1854P}{d^2} \text{ кгГ / мм}^2$$

Для того чтобы перевести значение микротвердости в МПа, можно воспользоваться соотношением; $1\text{МПа} = 9,81\text{кг/мм}^2$.

Измерение твердости по Бринеллю. Индентором служит стальной закаленный шарик, который вдавливают в испытуемый образец на специальном прессе (рисунок 6). 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 НВ (кгс/м м^2) – это отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка, его вычисляют по формуле

$$HB = \frac{2P}{D} [D - (D^2 - d^2)^{1/2}];$$

где P - прилагаемая нагрузка;

D и d - соответственно диаметр шарика и отпечатка.

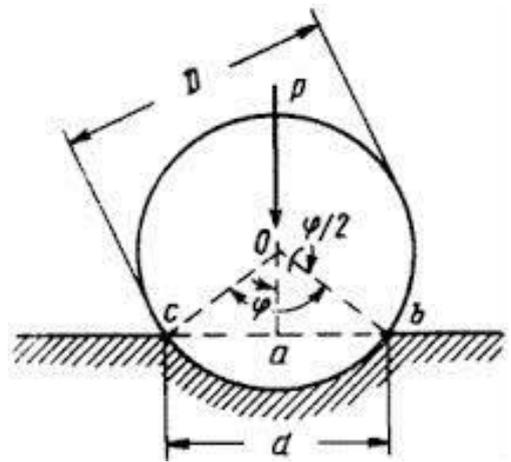


Рисунок 6 – Измерение твердости по Бринеллю: а) твердомер Бринелль б) схема измерения отпечатка твердости по Бринеллю (Р – нагрузка)

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 [9].

2.2.4 Растровый электронный микроскоп

Микрорентгеноспектральный анализ проводили на растровом электронном микроскопе VEGA Tescan.



Рисунок 7 – Растровый электронный микроскоп VEGA Tescan

Для получения картин дифракции отраженных электронов полированный образец наклоняли под углом около 70° по отношению к падающему пучку электронов. Электронный зонд направляли в интересующую точку на поверхности образца, при этом упругое рассеяние падающего пучка вынуждает электроны отклоняться от этой точки непосредственно ниже поверхности образца и налетать на кристаллические плоскости со всех сторон. В тех случаях, когда удовлетворяется условие дифракции Брэгга для плоскостей атомов решетки кристалла, образуется по 2 конусообразных пучка дифрагированных электронов для каждого семейства кристаллических плоскостей. Эти пучки электронов можно сделать видимыми, поместив на их пути фосфоресцирующий экран, а вслед за ним высокочувствительную камеру.

Обычно камера располагается горизонтально для того, чтобы фосфоресцирующий экран находился ближе к образцу и был с широким углом захвата дифракционной картины. Там, где конусообразные пучки электронов пересекаются с фосфоресцентным экраном, они появляются в виде тонких полос, называемых полосами Кикучи. Каждая из этих полос соответствует определенной группе кристаллических плоскостей.

Результирующие картины ДОЭ состоят из множества полос Кикучи. С помощью специальных компьютерных программ, разработанных фирмой, автоматически определяется положение каждой из полос Кикучи, производится сравнение с теоретическими данными о соответствующей кристаллической фазе и быстро вычисляется трехмерная кристаллографическая ориентация.

Важнейшими параметрами для создания качественного изображения являются:

- Ускоряющее напряжение (от 10 до 20 кВ);
- Рабочее расстояние (от 4 до 10 мм); зондовый ток (для высокого разрешения $I = 5 - 10$ пА, для невысокого разрешения $I = 500 - 700$ пА, для большой глубины резкости при исследовании изломов $I = 100 - 200$ пА).

2.2.5 Экспресс анализатор металла Niton XL3t GOLDD

Анализатор металла Niton – это высокоточный быстрый-анализатор, выполняет функцию о XRF-спектрометра. Данный анализатор хорошо применяется на данный момент в высоком числе компаний машиностроительных и объединений во всем мире. Изюминка этого рентгено-флуоресцентных анализатора это введенная революционная технология, в ядре которой лежит употребление маленькой рентгеновской трубки в совмещении с твердотельным детектором. Весьма значительная скорость многоэлементного анализа, точность и надежность получаемых результатов приносят возможность значительно сжать время измерений, а также экономить ресурсы компании, отрёкшись, в ряде случаев, от применения сложных лабораторных методик. Кроме того, простота употребления и вероятность анализа материала любой формы и размера, а также нагретых или вибрирующих объектов, делает анализатор Niton XL3t удобным для работы как в условиях стационарного производства, так и в полевых условиях.

2.2.6 Фазовый анализ

Качественный фазовый анализ проводили рентгенографическим методом, который позволил наряду с другими методами исследований проследить последовательность фазовых превращений. Съёмки рентгенограмм проведены на дифрактометре типа ДРОН с характеристическим CuK_α -излучением (ИФПМ СО РАН). Рентгенограммы записывались автоматически на компьютере. Обработку рентгенограмм проводили с помощью компьютерной программы RENEX. Качественный фазовый состав образцов определяли сравнением интенсивностей линий на дифрактограммах и соответствующих им межплоскостных расстояний d_{hkl} с аналогичными параметрами известных веществ. Для этого использовали компьютерную картотеку, содержащую 39 627 веществ.

Качественным фазовым анализом можно установить, из каких химических соединений состоит образец. Более того, одно и то же соединение

может быть в различных модификациях, что также устанавливается по рентгенограммам. От каждого химического соединения на рентгенограмме возникает свой набор линий. Измеренные относительные интенсивности линий и определенные по рентгенограмме межплоскостные расстояния называются рентгеновской характеристикой вещества. Самые сильные линии данного вещества называют реперными. Они исчезают на рентгенограмме последними, если содержание данной фазы в образце уменьшается. По реперным линиям и выявляют обычно фазы. Минимальное количество вещества, при котором еще заметны реперные линии, определяют *чувствительность* фазового анализа [13].

Чувствительность зависит от интенсивности интерференционных линий, которые дает на рентгенограмме исследуемое вещество. Как известно [13], интенсивность линий для порошкового образца определяется произведением:

$$I_{hkl} = A(\nu, \mu) n^2 \lambda^3 L(\nu) P(\nu) F^2(hkl) \exp(-2M) p,$$

где $A(\nu, \mu)$ – множитель поглощения, зависящий от брэгговского угла ν и линейного коэффициента поглощения μ , который зависит от атомного номера вещества и длины волны рентгеновского излучения;

$L(\nu)$ – множитель Лоренца;

$P(\nu)$ – множитель Томпсона;

$F^2(hkl)$ – структурный множитель;

p – множитель повторяемости;

$\exp(-2M)$ – температурный множитель;

n – число элементарных ячеек в единице объема;

λ – длина волны.

Чувствительность зависит от соотношения коэффициентов поглощения определяемой фазы и всей смеси. Фазы с большим коэффициентом поглощения (состоящая из тяжелых элементов с большой рассеивающей способностью) в смеси со слабопоглощающими фазами выявляется при малых ее содержаниях. Фазу с малым коэффициентом поглощения (состоящую из легких элементов) в

смеси с сильнопоглощающими фазами можно выявить только при значительном ее содержании.

При сравнении чувствительности анализа для двух фаз с одинаковой решеткой следует учитывать значения структурного множителя. Для объемноцентрированной решетки (о.ц.к.) он равен $4f^2$ (f^2 – атомный множитель), для границентрированной (г.ц.к.) $F^2(hkl)=16f^2$ [13].

Чувствительность метода также зависит от наличия структурных искажений и дефектов в кристаллическом веществе и от величины кристаллов. Все эти факторы могут вызывать уширение интерференционных линий и, следовательно, снижать чувствительность метода, так как размытые линии выявить сложнее, чем резкие.

Чувствительность метода также повышается при правильном приготовлении образца. Перед съемкой целесообразно проводить химическую очистку анализируемых порошков от загрязнений. При съемке шлифов из сталей или сплавов химическое или электрохимическое травление позволяет обогатить поверхность образца карбидами или интерметаллидами, так как при соответствующем подборе травителя растворяется матрица и остаются частицы определяемой фазы.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет НИИ;

- произвести оценку ресурсной и экономической эффективности исследования.

4.1 Инициализация исследования и его технико-экономическое обоснование

Темой дипломной работы является “Влияние термической обработки на структуру и свойства алюминиевого сплава Д16”. Алюминиевые сплавы остаются одним из наиболее популярных конструкционных материалов. Уже сейчас трудно найти отрасль промышленности где бы не использовался алюминий или его сплавы, от микроэлектроники до тяжелой металлургии. Исследование проводилось в целях изучения влияния термической обработки на структуру и свойства алюминиевого сплава Д16.

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов НИИ

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования алюминиевого сплава, являются промышленные машиностроительные заводы, которые выпускают различные типы деталей для промышленной отрасли, военной и авиационной. Данное научно техническое исследование было выполнено для ООО “Сибирская машиностроительная компания” город Томск.

В связи с бурным развитием алюминиевой промышленности, в некоторых случаях можно приобрести низкое качество данного продукта. Что в последствие может сказаться пагубно на ответственных деталях, так же есть возможность выйти из строя, не испытав свой срок эксплуатации. Финансовая экономичность играет большую роль в закупке продукта. Покупка низкого качества продукта в большом размере по стоимости как за качественный продукт не удовлетворяет потребителей. Таким вопросом занимается данное

исследование: изучение, влияние термической обработки на исследуемый образец с последующим анализом.

Ограничение в сроках выполнения исследования существует, машиностроительная промышленность каждый день ставит перед собой цели, выпустить быстро качественную продукцию из поставленного полуфабриката. Финансирование осуществляется из фонда заказчика. Средства выделяются на основе рассчитываемой сметы.

4.1.2 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. [14] Для анализа проекта составлена таблица 5.

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 5 – SWOT анализ проекта

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
<p>С1. Методика исследования материалов в данной работе является эффективной;</p> <p>С2. Методика, описанная в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность;</p> <p>С3. Возможность применения данной методики, для деформируемых и литейных металлов;</p> <p>С4. Актуальность разработки;</p> <p>С5. Наличие опытного руководителя.</p>	<p>В1. Простая адаптация научного исследования под иностранные языки;</p> <p>В2. Большой потенциал применения методики в России;</p> <p>В3. Единственный метод изучения свойств материала</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1. Завышенные требования к оборудованию т.к. для проведения эксперимента требуются сложные испытательные установки</p> <p>Сл2. Возможность появления новых методов</p> <p>Сл3. Большой объем методики</p> <p>Сл4. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p>	<p>У1. Возможность создание более доступной в цене аналогового метода определения металла;</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новую методику;</p> <p>У3. Закрытие машиностроительных предприятий на территории РФ.</p>

Следующий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 6 – сильные стороны проекта

		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	-	0
		+	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C1C3C4C5, B2C1C2C3.

Таблица 7 – слабые стороны проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	0	0	+	0
	B2	0	+	-	+
	+	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл3, B2Сл2Сл4.

Таблица 8 – сильные стороны проекта

Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	+	0	-	0
	У2	+	0	0	+	0
	У3	-	-	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1С1С2, У2С1С4.

Таблица 9 – слабые стороны проекта

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

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл4.

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. Также среди угроз можно отметить низкий темп роста (иногда спад), ведущих отраслей машиностроения, что в свою очередь может привести

к закрытию некоторых машиностроительных предприятий. Данная проблема является актуальной для России, выходом здесь может послужить – поиск перспективных действующих предприятий на территории РФ, а также налаживание партнерских отношений с производственными предприятиями стран СНГ и «Ближнего зарубежья».

Что касается слабых сторон, то экспериментальное исследование материалов, подразумевает использование –дорогостоящих испытательных машин. Поэтому для работы с данными машинами требуется привлечение опытных кадров.

Проблема об отсутствии у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой, так как для ее применения требуются знания в области материаловедения для решений данной проблемы необходимо обучение персонала.

4.2 Планирование комплекса работ на научно-техническое исследование

Комплекс работ по созданию научно технического исследование включает в себя 2 этапа:

- исследование образца РАФ и РАМ методом;
- исследование образца на влияние структуры и свойства после термической обработки.

Исследование образца РАФ и РАМ будут разрабатывать 2 человека: руководитель проекта и студент-дипломник.

Исследование образца на влияние структуры и свойства после термической обработки 2 человека: руководитель проекта и студент-дипломник.

4.2.1 Составление перечня работ

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 10:

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания ВКР	Ваулина О.Ю. – руководитель; Дронов А.А. – студент-дипломник.
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Изучение металлографических методик, термической обработки поиск материалов по теме	Дронов А.А.
	3	Выбор материала для проведения эксперимента	Дронов А.А.
	4	Календарное планирование работ	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование проведения исследования алюминиевого сплава.	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.
	6	Поиск необходимого оборудования.	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.
	7	Исследование алюминиевого сплава Д16	Дронов А.А.
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, исследования алюминиевого сплава Д16	Дронов А.А.

4.2.2 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле

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

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

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

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

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;
 T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;
 k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кГ}}{T_{кГ} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (5)$$

где $T_{кГ}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кГ}}{T_{кГ} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел. [14]

Результаты расчетов приведены в таблице 23.

Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$U_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где U_i – удельное значение каждой работы в %;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

T_p – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Тогда техническую готовность темы G_i , можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{p=1}^i T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где $\sum T_{pi}$ – нарастающая продолжительность на момент выполнения i -той работы. [1]

Результаты расчетов приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Временные показатели проведения НИР

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		t _{min} чел- дн.	t _{max} чел-дн	t _{ож} чел- дн	T _p раб.дн	T _k кал.дн	У _i , %	Г _i , %
1	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.	1	3	2	1,2	3	1,72	1,05
2	Дронов А.А.	19	34	20	25	20	30,01	37,61
3	Дронов А.А.	4	10	8	1,5	3	5,50	40,11
4	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.	4	12	8	2,8	2	4,65	47,60
5	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.	12	24	18	18	20	22,32	70,6
6	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.	4	18	8	4	6	3,92	81,26
7	Дронов А.А.	5	12	8	4,7	14	7,04	14,21
8	Дронов А.А.	1	9	4	0,87	3	6,30	88,91
9	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.	2	12	6	3,4	5	7,09	93,11
10	Дронов А.А.	2	9	5	4	9	5,99	100
ИТОГО						85		

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. [15]

График строится в рамках таблицы 12 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 12 – Календарный график проведения ВКР

Этапы	Вид работы	Исполнители	T_k	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания НИР	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.	3					
2	Исследование металлографических методик, термической обработки, материалов по теме	Дронов А.А.	20					
3	Выбор материала для проведения эксперимента	Дронов А.А.	3					
4	Календарное планирование работ	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.	2					
5	Планирование проведения исследования алюминиевого сплава.	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.	20					
6	Поиск необходимого оборудования.	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.	6					
7	Исследование алюминиевого сплава Д16	Дронов А.А.	14					
8	Анализ полученных результатов, исследования алюминиевого сплава Д16	Дронов А.А.	3					
9	Оценка эффективности полученных результатов	Ваулина О.Ю., Дронов А.А.	5					

 - руководитель,  - студент-дипломник.

Календарный план разработки проекта составлен с учетом всех выходных и праздничных дней. На разработку данного НИР потребуется 85 рабочих дней.

4.2.3 Расчет бюджета затрат на НИР

Затраты представляют собой все производственные формы потребления денег и измеримых в денежном измерении материальных ценностей, которые служат непосредственной производственной целью.

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.техн}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции. [15]

В данной работе использовался 1 образец сплава Д16. Стоимость 1кг материала 560 руб. Вес одного образца 0,07 кг.

Стоимость 1 м² наждачной бумаги 120 руб. Затраты на наждачную бумагу, при условии, что на исследовании требуется 0,5м² бумаги, составили 60 руб.

Таблица 13 – Затраты на получение образцов

Стоимость 1кг материала, руб.	560
Вес образца, кг	0,08
Стоимость материала образцов, руб.	44
Стоимость наждачной бумаги, руб.	60
Общие затраты на получение образца, руб. 2130	

Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: установка для исследования печь типа Снол, твердомер Бринелль, твердомер ПМТ – 3, металлографический микроскоп и компьютер.

Срок полезного использования каждого вида оборудования:

Печь типа Снол, твердомер Бринелль, твердомер ПМТ – 3 – по пятой группе (оборудование испытательное): 10 лет.

Металлографический микроскоп, компьютер – по третьей группе (техника электронно- вычислительная): 5 лет. [16]

Рассчитываем материальные затраты ($I_{\text{мат}}$). Результаты расчета сведем в таблицу 26.

$$I_{\text{мат}} = I_{\text{исп. уст}} + I_{\text{кам}} + I_{\text{комп}} + I_{\text{обр}}$$

$$I_{\text{мат}} = 49000000 + 22000 + 28000 + 2130 = 4952130 \text{ руб,}$$

Таблица 14 – Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Срок службы, год	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Печь типа СНОЛ	шт	10	1	27400	27400
Твердомер Бринелль	шт	10	1	88000	22000
Твердомер ПМТ - 3	шт	5	1	46000	28000
Образец сплава Д16	шт	-	1	560	560
Металлографический микроскоп	шт	5	1	150000	150000
Итого:					227960

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году. [15]

Расчисляем амортизацию оборудования техники $I_{ам.обор}$, по следующей формуле

$$I_{ам.обор} = \left(\frac{T_{исп.обор}}{365} \right) \times K_{обор} \times H_a,$$

где $T_{исп.обор}$ – время использования оборудование;

365 дней – количество дней в году;

$K_{обор}$ – стоимость оборудования;

H_a – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{с.с.обор}},$$

где $T_{с.с\text{ обор.}}$ – срок службы оборудования

$$I_{\text{ам. исп. уст}} = \left(\frac{T_{\text{исп. исп. уст}}}{365} \right) \cdot K_{\text{исп. уст}} \cdot N_a = \left(\frac{1}{365} \right) \cdot 27400 \cdot \left(\frac{1}{10} \right) = 7,5 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам. кам}} = \left(\frac{T_{\text{исп. кам}}}{365} \right) \cdot K_{\text{кам}} \cdot N_a = \left(\frac{1}{365} \right) \cdot 88000 \cdot \left(\frac{1}{10} \right) = 24,1 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам. комп}} = \left(\frac{T_{\text{исп. комп}}}{365} \right) \cdot K_{\text{комп}} \cdot N_a = \left(\frac{1}{365} \right) \cdot 46000 \cdot \left(\frac{1}{5} \right) = 25,2 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам. комп}} = \left(\frac{T_{\text{исп. комп}}}{365} \right) \cdot K_{\text{комп}} \cdot N_a = \left(\frac{1}{365} \right) \cdot 150000 \cdot \left(\frac{1}{5} \right) = 82,1 \text{ руб.}$$

$$\sum I_{\text{ам. обор}} = K_{\text{ам. исп. уст}} + K_{\text{ам. кам}} + K_{\text{ам. комп}} = 7,5 + 24,01 + 25 + 82,1 = 138,61 \text{ руб.}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 15.

Таблица 15 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$K_{\text{обор}}$, руб.	$T_{\text{исп. обор}}$, дней.	$I_{\text{ам. обор}}$, руб
Печь типа СНОЛ	27400	1	7,5
Твердомер Бринелль	88000	1	24,1
Твердомер ПМТ - 3	46000	1	25,2
Металлографический микроскоп	150000		82,1
Итого:			138,61

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;

- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат. [16]

Примем, что полный фонд заработной платы ($\Phi_{зп}$):

$$\Phi_{зп} = 30000 \text{руб.}$$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 26%. [17]

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ($I_{соц.отч.}$):

$$I_{соц.отч.} = ЕСН = 0,26 \cdot \Phi_{зп} = 0,26 \cdot 28000 = 7800 \text{руб.}$$

Накладные расходы используют на следующее:

- 1) затраты на текущий ремонт;
- 2) амортизацию основных производственных фондов;
- 3) затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы Тогда:

$$I_{накл.расх.} = 2 \cdot \Phi_{зп} = 2 \cdot 30000 = 60000 \text{руб.}$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{прочее} = 0,02 \cdot (I_{мат} + \Phi_{зп} + I_{ам.обор} + ЕСН)$$

$$I_{прочее} = 0,02 \cdot (227960 + 30000 + 138,51 + 7800) = 5317,9702 \text{руб.}$$

Рассчитываем себестоимость проекта ($K_{проекта}$).

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + \Phi_{\text{зп}} + I_{\text{ам.обор}} + I_{\text{соц.отч}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}$$

$$K_{\text{проекта}} = 227960 + 30000 + 138,51 + 7800 + 60000 + 5317,9702) =$$

$$= 331216,48 \text{ руб.}$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$\text{ПР} = 0,3 \cdot K_{\text{проекта}} = 0,3 \cdot 331216,48 = 99364,944 \text{ руб.}$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц).

$$\text{Ц} = K_{\text{проекта}} + \text{ПР} = 331216,48 + 99364,944 = 430581,424 \text{ руб.}$$

В таблице 28 представлена смета затрат на НИР:

Таблица 16 - Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	$I_{\text{мат}}$	227960
Амортизация оборудования	$I_{\text{ам,обор}}$	138,61
Затраты на оплату труда	ЗП	30000
Отчисления на социальные нужды	$I_{\text{соц.отч}}$	7800
Накладные расходы	$I_{\text{накл.расх}}$	60000
Прочие затраты	$I_{\text{прочие}}$	5317,9702
Себестоимость проекта	$K_{\text{проекта}}$	331216,48
Плановые накопления (прибыль)	ПР	99364,944
Стоимость НИР (цена)	Ц	430581,424

Таким образом, смета затраты на научно исследовательскую работу составляет 430 581,424 рубля.

4.3 Определение эффективности НТИ

4.3.1 Оценка ресурсоэффективности

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

Данная научно-исследовательская работа финансируется за счет средств государственного бюджета и по характеру получаемых результатов относится к поисковым работам. Результаты данных работ, как правило, не заканчиваются созданием и промышленным внедрением новых видов материалов и средств изготовления продукции, поэтому оценивать её эффективность преждевременно.

4.3.2 Определение научно-технического уровня исследования

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности исследования необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i ,$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

$П_i$ – количественная оценка i – го признака.

Таблица 17 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 18 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 19 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 20 – Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, \Pi_1 = 7, k_2 = 0.4, \Pi_2 = 8,$$

$$k_3 = 0.2, \Pi_3 = 10, k_4 = 0.2, \Pi_4 = 4.$$

$$HTY = 0.6 \cdot 7 + 0.4 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 10.2$$

Список публикаций

1. Дронов А.А., Ваулина О.Ю. Влияние термической обработки на свойства и структуру алюминиевого сплава Д16// Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов международной конференции, Томск, 9 - 11 Июня 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - С. 116-120.