

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет
машиностроения и транспорта
(наименование)

Кафедра
Сварочное, литейное производство
и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

22.03.01 Материаловедение и техноло-
гии материалов
(код и наименование)

Профиль

«Материаловедение и технологии новых
материалов»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

«Влияние термической обработки на структуру и свойства
алюминиевых сплавов»

Студент

Бокиев 22.06.2020
(подпись, дата)

Бокиев Абдунаби Абдурахмо-
нович
(ф.и.о. полностью)

Научный руководитель
доцент к.т.н.,

Казанцев 22.06.2020
(подпись, дата)

Казанцев С.Н.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

Хорин 22.06.2020
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 15.06.2020 № 12)

Заведующий кафедрой

Розен 22.06.2020
(подпись, дата)

Розен А. Е.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой удовл. (протокол заседания ГЭК от 25.06.2020 № 9)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

Гуськов 25.06.2020
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2020

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПиМ
д.т.н., профессор _____ А.Е. Розен
подпись

« 10 » _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 16МТ1 Факультета машиностроения и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Бокиеву Абдунаби Абдурахмоновичу.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Казанцев С.Н.

Время выполнения ВКР: с 10.02.2020 г. по 8.07.2020 г.

Место преддипломной практики: кафедра «Контроль и испытания материалов» ПГУ.

Тема работы: « Влияние термической обработки на структуру и свойства алюминиевых сплавов ».

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 1477/О от 30.12.2019.

Техническое задание на работу (назначение устройства, условия применения, внешние воздействия, специальные требования и т.п.): *выполнить литературное и патентное исследование способов термической обработки алюминиевых сплавов, выявить факторы, влияющие на улучшение структуры сплава и повышение механических свойств отливок.*

Объём и содержание основной части работы

Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):

- введение с обоснованием актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;
- теоретический анализ процесса изменения структуры алюминиевых сплавов при различных режимах термического воздействия;
- исследовательский раздел – обоснование применяемых технологических процессов, оборудования и материалов для проведения экспериментальных исследований;
- экспериментальный раздел – описание результатов исследования и определение влияния методов термической обработки на структуру и механические свойства алюминиевого сплава;

- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Презентация бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- тема ВКР	1л А4;
- цели и задачи выпускной работы	1л А4;
- актуальность работы	1л А4;
- параметры алюминиевого сплава	3л А4;
- оборудование для исследования	4л А4;
- параметры формовочной смеси	2л А4;
- отливки	1л А4;
- образцы и шлифы	1л А4;
- структура сплава	1л А4
- влияние термообработки на свойства сплава	2л А4
- результаты исследования	2л А4.

Рекомендуемая литература:

1. **Технология металлов и сварка** [Текст]: учебник для вузов / П. И. Полухин [и др.]; под ред. П. И. Полухин. - М.: Высшая школа, 1977. - 464 с
2. **Материаловедение** [Текст]: учебник для вузов / Б. Н. Арзамасцев [и др.]; под ред. Б. Н. Арзамасцев. - М.: Машиностроение, 1976. - 384 с.
3. **Основы материаловедения** [Текст]: учебник для вузов / И. И. Сидорин [и др.]; под ред. И. И. Сидорина. - М.: Машиностроение, 1976. - 436 с.

Дата выдачи задания: 10.12.2019 г.

Руководитель ВКР:

к.т.н, доцент

 С.Н.Казанцев

Задание к исполнению принял студент

гр. 16МТ1

 А.А. Бокиев

10 декабря 2019 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

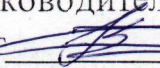
Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ПГУ

 С.Ю. Киреев

ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой
аттестации допустить

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»
Руководитель ВКР
к.т.н., доцент  С.Н. Казанцев
подпись
« 10 » - апреля 2020 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
на выпускную квалификационную работу
Студента гр. 16МТ1 Факультета машиностроения и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

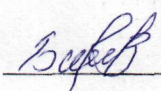
Бокиева Абдунаби Абдурахмоновича.

Тема работы: Влияние термической обработки на структуру и свойства алюминиевых сплавов.

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1 Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению ВКР.	10.02.20	13.02.20	
2 Подбор и изучение рекомендованной литературы.	14.02.20	29.02.20	
3 Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	01.03.20	05.03.20	
4 Литературный и патентный поиск по теме исследования. Теоретический анализ проблемы получения сегнетожестких пьезочувствительных материалов и их применения в производстве. Написание первого раздела работы.	06.03.20	15.03.20	
5 Обоснование применяемых методов исследования, оборудования, материалов, оснастки и планируемых экспериментов. Разработка программы эксперимента и его осуществление. Написание второго раздела работы.	16.03.20	31.03.20	
6 Экспериментальный раздел – описание результатов исследования и выявленных зависимостей. Написание третьего раздела.	01.04.20	21.04.20	
7 Завершение оформления пояснительной за-	22.04.20	26.05.20	

писки, схем и рисунков.			
8 Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	27.05.20	04.06.20	
9 Представление ВКР руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	04.06.20	14.06.20	
10 Предварительная защита ВКР	08.06.20	12.06.20	
11 Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с графической частью, протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	15.06.20	21.06.20	
12 Защита выпускной квалификационной работы	22.06.20	08.07.20	

Прохождение каждого этапа подготовки ВКР подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 16МТ1  А.А. Бокиев
 "10" февраля 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего
образования

«Пензенский государственный университет»

(ФГБОУ ВО «ПГУ»)

ОТЗЫВ

**РУКОВОДИТЕЛЯ О ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ
РАБОТЕ БАКАЛАВРА**

Студента группы 16МТ1 Бокиева Абдунаби Абдурахмоновича.

Тема ВКР: «Влияние термической обработки на структуру и свойства
алюминиевых сплавов».

Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии
материалов».

Профиль – «Материаловедение и технологии новых материалов».

Выпускная квалификационная работа содержит 60 с., 9 рис., 3 табл., 28
используемых источников, презентацию из 21 с.

Предмет исследования: структура и механические свойства алюминиевого
сплава.

Цель ВКР: определение влияния различных видов термической
обработки на структуру и свойства отливки из алюминиевого сплава.

Задачи работы: определение влияния искусственного старения без
предварительной закалки на структуру и механические свойства
алюминиевых сплавов, определение влияния термического процесса отжига
на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов, определение
влияния закалки с последующим стабилизирующим старением на структуру
и механические свойства алюминиевых сплавов.

В литейной практике для получения необходимых механических
свойств получаемого сплава применяют различные способы: изменяют
параметры литейной формы, условия заливки формы жидким расплавом,

характеристики заливаемого металла и литейной формы, воздействуют на условия кристаллизации сплава. Одним из универсальных методов воздействия на сплав является термическая обработка. Поэтому данная работа, посвященная исследованию влияния различных видов термической обработки на структуру и свойства отливки из алюминиевого сплава АК7ч, является актуальной. При этом она была выполнена по заданию литейного завода «Технолит», который осваивает выпуск изделий из этого сплава.

В выпускной квалификационной работе, в соответствии с исходными требованиями: выполнен литературный обзор; проведены практические эксперименты по изготовлению отливок – образцов; проведен анализ полученных результатов; определено влияние некоторых видов термообработки (отжиг, закалка, старение) на структуру и механические свойства сплава. Особенность ВКР заключается в экспериментальном подтверждении возможности улучшения характеристик алюминиевых отливок с помощью термической обработки. Эффективность полученных результатов выражается в возможности улучшения свойств алюминиевых отливок: снятие внутренних напряжений в отливках позволит стабилизировать размеры и предотвратить коробление деталей; повышаются механические и эксплуатационные характеристик отливок.

Бокиев А.А. во время выполнения ВКР добросовестно и своевременно выполнял поставленные задачи. Однако отмечается слабая подготовка при самостоятельной работе. Отличается спокойным и уравновешенным характером, пользуется авторитетом среди студентов и преподавателей.

ВКР Бокиева А.А. выполнена в срок, с учётом требований ГОСТ и ЕСКД. Считаю возможным допустить выпускную квалификационную работу к защите в ГАК.

Руководитель ВКР
К.т.н., доцент



С.Н. Казанцев

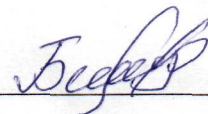
Ректору Пензенского
государственного университета
А.Д. Гулякову
студента 4 курса Факультета
машиностроения и транспорта
Бокиева Абдунаби
Абдурахмоновича
Тел: + 7 962 3993409

ЗАЯВЛЕНИЕ

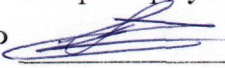
Я, Бокиев Абдунаби Абдурахмонович, студент 4 курса ФМТ направления подготовки 22.03.01 – «Материаловедение и технологии материалов» профиля подготовки «Материаловедение и технологии новых материалов», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» выпускной квалификационной работы на тему «Влияние термической обработки на структуру и свойства алюминиевых сплавов», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.



ВКР представлена на проверку 22.06.2020 г.

Руководитель ВКР  / С.Н. Казацев /



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе
Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Бокиев А.
Подразделение	СЛПИМ
Тип работы	Выпускная квалификационная работа
Название работы	ВКР Бокиев (1)VKR
Название файла	ВКР Бокиев (1).doc
Процент заимствования	44.29 %
Процент самоцитирования	0.00 %
Процент цитирования	3.43 %
Процент оригинальности	52.28 %
Дата проверки	00:26:56 23 июня 2020г.
Модули поиска	Модуль поиска ИПС "Адилет"; Модуль выделения библиографических записей; Сводная коллекция ЭБС; Модуль поиска "Интернет Плюс"; Коллекция РГБ; Цитирование; Модуль поиска переводных заимствований; Модуль поиска переводных заимствований по elibrary (EnRu); Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu); Коллекция eLIBRARY.RU; Коллекция ГАРАНТ; Коллекция Медицина; Диссертации и авторефераты НББ; Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU; Модуль поиска перефразирований Интернет; Коллекция Патенты; Модуль поиска "ПГУ"; Модуль поиска общепотребительных выражений; Кольцо вузов
Работу проверил	Дурина Т. А. ФИО проверяющего
Дата подписи	

Чтобы убедиться
в подлинности справки,
используйте QR-код, который
содержит ссылку на отчет.



Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

Подпись проверяющего

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 60 с., 9 рис., 3 таб., 28 использованных источников, 1 прил.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ, ОТЛИВКА, КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ, ОТЖИГ, ЗАКАЛКА, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, ТВЕРДОСТЬ, СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ИСКУССТВЕННОЕ СТАРЕНИЕ

Объектом исследования является алюминиевый сплав и способы воздействия на него.

Предметом исследования является структура и механические свойства алюминиевого сплава.

Целью работы является определение влияния различных видов термической обработки на структуру и свойства отливки из алюминиевого сплава.

Методы исследования – системный анализ, экспериментальный метод.

Область применения – литейное производство.

Эффективность полученных результатов выражается в повышении качества отливок и снижение брака.

					<i>ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ</i>						
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Влияние термической обработки на структуру и свойства алюминиевого сплава</i>	<i>Лит.</i>			<i>Лист</i>		<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Бокиев А.А</i>							<i>2</i>		
<i>Пров.</i>		<i>Казанцев С.Н</i>				<i>Каф. СЛПиМ, Гр. 16МТ1</i>					
<i>Т. Контр.</i>		<i>Казанцев А.А</i>									
<i>Н. Контр.</i>		<i>Хорин А.В.</i>									
<i>Утв.</i>		<i>Бокиев А.А</i>									

Содержание

Введение	5
1 Сплавы на основе алюминия	7
1.1 Характеристика алюминия	7
1.2 Алюминиевые сплавы деформируемые	9
1.3 Алюминиевые сплавы спеченные	12
1.4 Алюминиевые сплавы литейные	14
1.5 Термическая обработка сплавов	20
1.5.1 Термическая обработка сплавов, не связанная с фазовыми превращениями в твердом состоянии	22
1.5.2 Термическая обработка сплавов с переменной растворимостью компонентов в твердом состоянии	25
1.5.3 Термическая обработка алюминиевых сплавов	27
1.6 Цели исследований	32
2 Методика экспериментальных исследований	33
3 Исследование влияние вида термической обработки на структуру и свойства алюминиевого сплава	44
3.1 Отжиг алюминиевых сплавов	44
3.2 Закалка алюминиевых сплавов	48
3.3 Старение алюминиевых сплавов	50
Заключение	52
Список используемой литературы	54
Приложение А	57

Введение

Литейное производство остается основной заготовительной базой в современном машиностроении, так как позволяет получить изделия необходимой конфигурации, размеров и свойств непосредственно из расплава при минимальных затратах энергии, материалов и труда. Достоинство литейного производства также обуславливается универсальностью, позволяющей получить изделия из сплавов широкой номенклатуры, различной массой и размеров. Возможно получение изделий с высокими технологическими свойствами для работы в сложных условиях низких и высоких температур [1].

Практика технологии литейного производства в настоящее время позволяют получать изделия с высокими эксплуатационными свойствами. Отливки надежно работают в реактивных двигателях, атомных энергетических установках, реакторах, строительных конструкций, металлургических агрегатов, морских судов, узлов бытового оборудования, художественных и ювелирных изделий.

Современное литейное производство требует совершенствование традиционных и появлением новых способов литья, непрерывно повышающийся уровень механизации и автоматизации технологических процессов, специализации и централизации производства, создание научных основ проектирования литейных машин. Важнейшим направлением повышения эффективности является улучшение качества, надежности, точности и шероховатости отливок с максимальным приближением их к показателем готовых изделий путем внедрения новых технологических процессов и улучшения качества литейных сплавов [2].

Литейная технология реализуется различными способами. Так производство отливок по технологическим процессам составляет:

- литье в песчано-глинистые формы – 46,0 %;
- литье в формы из ХТС – 32,0 %;

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- литье в кокиль – 5,0 %;
- литье под давлением – 8,0 %;
- центробежное литье – 5,8 %;
- литье в оболочковые формы – 0,5 %;
- литье по выплавляемым моделям – 1,5 %;
- литье по газифицируемым моделям – 0,8 %;
- непрерывное литье – 0,8 %;
- другие технологии литья – 0,4 %.

Наибольший выпуск отливок в мировой литейной практике составляет в разовые литейные формы. Однако точность и чистота поверхности и некоторые технико-экономические показатели не отвечают современным требованиям. Поэтому все больше переходят от данной технологии к специальным способам литья, что способствует снижению трудозатрат и металлоемкости отливок, достижению более высоких механических и эксплуатационных свойств литых деталей. Наряду со специальными способами литья проводятся разработки методов воздействия не только на жидкий и кристаллизующий металл, но и готовую отливку [3]. Так как получить сразу отливку с заданными физическими и механическими свойствами не всегда получается, необходимы способы корректировки заданных свойств. При этом очень важен экономический фактор, так как на изготовление отливки уже потрачены средства и отправить ее в брак не выгодно. Целесообразно с помощью специальных технологий в любом случае получить необходимый результат.

Степень эффективности использования таких технологий зависит от марки сплава, размеров, сложности и назначения отливок. В связи с этим получили распространение разнообразные технологические процессы, отличающиеся специфическими приемами. Важным направлением развития литейного производства – устранение вредного воздействия на окружающую среду и улучшение условий труда [4].

1 Сплавы на основе алюминия

В настоящее время широкое применение в авиастроении, автомобилестроении, приборостроении находят алюминиевые сплавы, так как обладают рядом серьезных преимуществ по сравнению с другими металлическими материалами.

1.1 Характеристика алюминия

Чистый алюминий – металл серебристого белого цвета, располагается во второй группе периодической системы элементов. Алюминий обладает малой плотностью (от 2600 до 2700 кг/м³ в зависимости от температуры), хорошими теплопроводностью и электропроводимостью, высокой пластичностью (около 40 %), коррозионной стойкостью на воздухе, небольшой прочностью (около 80 МПа). Температура плавления составляет 660 °С [1].

В чистом виде алюминий применяется редко. Технический алюминий может иметь примеси Fe, Si, Cu, Zn, Ti, которые могут ухудшать его свойства. В зависимости от содержания железа первичный алюминий подразделяют на три класса: особой чистоты (с 0,001 % примесей), высокой чистоты (от 0,005 до 0,05 % примесей) и технической чистоты (от 0,15 до 1 % примесей). Механические свойства алюминия зависят от его чистоты и состояния. Увеличение содержания примесей повышают прочность и твердость алюминия.

Из-за низкой прочности алюминий применяют для изделий, работающих без нагрузок, и когда от материала требуется легкость, пластичность и коррозионная стойкость. Так, из него изготавливают рамы, двери, трубопроводы, фольгу, емкости, посуду и прочее. Благодаря высокой теплопроводности он используется для производства теплообменников в промышленных и бытовых холодильниках. Высокая электропроводимость алюминия способствует его широкому применению для изготовления конденсаторов, проводов, кабелей, шин.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Алюминий обладает высокой отражательной способностью, поэтому его используют для прожекторов, рефлекторов, экранов телевизоров. Он хорошо обрабатывается давлением и резанием, имеет большую усадку при затвердевании. Достаточно высокая температура плавления и теплоемкость способствуют медленному переходу алюминия из жидкого состояния в твердое, что дает возможность воздействовать на него с целью улучшения свойств отливки путем модифицирования, рафинирования и других технологических операций.

Алюминиевые сплавы характеризуют достаточно высокой удельной прочностью, хорошей технологичностью (обрабатываются давлением, свариваются сваркой, в основном хорошо обрабатываются резанием), способностью выдерживать инерционные и динамические нагрузки. Временное сопротивление алюминиевых сплавов достигает до 700 МПа при плотности не более 2850 кг/м³. По удельной прочности некоторые алюминиевые сплавы соответствуют высокопрочным сталям. Большинство алюминиевых сплавов имеют хорошую коррозионную стойкость (за исключением сплавов с медью), высокую теплопроводность и электропроводимость. Алюминиевые сплавы по пластичности не уступают многим пластмассам, а по стабильности свойств их превосходят.

Основными легирующими элементами алюминиевых сплавов являются Cu, Mg, Si, Mn, Zn; реже – Li, Ni, Ti. Многие легирующие элементы образуют с алюминием твердые растворы ограниченной переменной растворимости и промежуточные фазы (например – CuAl₂, Mg₂Si). Это дает возможность подвергать сплавы упрочняющей термической обработке. Она состоит из закалки пересыщенного твердого раствора и естественного или искусственного старения.

Легирующие элементы повышают температуру рекристаллизации алюминия и при кристаллизации они образуют с ним пересыщенные твердые растворы, которые при горячей обработке давлением распадаются с образованием тонкодисперсных частиц в интерметаллидных фаз,

препятствующих прохождению процессов рекристаллизации и упрочняющих сплавы. По этой причине некоторые алюминиевые сплавы имеют температуру рекристаллизации выше температуры закалки.

Конструкционная прочность алюминиевых сплавов зависит от примесей Fe и Si. Они образуют в сплавах нерастворимые в твердом растворе фазы. Независимо от формы (пластинчатая, игольчатая или другая) кристаллы этих фаз снижают пластичность, вязкость, сопротивление развитию трещин. Наиболее эффективным способом повышения конструкционной прочности является снижение содержания примесей с 0,7 % до 0,3 % (чистый сплав), а иногда и до сотых долей процента (сплав повышенной чистоты). Особенно значительно повышаются характеристики пластичности и вязкости разрушения в направлении, перпендикулярном пластическому деформации. Например, ударная вязкость сплава после естественного старения более чем в 2 раза, относительное удлинение в 1,5 раза. Сплавы повышенной чистоты используют для ответственных нагруженных деталей, например, для силовых элементов самолетов.

Алюминиевые сплавы классифицируют по технологии изготовления – деформируемые, литейные, спеченные, а по способности к термической обработке – упрочняемые и не упрочняемые.

1.2 Алюминиевые сплавы деформируемые

Деформируемые алюминиевые сплавы используются для изготовления лент в рулонах, листов, кругов-дисков, плит, полос, прутков, профилей, шин, труб, проволоки, поковок и штампованных поковок методом горячей или холодной деформации, а также слябов и слитков [3].

В зависимости от химического состава в соответствии с ГОСТ 4784–97 [4] их можно разделить на группы. Сплавы на основе системы Al-Mn (АМц) и Al-Mg (АМг) отличаются высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и высокой коррозионной стойкостью. Сплав АМц не упрочняется термической обработкой.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В отожженном состоянии сплав обладает высокой пластичностью и низкой прочностью. Пластическая деформация упрочняет сплавы почти в 2 раза.

Сплавы, содержащие до 7 % Mg, дают очень незначительное упрочнение при термической обработке. Вследствие этого сплавы АМг, как и АМц, упрочняют с помощью пластической деформации.

Однако применение наклепа ограничено из-за резкого снижения пластичности сплавов, поэтому их используют в отожженном состоянии. Сплавы АМц и АМг отжигают при температуре от 350 до 420 °С. При повышении содержания магния в структуре сплавов АМг увеличивается временное сопротивление от 110 МПа (АМг1) до 430 МПа (АМг6). Однако при этом снижается относительного удлинения с 28 до 16 %. Магний, кроме того, вызывает склонность окислению во время жидкого состояния, что приводит к появлению оксидных пленок в структуре и снижению механических свойств. Поэтому в сплавы с высоким содержанием магния (АМг6, АЛ27) для устранения склонности к окислению добавляют бериллий.

Сплавы типа АМц и АМг применяют для изделий, получаемых глубокой вытяжкой, сваркой и обладающих высокой коррозионной стойкостью (трубопроводы и емкости для бензина и масла, заклепок для корпусов судов, кузовов автомобилей, рам вагонов и прочее).

Сплавы группы Al-Cu-Mg (типичные представители группы дуралюмины). Они характеризуются хорошим сочетанием прочности и пластичности. Медь с алюминием образуют твердый раствор, который имеет объемно-центрированную тетрагональную кристаллическую решетку, обладающей сравнительно высокой твердостью. Дополнительное легирование магнием приводит к повышению прочности сплавов. Разница в свойствах особенно заметна после упрочняющей термической обработки, закалки и естественного старения. При закалке сплавы нагревают до 505 °С и затем охлаждают в воде при 40 °С. После закалке структура состоит из пересыщенного твердого раствора и нерастворимых фаз, образуемых примесями. При естественном старении происходит образование зон богатых

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

медью и магнием. Старение продолжается от 5 до 7 суток. Сплавы обладают хорошей пластичностью и менее чувствительны к напряжениям.

Детали, работающие при повышенных температурах (до 200 °С), подвергаются искусственному старению (190 °С, 10 часов). Важное практическое значение имеет начальный период старения (от 0,3 до 1 час), когда сплав сохраняет высокую пластичность и низкую твердость и позволяет проводить такие технологические операции по обработке давлением. Для проведения подобных операций естественно состаренные сплавы можно подвергнуть обработке, кратковременной выдержке сплава (от 1 до 2 минут) при температуре от 230 до 300 °С. Во время нагрева восстанавливается пластичность, свойственная сплавам непосредственно после закалки. Однако применение такого приема ограничено тем, что у тонкостенных изделий снижается коррозионная стойкость, а у толстостенных за короткое время выдержки восстановление пластичности не успевает произойти по всему сечению.

Дуралюмины широко применяют в авиационной автомобильной промышленности. Из них изготавливают лопасти воздушных винтов, шпангоуты, тяги управления, кузова автомобилей и другие.

Ковочные алюминиевые сплавы обладают хорошей пластичностью и стойки к образованию трещин при горячей пластической деформации. По химическому составу сплавы близки к дуралюминам, отличаясь более высоким содержанием кремния. Ковку и штамповку сплавов проводят при температуре от 450 до 475 °С после закалки и искусственного старения. Хорошей технологической пластичностью обладают сплавы с пониженным содержанием меди, но они имеют меньшую прочность. Их используют для средненагруженных деталей сложной формы: крыльчатки, фитинги, крепежные детали. Сплавы с повышенным содержанием меди хуже обрабатываются давлением, но более прочные и применяются для деталей, работающих под высокими нагрузками.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Высокопрочные алюминиевые сплавы отличаются высоким временным сопротивлением (от 600 до 700 МПа) и близким к нему по значению пределом текучести. Они относятся к системе Al-Zn-Mg-Cu и содержат добавки марганца, хрома или циркония. Эти элементы ускоряют распад твердого раствора, усиливают эффект старения сплава. Цинк, магний и медь образуют фазы, обладающие переменной растворимостью в алюминии. При температуре 480 °С эти фазы переходят в твердый раствор, который фиксируется закалкой. Наибольшее упрочнение вызывают закалка (475 °С) и старение (140 °С, 16 часов). После такой обработки сплавы имеют очень высокую прочность (от 560 до 600 МПа). Однако после указанной термической обработки сплавы имеют низкую пластичность и вязкость.

Для улучшения этих характеристик сплавы подвергают двухступенчатому старению. Сплавы применяют для высоконагруженных деталей конструкций, работающих в условиях напряженного сжатия (обшивки, шпангоуты, лонжероны самолетов).

1.3 Алюминиевые сплавы спеченные

Спеченные алюминиевые сплавы получают из алюминиевой пудры, состоящей из алюминия и ее окиси. На первом этапе специальную пудру подвергают брикетированию. В качестве пудры используют порошок, который получают путем распыления расплавленного алюминия высокой частоты. Полученный порошок измельчают в мельницах до размера меньше одного мкм. Во время тонкого помола в атмосферу процесса подают кислород для окисления мелких частиц и стеариновой кислоты для предотвращения образования комочков. Чем меньше размер частиц, тем больше их открытая поверхность и больше содержание окиси алюминия. На втором этапе готовые брикеты подвергают температурному нагреву и прессуют при высоком давлении на прессах.

Основу в структуре спеченных сплавов составляет алюминий с равномерно распределенными включениями окиси алюминия (Al_2O_3). Данные сплавы имеют высокую прочность, жаропрочность, коррозионную стойкость и стабильность свойств при высоких температурах. Высокая прочность достигается за счет близкого расстояния между частицами окисной фазы и наличием тесной связи между окисью и матрицей алюминия. Жаропрочность спеченных сплавов выше, чем у деформируемых алюминиевых сплавов. При этом при высоких температурах (до 500 °С) сохраняется стабильность структуры и прочность.

Спеченные сплавы получают также путем гранулированного пакетирования из частиц, отлитых со сверхвысокой скоростью кристаллизации. Частицы в виде гранул получают во время кристаллизации при высоких скоростях охлаждения от 10^3 до 10^6 °С/с. Данную скорость охлаждения получают различными методами. Наиболее популярным является способ распыления жидкого металла струей чистого нейтрального газа. Размер гранул колеблется от нескольких микрометров до нескольких миллиметров и зависит от давления газа и условий кристаллизации. Гранулы имеют очень мелкозернистую структуру и минимальную легкоустраняемую ликвацию. При высоких скоростях охлаждения во время кристаллизации сплава получают пересыщенные твердые растворы с концентрацией, в несколько раз превосходящей предельную растворимость компонентов в равновесных условиях.

В процессе технологических операций и горячего пакетирования сплавов (от 400 до 450 °С) из пересыщенного твердого раствора выпадают дисперсные частицы, которые увеличивают прочность при обычных и повышенных температурах. Большой интерес представляют гранулированные сплавы алюминия с элементами, практически нерастворимыми в нем в равновесных условиях и сильно отличающимися от алюминия по плотности. Тугоплавкие металлы (Fe, Ni, Co) эффективно упрочняют сплавы, а металлы Sr, Pb повышают антифрикционные свойств.

Физические свойства спеченных сплавов очень близки к свойствам алюминиевых сплавов. Они хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии, механическим резанием и удовлетворительно свариваются. Из них изготавливают изделия, работающих при высоких температурах и где требуется высокая прочность и коррозионная стойкость (поршневые штоки, лопатки турбин, конденсаторы, лопасти вентиляторов и прочее).

1.4 Алюминиевые сплавы литейные

Химический состав и механические свойства промышленных литейных алюминиевых сплавов определяется по ГОСТ 1583–93 [5]. Литейные алюминиевые сплавы классифицируются по химическому составу (Al-Si, Al-Cu и Al-Mg). Механические свойства алюминиевых сплавов представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Механические свойства алюминиевых сплавов

Марка сплава	Способ литья	Вид термообработки	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа	Относительное удлинение δ , %	Твердость, НВ
			не менее		
1	2	3	4	5	6
Группа I. Сплавы на основе Al-Si-Mg					
АК12 (АЛ2)	К	-	157	2,0	50
	Д	-	157	1,0	50
	К	T2	147	3,0	50
	Д	T2	147	2,0	50
АК9 (АЛ9)	З, В, К, Д, ПД	-	157	1,0	60
	К, Д, ПД	T1	196	0,5	70
	ЗМ, ВМ	T6	235	1,0	80
	К, КМ	T6	245	1,0	90
АК9ч (АЛ4)	З, В, К, Д, К, Д, ПД	-	147	2,0	50
	КМ, ЗМ	T1	196	1,5	60
	ЗМ, ВМ	T6	225	3,0	70
	К, КМ	T6	235	3,0	70
АК9пч (АЛ4-1)	З, В, К, Д	-	157	3,0	50
	К, Д, ПД	T1	196	2,0	70
	ЗМ, ВМ	T6	245	3,5	70
	К, КМ	T6	265	4,0	70

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
AK8л (АЛЗ4)	З	T5	294	2,0	85
	К	T5	333	4,0	90
	Д	-	206	2,0	70
	Д	T1	225	1,0	80
AK7 (АЛ7)	К	-	157	1,0	60
	К	T5	196	0,5	75
	Д	-	167	1,0	50
	ПД	-	147	0,5	65
AK7ч (АЛ9)	Д	-	167	1,0	50
	З, В, К, Д	T2	137	2,0	45
	КМ	T4	186	4,0	50
	К, КМ	T5	206	2,0	60
	ЗМ, ВМ	T5	196	2,0	60
	ЗМ, ВМ	T7	196	2,0	60
	ЗМ, ВМ	T8	157	3,0	55
	К	T6	235	1,0	70
	К	T7	196	2,0	60
AK7пч (АЛ9-1)	З, В	T5	235	4,0	60
	ЗМ, ВМ	T5	235	4,0	60
	К, КМ	T5	265	4,0	60
	ЗМ, ВМ	T6	274	2,0	70
	К, ВМ	T6	294	3,0	70
	Д	-	196	1,0	50
	Д	T2	167	2,0	45
	ЗМ, ВМ	T7	206	2,5	60
AK5M2	К	-	157	0,5	65
	З	T5	196	-	75
AK5M2	К	T5	206	0,5	75
	З	T8	147	1,0	65
	К	T8	176	2,0	65
	Д	-	147	0,5	65
Группа II. Сплавы на основе системы Al-Si-Cu					
AK5M (АЛ5)	З, В	T6	225	0,5	70
	З, В, К	T7	176	1,0	65
	К	T6	235	1,0	70
AK5Mч (АЛ5-1)	З, В, К	T1	176	1,0	65
	З, В,	T5	274	1,0	70
	К, КМ	T5	294	1,5	70
	З, В, К	T7	206	1,5	65
AK8M (АЛЗ2)	З	T5	235	2,0	60
	К	T5	255	2,0	70
	З	T7	225	2,0	60
	К	T7	245	2,0	60
	З	T1	176	0,5	60
	Д	T1	284	1,0	90
	Д	T2	235	2,0	60
AK5M4	З	-	118	-	60
	К	-	157	1,0	70
	К	T6	196	0,5	90

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
AK5M7	K	T1	167	-	90
	З	T1	147	-	80
	Д	-	118	-	80
AK8M3	K	-	147	1,0	70
	K	T6	216	0,5	90
AK8M3Ч (BAJ8)	K, ПД	T4	343	5,0	90
	K, ПД	T5	392	4,0	110
	Д	-	294	2,0	75
	Д	T5	343	2,0	90
	З	T5	345	1,0	90
	В	T5	345	2,0	90
					90
AK9M2	K	-	186	1,5	70
	Д	-	196	1,5	75
	K	T6	274	1,5	85
AK12MMг H (AJ30)	K	T1	196	0,5	90
	K	T6	216	0,7	100
AK12M2Mг H (AJ25)	K	T1	186	-	90
Группа III. Сплавы на основе системы Al-Cu					
AM5 (AJ19)	З, В, К	T4	294	8,0	70
	З, В, К	T5	333	4,0	90
	З	T7	314	2,0	80
AM4, 5Кд (BAJ10)	З, В	T5	392	7,0	90
	K	T5	431	8,0	100
	З, В	T6	421	4,0	110
	K	T6	490	4,0	120
	З	T7	323	5,0	90
Группа IV. Сплавы на основе системы Al-Mg					
AMг4K1,5 (AMг4K1,5 M1)	K	T2	211	2,0	81
	K	T6	216	2,3	104
AMг5K (AJ13)	З, В, К	-	147	1,0	55
	Д	-	167	0,5	55
AMг5Mц (AJ28)	З, В	-	196	4,0	55
	K	-	206	5,0	55
	Д	-	206	3,5	55
AMг6л (AJ23)	З, В	-	186	4,0	60
	K, Д	-	216	6,0	60
	З, К, В	T4	225	6,0	60
AMг6лч (AJ23-1)	З, В	-	196	5,0	60
	K, Д	-	235	10,0	60
	З, К, В	T4	245	10,0	60
AMг10 (AJ27)	З, К, Д	T4	314	12,0	750

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
АМг7 (АЛ29)	Д	-	206	3,0	60
Группа V. Сплавы на основе системы Al-прочие компоненты					
АК7Ц9 (АЛ11)	З, В	-	196	2,0	80
	К	-	206	1,0	80
	Д	-	176	1,0	60
	З, В, К	T2	216	2,0	80
АЦ4Мг (АЛ24)	З, В	-	216	2,0	60
	З, В	T5	265	2,0	70

Условные обозначения способов литья:

- З – литье в песчаные формы;
- В – литье по выплавляемым моделям;
- К – литье в кокиль;
- Д – литье под давлением;
- ПД – литье с кристаллизацией под давлением (жидкая штамповка);
- О – литье в оболочковые формы;
- М – сплав подвергается модифицированию.

Условные обозначения видов термической обработки:

- T1 – искусственное старение без предварительной закалки;
- T2 – отжиг;
- T4 – закалка;
- T5 – закалка и кратковременное (неполное) искусственное старение;
- T6 – закалка и полное искусственное старение;
- T7 – закалка и стабилизирующий отпуск.

Лучшими литейными свойствами обладают сплавы Al-Si (силумины). В двойных сплавах алюминия с кремнием эвтектика состоит из твердого раствора и кристаллов практически чистого кремния, в легированных силуминах (АЛ4 и др.) помимо двойной имеются более сложные эвтектики. Крупные кристаллы первичного кремния в структуре снижают прочность и пластичность сплава. Несмотря на повышение растворимости кремния в алюминии, двойные сплавы

не упрочняются термической обработкой, так как при высоких температурах увеличивается скорость распада твердого раствора, а также большой склонностью к коагуляции стабильных выделений кремния. Определяющим способом повышения механических свойств этих сплавов является измельчение структуры путем модифицирования. Силумины обычно модифицируют натрием в виде хлористых и фтористых солей, которые вводят в жидкий сплав. Натрий сдвигает эвтектическую точку в системе Al-Si в сторону большего содержания кремния. В результате эвтектический по составу сплав (АЛ2) становится до эвтектическим. В его структуре помимо мелкокристаллической эвтектики появляются первичные кристаллы мягкой пластичной фазы. Что приводит к увеличению пластичности и прочности. Для легирования силуминов также используют Mg, Cu, Mn, Tl, Ni, Zr, Cr. При растворении в алюминии они повышают прочность и твердость силуминов. Кроме этого, медь улучшает обрабатываемость резанием, титан оказывает модифицирующее действие. Медь и магний способствуют упрочнению силуминов при термической обработке, закалке и искусственное старение. Закалка проводится при температуре от 515 до 535 °С, искусственное старение в интервале от 150 до 180 °С. Для изменения структуры литейных алюминиевых сплавов требуется больше времени на нагрев под закалку (от 5 до 10 часов) при старении (от 10 до 20 часов). Из легированных силуминов средней прочности наибольшее применение нашли сплавы с добавками магния (АЛ9) и марганца (АЛ4). Легированные силумины применяют для изготовления деталей ответственного назначения (корпусов компрессора, картеров, головок цилиндров).

Плотность большинства силуминов (2650 кг/м^3) меньше плотности чистого алюминия (2700 кг/м^3). Они хорошо свариваются. Обрабатываются резанием только силумины, легированные медью.

Механические свойства зависят от химического состава, технологии изготовления отливки и термической обработки. В двойных силуминах с увеличением содержания кремния до эвтектического состава снижается пластичность и повышается прочность. Силумины обладают хорошими

литейными свойствами – высокая жидкотекучесть, малая усадка, низкая склонность к образованию горячих трещин и хорошая герметичность. Это объясняется наличием большого количества эвтектики в структуре этих сплавов.

Сплавы системы Al-Cu имеют структуру твердого раствора, но отличаются повышенным содержанием меди. Эвтектика в данной системе, в отличие от силуминов, образуется при высоком содержании меди (33 %), поэтому имеет большое количество твердой и хрупкой фазы (CuAl_2), вызывающей хрупкость эвтектических сплавов. Литейные и механические свойства сплавов алюминия с медью улучшаются в результате легирования титаном и марганцем (АЛ19). Марганец, образуя пересыщенный твердый раствор при кристаллизации из жидкого состояния, способствует значительному упрочнению сплава. Во время нагрева сплава под закалку из твердого раствора выпадают мелкодисперсные частицы, увеличивающие прочность при обычных и повышенных температурах. Сплавы алюминия с медью (АЛ7, АЛ19) характеризуются высокой прочностью при обычных и повышенных температурах, они хорошо обрабатываются механическим резанием и свариваются. Вместе с тем из-за отсутствия эвтектики сплавы обладают плохими литейными свойствами, имеют низкую герметичность.

Сплавы системы Al-Mg (АЛ8, АЛ27) обладают высокой коррозионной стойкостью, прочностью, вязкостью и хорошей обрабатываемостью резанием. Они не содержат в структуре эвтектики и поэтому характеризуются невысокими литейными свойствами, пониженной герметичностью и, кроме того, повышенной чувствительностью к Fe и Si, которые образуют в этих сплавах нерастворимые фазы, снижающие пластичность.

В жидком состоянии сплав подвержен быстрому окислению, чтобы предотвратить это, плавку и разливку двойных сплавов алюминия с магнием (АЛ8) проводят под защитными флюсами, легируют Be, Ti, Zr, которые не только устраняет их склонность к окислению и росту зерна, но и тормозят

естественное старение, вызывающее снижение пластичности и вязкости сплавов. Наилучшие механические свойства сплавы Al-Mg приобретают после закалки от 530 °С, когда весь магний находится в твердом растворе.

Сплавы систем Al-Mg применяют для изготовления деталей, работающих в условиях высокой влажности (в судостроении и самолетостроении), детали приборов, вилки шасси хвостового оперения, штурвалы и прочее.

1.5 Термическая обработка сплавов

Термическая обработка – это технологический процесс нагрева и охлаждения металлических материалов с целью изменения их структуры и свойств. Данному процессу подвергают слитки, отливки, паковки, полуфабрикаты, сварные конструкции, детали машин, инструменты и другие [2].

Виды термической обработки – отжиг, закалка, отпуск и старение. При этом каждый из видов имеет несколько разновидностей.

Отжиг – термическая обработка, в результате которой металлы или сплавы приобретают структуру, близкую к равновесной. Он приводит к разупрочнению металлов и сплавов, которое сопровождается повышением пластичности и снятием остаточных напряжений. Температура нагрева при отжиге зависит от рода сплава и разновидности отжига. Скорость охлаждения с температуры отжига находится в пределах от 30 до 200 °С /ч.

Закалка – термическая обработка, в результате которой в сплавах образуется неравновесная структура. Неравновесные структуры при термической обработке можно получить только том случае, когда в сплавах могут проходить превращения в твердом состоянии. Для этого сплав нагревают выше температуры фазового превращения в твердом состоянии и быстро охлаждают, чтобы не произошло равновесное превращение при охлаждении.

Конструкционные и инструментальные, сплавы закаливают для упрочнения. При закалке сплавы сильно упрочняются, особенно

претерпевающие в равновесных условиях эвтектоидное превращение. Прочность возрастает вследствие мартенситного фазового перехода или вследствие понижения температуры эвтектоидной реакции, приводящих к измельчению зерен. Значительного упрочнения сплава непосредственно после закалки не происходит, если в результате закалки при температуре 25 °С фиксируется состояние высокотемпературного твердого раствора. Окончательное упрочнение создается при повторном низкотемпературном нагреве или во время выдержки при температуре 25 °С.

В сплавах с особыми свойствами закалка позволяет изменить физические или химические свойства: увеличить удельное электрическое сопротивление или коэрцитивную силу, повысить коррозионную стойкость и др.

Отпуск и старение – вид термической обработки, в результате которой в предварительно закаленных сплавах происходят фазовые превращения, приближающие их структуру к равновесной. Сочетание закалки с отпуском или старением практически всегда предполагает получение более высокого уровня свойств (твердости, прочности, коэрцитивной силы, удельного электрического сопротивления и других) по сравнению с отожженным состоянием. После закалки получают пересыщенный твердый раствор, а при отпуске или старении распад пересыщенного твердого раствора.

Температуру и выдержку выбирают таким образом, чтобы при обработке не получалось равновесное состояние сплава. Скорость охлаждения практически не влияет на структуру и свойства сплавов.

Термин «отпуск» используют обычно применительно к сплавам, испытывающим при закалке полиморфное превращение (стали, двухфазные алюминиевые бронзы, некоторые сплавы на основе титана); термин «старение» – применительно к сплавам, не претерпевающим при закалке полиморфного превращения (сплавы на основе алюминия, никелевые сплавы и другие).

С целью определения возможности применения того или другого вида термической обработки для различных марок сплава, их можно разбить на следующие группы:

- сплавы, не имеющие фазовых превращений в твердом состоянии;
- сплавы с переменной растворимостью компонентов в твердом состоянии;
- сплавы с эвтектоидным превращением.

Все технологические процессы термической обработки состоит из трех стадий: нагрев, изотермическая выдержка и охлаждение.

1.5.1 Термическая обработка сплавов, не связанная с фазовыми превращениями в твердом состоянии

Такую обработку применяют, например, для уменьшения остаточных напряжений в изделиях, уменьшения внутрикристаллической ликвации в слитках или отливках [2]. Данные виды термической обработки являются разновидностями отжига: отжиг (нагрев), рекристаллизационный отжиг, диффузионный отжиг (гомогенизация). Состояние сплавов после теплового воздействия становится более равновесным. Многие технологические воздействия на обрабатываемые детали способствуют возникновению в них остаточных напряжений, которые уравниваются в объеме детали. Остаточные напряжения могут возникнуть в отливках и полуфабрикатах, неравномерно охлаждающихся после проката иликовки, в холоднодеформированных заготовках и прутках в процессе правки, в сварных соединениях и т. п. Остаточные напряжения очень опасны, так как могут вызвать деформацию деталей при обработке резанием или в процессе эксплуатации. Привести к преждевременному разрушению или короблению конструкции. При нахождении сплава в коррозионноактивной среде они вызывают склонность к растрескиванию. По величине остаточные напряжения могут достигать предела текучести.

Для уменьшения остаточных напряжений изделия нагревают. В результате чего предел текучести понижается, остаточные напряжения вызывают пластическую деформацию и снижаются до уровня предела

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

текучести металла. В стальных и чугуновых деталях значительное снижение остаточных напряжений происходит при температуре 450 °С, а при температуре 600 °С напряжения понижаются до очень малых значений. Время выдержки зависит от массы изделия и может достигать нескольких десятков часов. В сплавах на основе меди и алюминия уменьшение остаточных напряжений происходит при меньших температурах. В холоднодеформированных латунных отливках остаточные напряжения практически полностью снимаются при нагреве до 300 °С. По окончании выдержки изделия медленно охлаждают, чтобы не возникли новые напряжения. Скорость охлаждения зависит от массы и формы изделия, теплопроводности материала и составляет от 20 до 200 °С/ч. Нагрев деформированных полуфабрикатов или деталей выше температуры рекристаллизации называют рекристаллизационным отжигом, а в процессе выдержки происходит главным образом рекристаллизация. Скорость охлаждения при данном отжиге не влияет на результат, поэтому обычно охлаждение по окончании выдержки проводят на воздухе. Цель отжига – снижение прочности и восстановление пластичности сплава, получение определенной кристаллографической текстуры и получение заданного размера зерна. Рекристаллизационный отжиг часто используют в качестве межоперационной смягчающей обработки при холодной прокатке, волочении и других операциях обработки давлением. Температура отжига обычно на 200 °С выше температуры рекристаллизации. Рекристаллизационный отжиг может быть использован в качестве окончательной обработки изделий для улучшения свойств определенных направлений в деталях (магнитные свойства в трансформаторной стали, модуль упругости в некоторых пружинных сплавах).

В машиностроении и приборостроении широкое применение находят металлы и сплавы, не имеющие фазовых превращений в твердом состоянии (алюминий, медь, никель, ферритные и аустенитные стали, однофазные латуни и бронзы). В таких материалах регулирование размера зерен возможно только

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

при сочетании холодной пластической деформации с последующим рекристаллизационным отжигом.

Диффузионный отжиг (гомогенизация). Во время охлаждения расплава кристаллизация твердых растворов чаще всего протекает неравновесно, так как диффузионные процессы, необходимые для выравнивания концентрации растущих кристаллов по объему, отстают от процесса кристаллизации. В результате сохраняется неоднородность состава по объему: сердцевина кристаллов обогащена тугоплавким компонентом сплава, а наружные части кристаллов обогащены компонентом, понижающим температуру плавления сплавов. Диффузионным отжигом называют длительную выдержку сплавов при высоких температурах, в результате которой уменьшается ликвационная неоднородность твердого раствора. При высокой температуре протекают диффузионные процессы, не успевшие завершиться при первичной кристаллизации. Диффузионному отжигу подвергают слитки и отливки легированных сталей и многих алюминиевых сплавов. В сталях в результате диффузионного отжига достигается более равномерное распределение химических элементов в объеме зерен твердого раствора. При высоких температурах отжига создается более благоприятное распределение сульфидов. Диффузионный отжиг стальных слитков ведут при температуре от 1100 до 1300 °С с выдержкой от 20 до 50 часов. В слитках алюминиевых сплавов ликвация особенно нежелательна, в результате нее оси дендритов содержат меньше легирующих элементов, чем межосные пространства и границы зерен. Поэтому при охлаждении слитков вторичные кристаллы выделяются главным образом между осями дендритов и по границам зерен. Диффузионный отжиг алюминиевых сплавов проводят при температуре от 420 до 520 °С с выдержкой от 20 до 30 часов для устранения ликвации.

1.5.2 Термическая обработка сплавов с переменной растворимостью компонентов в твердом состоянии

Переменная растворимость компонентов в твердом состоянии дает возможность значительно улучшать свойства сплавов путем термической обработки. Это привело к широкому использованию этих сплавов (стареющих сплавов) в качестве конструкционных материалов повышенной прочности. Применяют стареющие сплавы на алюминиевой, медной, железной, никелевой, кобальтовой, титановой и других основах.

К термически упрочняемым относятся сплавы, в которых при охлаждении из твердого раствора выделяются вторичные кристаллы. При этом степень упрочнения тем выше, чем больше масса вторичных кристаллов в равновесном сплаве. В большинстве стареющих сплавов оптимальная дисперсная структура образуется в результате термической обработки, состоящей из закалки и старения. При закалке сплавы нагревают до температур, обеспечивающих распад вторичных кристаллов. Быстрым охлаждением с температуры закалки полностью подавляют процесс выделения вторичных кристаллов и в результате получают однофазный сплав. Пересыщение твердого раствора не значительно сказывается на повышении твердости и прочности.

Пересыщенный твердый раствор представляет собой неравновесную структуру с высоким уровнем свободной энергии. Поэтому твердый раствор будет распадаться, как только подвижность атомов окажется достаточно большой, и начнется процесс старения. Старение, происходящее при повышенных температурах, называют искусственным. В сплавах на основе низкоплавких металлов старение при температуре 25 °С в процессе выдержки после закалки называют естественным. При старении уменьшается концентрация пересыщающего компонента в твердом растворе; этот компонент расходуется на образование выделений. Тип выделений (кристаллическая структура), их размер и характер сопряженности с решеткой твердого раствора зависят от вида сплава и от условий старения (температура и время выдержки).

В большинстве сплавов при старении получают выделения нескольких типов. При любой перегруппировке атомов в твердом растворе необходимо преодолеть определенный энергетический барьер, величина которого называется энергией активации. Энергия активации зависит от того, насколько отличается пространственная решетка выделений от пространственной решетки основного твердого раствора. Чем больше различие решеток, тем выше энергия активации. С увеличением температуры повышается кинетическая энергия атомов, а с ней и вероятность преодоления более высокого энергетического барьера. При невысоких температурах старения зарождаются неравновесные выделения с более простой кристаллической структурой следующих типов:

- а) зоны Гинье-Престона (сокращенно зоны Г-П);
- б) кристаллы метастабильной фазы;
- в) кристаллы стабильной фазы.

Первая зона представляют собой весьма малые объемы твердого раствора с резко повышенной концентрацией растворенного компонента, сохраняющие решетку растворителя. Скопление растворенных атомов вызывает местное изменение периода решетки твердого раствора. При значительной разнице в размерах атомов первые зоны имеют форму дисков, толщина которых составляет несколько межатомных расстояний (диаметр от 10 до 50 нм). Диски закономерно ориентированы относительно пространственной решетки растворителя. При небольшом различии в атомных диаметрах компонентов, обогащенные зоны имеют форму сфер. Зоны Г-П затрудняют движение дислокаций, поэтому для прохождения через зону и окружающую ее область требуется приложить более высокое напряжение.

Метастабильные фазы (вторая зона) имеют иную пространственную решетку, чем твердый раствор, однако существует некоторое сходство в расположении атомов в определенных плоскостях, что вызывает образование когерентной границы раздела. Когерентная граница приводит к появлению переходной зоны с искаженной решеткой. Для метастабильных фаз характерна

высокая дисперсность, что значительно повышает сопротивление движению дислокаций.

Стабильная фаза (третья зона) имеет сложную пространственную решетку с пониженным числом элементов симметрии и с большим числом атомов в элементарной ячейке. Вторичные кристаллы со стабильной структурой выделяются в виде достаточно крупных частиц. Значительное различие кристаллической структуры твердого раствора стабильных кристаллов приводит к образованию некогерентной границы раздела и к минимальным искажениям решетки твердого раствора вблизи границы. При образовании стабильных кристаллов упрочнение сплава оказывается меньшим, чем при образовании зон Г-П и метастабильных когерентных кристаллов. Максимальное упрочнение сплава достигается при выделении зон Г-П.

Степень упрочнения при старении может быть очень высокой. Так, твердость и временное сопротивление дюралюминов при оптимальных условиях старения увеличиваются в 2 раза, в бериллиевых бронзах в 3 раза. Термическую обработку, приводящую к получению стабильной структуры, называют стабилизацией.

1.5.3 Термическая обработка алюминиевых сплавов

Алюминиевые отливки чаще всего подвергаются старению, закалке и отжигу [6].

Основные виды термической обработки алюминиевых сплавов в зависимости от химического состава сплава и назначения литых деталей бывают:

- Т1 – искусственное старение без предварительной закалки;
- Т2 – отжиг;
- Т3 – закалка;
- Т4 – закалка и естественное старение;

- T5 – закалка и частичное (неполное) искусственное старение;
- T6 – закалка и полное искусственное старение;
- T7 – закалка и стабилизирующий отпуск;
- T8 – закалка и смягчающий отпуск.

При искусственном старении без предварительной закалки (режим T1) происходит частичный распад твердого раствора, образовавшегося в процессе кристаллизации и последующего охлаждения отливки в литейной форме [7]. На результат влияет материал литейной формы. При литье в металлические формы появляется неравновесная кристаллизация сплавов, обуславливающая повышенное содержание легирующих элементов в твердом растворе и достигается эффект дисперсионного твердения. В результате временное сопротивление и твердость по Бринеллю увеличивается (на 35 %) по сравнению с отливками, полученными в разовую песчаную форму. Это в свою очередь способствует улучшению обрабатываемости отливок резанием. Иногда для повышения эффекта искусственного старения производят охлаждение затвердевшей отливки не в литейной форме и не на воздухе, в воде (эффект частичной закалки).

Сущность процесса термической обработки отжиг (режим T2) заключается в следующем. Если тело нагреть до температуры, при которой предел текучести становится меньше остаточных напряжений, то вследствие массового размножения и скольжения дислокаций происходит быстрое снижение напряжений до значения предела текучести и механизм пластической деформации сменяется механизмом ползучести, приводящим к постепенному затуханию релаксации напряжений. Термическая операция отжиг приводит к более равномерному перераспределению остаточных напряжений и уменьшению их значений в отливках. Максимальное снижение остаточных напряжений в алюминиевых отливках достигается при температурах отжига от 350 до 400 °С, хотя для стабилизации размеров литых деталей, например деталей автомобиля, достаточно провести отжиг при температуре от 230 до 300 °С, который уменьшает напряжения, возникающие

при литье, на необходимую величину. В результате отжига в алюминиевых отливках уменьшаются остаточные растягивающие напряжения, особенно опасные при объемно-напряженном состоянии. Это позволяет повысить допустимые внешние нагрузки на узлы и механизмы в процессе их эксплуатации, повышается сопротивляемость ударным нагрузкам, снижается склонность к хрупкому разрушению, межкристаллической коррозии, стабилизируются размеры изделий.

Термический процесс закалка (режим T4) для литейных алюминиевых сплавов происходит без полиморфных превращений и состоит в фиксировании состояния сплава при низкой температуре, характерного для более высокой температуры. Интервал закалочных температур определяется точками равновесного солидуса в предельной растворимости в твердом состоянии. В качестве закалочной среды для алюминиевых сплавов используют техническую воду при температуре от 20 до 100 °С. Закалку проводят в различных режимах в зависимости от требований, предъявляемых к деталям, быстрая закалка в холодной воде или масле, либо медленная в горячих средах. Отливки из алюминомagneзиевых сплавов закаливают в воде с температурой не ниже 80 °С, при более низкой температуре возникает опасность появления закалочных трещин.

При закалке литейных алюминиевых сплавов образуется пересыщенный твердый раствор. В результате из-за большей легированности матричного раствора повышается прочность, а ввиду полного или частичного перевода грубых и хрупких включений избыточной фазы в твердый раствор повышается пластичность сплавов. Основное назначение закалки подготовка литейных алюминиевых сплавов к последующему искусственному старению. Однако для алюминомagneзиевых сплавов закалка служит окончательной термической обработкой для получения высокой пластичности и стойкости против коррозии, гораздо большей, чем после искусственного старения.

При закалке с последующим искусственным старением (режимы T5 и T6) происходит распад пересыщенного твердого раствора, приводящий к высокому

дисперсионному твердению литейных алюминиевых сплав. Распад твердого раствора при искусственном старении протекает в несколько этапов. Сразу после закалки или в конце процесса в пересыщенном твердом растворе образуются скопления атомов легирующих элементов кластеров, рассеивающих электронные волны. В самом начале процесса размер кластеров очень мал, но через некоторое время кластеры начинают расти и вырастают настолько, что их можно обнаружить структурными методами. Эти зоны называют зонами Гинье-Престона, которые имеют такую же решетку, что и матричный раствор. Зоны Г-П относят ко второй фазе, находящейся в метастабильном равновесии с матричным раствором. В процессе искусственного старения сплавов зоны Г-П переходят промежуточные, а затем в стабильные фазы. Максимальный эффект упрочнения алюминиевых сплавов достигается на второй фазе этапа и на этапе выделения промежуточной фазы старения.

Во время закалки с последующим стабилизирующим старением (режим Т7) происходит значительный распад твердого раствора и большая коагуляция выделений, чем при старении по режимам Т5 и Т6. Целью стабилизирующего старения является получение структуры, обеспечивающей стабильность свойств и размеров изделий. Детали, предназначенные для длительной службы при повышенных температурах, подвергают отпуску при температуре более высокой, чем обычно, так как при длительной активной эксплуатации изделия в нем начинают протекать структурные изменения, приводящие к разупрочнению и изменению свойств.

Закалка с последующим смягчающим отпуском (режим Т8) вызывает при распаде твердого раствора активную коагуляцию частичек вторых фаз, так называемых фазупрочнителей. Коагуляция этих фазупрочнителей уменьшает прочность при существенном возрастании пластичности, гораздо больше чем у деталей, прошедших искусственное старение по режимам Т5 и Т6.

Разработаны различные режимы термической обработки для литейных алюминиевых сплавов. Для нагрева под закалку отливок из

сложнолегированных сплавов рекомендуется применять ступенчатые режимы, обеспечивающие постепенный переход фазупрочнителей в твердый раствор.

Одним из перспективных методов термической обработки цветных сплавов является термоциклическая обработка (ТЦО). ТЦО проводится не при постоянной температуре нагрева, а на сплав оказывается многократное (до 10-15 раз) воздействие температуры при нагреве и охлаждении. С помощью ТЦО у сплавов типа силумина значительно улучшаются прочностные и пластические свойства. Так при изготовлении высокоточных деталей космических приборов из алюминиевого сплава после отжига (режим Т2) детали дополнительно подвергают стабилизирующей термоциклической обработке, состоящей из чередующихся циклов нагрева и охлаждения до минусовой температуры.

Нижняя температура цикла при ТЦО должна быть на 20 °С ниже самой низкой температуры эксплуатации изделия, в которое входит данный узел, и составляет от 40 до 190 °С. Верхняя температура цикла должна на 30 °С превышать максимальную температуру эксплуатации детали и должна быть не ниже 100 °С. Для стабилизации достаточно проведения трех циклов.

Обработка заканчивается нагревом деталей до верхней температуры цикла. ТЦО может применяться не только для обработки детали, но для снятия напряжений в уже собранных узлах, детали которых могут быть изготовлены из различных по химическому составу материалов, иметь разные по сложности конструкции и размеры сечений.

Для термической обработки отливок из алюминиевых сплавов применяют различные нагревательные агрегаты: воздушно-циркулярные агрегаты, рециркуляционные установки типа печи аэродинамического подогрева (ПАП), шахтные печи с принудительной циркуляцией и другие. В нагревательных установках типа ПАП генератором тепла служит ротор центробежного вентилятора со специальными профилированными лопатками. Нагрев осуществляется за счет механической энергии вращающихся лопаток, создающих поток воздуха, движущегося с большой скоростью в замкнутом

объеме. Тепло отливкам передается за счет конвективного теплообмена, что обеспечивает высокую равномерность температуры по всему объему печи и обеспечивает быстрый нагрев изделий.

1.6 Цель и задачи исследования

Анализ литературных источников показал, что для получения необходимых механических свойств получаемого сплава применяют различные способы: изменяют параметры литейной формы, условия заливки формы жидким расплавом, характеристики заливаемого металла и литейной формы, воздействуют на условия кристаллизации сплава. Однако применение многих методов ограничено техническими трудностями, снижением производительностью труда, увеличением брака отливок и резким повышением стоимости литья.

Поэтому очень важно подобрать способ, который бы позволял получить необходимые механические свойства сплава с минимальными материально-техническими затратами, исправлял брак литья и был универсален для различных типов отливок.

Целью исследований данной работы является:

- исследование влияния различных видов термической обработки отливок на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов.

Задачами исследования являются:

- определение влияния искусственного старения без предварительной закалки на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов;
- определение влияния термического процесса отжига на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов;
- определение влияния закалки с последующим стабилизирующим старением на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов.

2 Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные работы проводились в лабораториях Пензенского политехнического института на кафедрах «Сварочное, литейное производство и материаловедение» и «Контроль и испытания материалов».

Исследование влияния различных видов термической обработки отливок на структуру и механические свойства сплавов проводили на алюминиевом сплаве АК7ч (АЛ9) [5]. Химический состав сплава АК7ч: Al – основная часть; Si – от 6 до 8 %; Mg – от 0,2 до 0,4 %.

Сплав АК7ч относится к 1 группе марок литейных алюминиевых сплавов. С целью улучшения физико-механических свойств и изменения структуры сплавов в него добавляются легирующие химические элементы (кремний, марганец, магний). Широкое распространение в производстве нашли сплавы Al–Si и Al–Si–Mg, которые имеют хорошие технологические свойства. Двойная эвтектика Al-Si (от 40 до 75 %) каркасно-матричного типа позволяет получить хорошие литейные свойства – высокую текучесть сплава, низкую литейную усадку и низкую склонность к образованию горячих трещин и пористости, что повышает герметичность отливок.

Технологические и механические свойства сплава АК7ч [4]:

- температура плавления – 550 °С;
- температура кристаллизации – от 600 до 569 °С;
- температура литья – от 690 до 760 °С;
- линейная усадка – 1 %;
- временное сопротивление разрыву – 137 МПа;
- относительное удлинение – 2 %;
- свариваемость и коррозионностойкость – хорошая;
- склонность к газовому насыщению – высокая.

Для расплавления алюминиевых сплавов использовали электрическую плавильную печь СШОЛ 60/12, которая предназначена для термического нагрева и расплавления цветных металлов (рисунок 2.1).

Техническая характеристика плавильной печи:

- максимальная температура нагрева – 1230 °С;
- электрическая мощность – 21 кВт;
- масса загрузки (алюминий) – 10 кг;
- диапазон регулирования температуры – от 300 до 1200 °С;
- габаритные размеры – 0,9×0,9×1,3 м;
- масса печи – 280 кг.

Электрическая плавильная печь сопротивления состоит из металлического корпуса, огнеупорной керамической футеровки, нагревательной камеры, электрического нагревателя, отводящей запорной крышки, блока управления, устройство для контроля температуры. Сварной корпус выполнен из металлического уголка, закрытый листовой углеродистой сталью. Внутри корпус покрыт футеровкой из огнеупорных шамотных материалов в виде блоков и плит. На стенках по всему периметру нагревательной камеры, по всей высоте, установлены на керамических трубках спиральные нагреватели из тугоплавкого материала. Металлическая шихта загружается в тигель, который устанавливается внутрь печи. Температура в нагревательной камере печи контролируется термопарой и автоматически регулируется в зависимости от технологического процесса плавки, значение которой выводится на табло. Полость камеры сверху плотно закрывается отводной крышкой с двухслойной футеровкой. Установка режимов плавки и их контроль производится с помощью блока управления. После плавки тигель с жидким расплавом с помощью специальных захватов вынимается из печи.



Рисунок 2.1 – Плавильная электрическая печь СШОЛ 60/12-Т

Данный плавильный агрегат имеет ряд достоинств [9]:

- сохранение качества расплава на длительное время в полости печи;
- низкий угар химических элементов расплавляемого материала;
- эффективное использование электроэнергии;
- низкий уровень теплового и шумового воздействия на окружающую среду;
- удобство при обслуживании и ремонте;
- низкие потери тепловой энергии в атмосферу и на аккумуляцию в футеровке;
- быстрый разогрев и эффективная работа печи за счет высококачественной теплоизоляции;
- современные блоки управления с микропроцессорными регуляторами-программаторами и цифровой индикацией температуры.

Получение жидкого расплава осуществлялось следующим образом. Для получения сплава АК7ч использовали следующий состав шихты [10]:

- чушковый алюминий АК7ч – 3 %;

- возврат собственного производства – 48 %;
- лом алюминиевый – 49 %.

Шихтовые материалы проходили предварительную обработку. Лом измельчали до необходимого размера, а литники очищали от пригоревшей смеси. Материалы взвешивали на настольных весах модели ВТ-50. Общая масса шихты составляла 8 кг, соответственно компонентов шихты чушковый алюминий АК7ч – 0,24 кг, возврат собственного производства – 3,84 кг, лом алюминиевый – 3,92 кг. Часть шихтовых материалов (70 %) загружалось в подготовленный тигель с плотной упаковкой. Использовали металлический тигель, который внутри футерован огнеупорной смесью на основе огнеупорной глины. Перед использованием тигель подвергался сушке до полного высыхания в сушильной камере. Тигель с шихтой при открытой крышке устанавливался в центре нагревательной камеры. Крышка плотно закрывала люк и фиксировалась с помощью доводчика. На блоке управления устанавливали значение температуры (900 °С), которая будет автоматически поддерживаться в полости камеры при расплавлении сплава. По мере расплавления сплава объем металла в тигле уменьшался, и в него догружали оставшуюся часть шихты. В процессе плавки контролировалась температура расплава с помощью термопары типа ТХК на основе термических электродов хромель-копель [11]. После расплавления сплава и достижения необходимой температуры от 660 до 690 °С тигель с помощью специальных захватов вынимали из печи. С поверхности зеркала расплава убирали литейной ложкой шлак и окислы. Перед заливкой делали контрольный замер температуры сплава.

Литейную форму изготавливали из песчано-глинистой смеси. Формовочную смесь для алюминиевого литья приготавливали из формовочных материалов следующего состава [12]:

- кварцевый песок марки 2К₁ О₃ 02 [13] – 4 %;
- бентонит ТУ 4191-001-5856178-02 – 2 %;
- отработанная смесь из литейной лаборатории – 94 %;

– вода производственная [14] (свыше 100 %) – 4 %.

Формовочную смесь приготавливали на лабораторных смешивающих бегунах модели 018М (представлен рисунок 2.2), которые состоят из следующих механизмов: основания, неподвижной чаши, центральной тумбы, двух катков, плужков, днища, электромеханического привода, крышки, шиберной заслонки [15]. Катки установлены на подпружиненных кронштейнах центральной тумбы и двигаются с помощью вертикального вала, который вращается от электромеханического привода, состоящего из электродвигателя и зубчатой конической передачи. Между днищем чаши и катками имеется регулируемый зазор для прохождения компонентов смеси. Плужки закреплены на кронштейнах и направлены на катки.

Исходные формовочные материалы в соответствии с составом общей массой 5 кг взвешивали на настольных весах модели ВТЦ-10 и загружали в полость чаши при открытой крышке, которая в процессе приготовления смеси закрывается. Процесс приготовления проходил в два этапа. На первом этапе в течение 1 минуты перемешивали сухие компоненты, на втором добавляли воду и перемешивали материалы в течение 3 минут. Приготовление формовочной смеси происходит под действием давления катков и разрыхления плужков. При помощи плужков формовочные материалы перемешивают и направляют под катки, которые оказывают на них определенное давление. Готовый замес выгружается из смесителя через разгрузочное окно в днище чаши [16].



Рисунок 2.2 – Смешивающие катковые бегуны

Готовая формовочная смесь подвергалась контролю по следующим параметрам: сырая прочность на сжатие, текучесть и газопроницаемость [17]. Процесс определения параметров проводился следующим образом [18]. Изготавливали стандартный образец (диаметр и высота 50 мм) на лабораторном копке модели Т.У 2. Газопроницаемость определяли на приборе модели 042, а сырую прочность на сжатие на универсальном приборе модели 084М2. Текучесть формовочной смеси определяли с помощью пробы Г.М. Орлова. Влажность формовочной смеси определяли в соответствии с технологической методикой [19].

Формовочная песчано-глинистая смесь имела следующие механические свойства:

- сырая прочность на сжатие – $0,41 \text{ кг/см}^2$;
- текучесть – 72 %;
- газопроницаемость – 90 ед;
- влажность – 4 %.

Исследования влияния термической обработки на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов проводили на образцах, изготовленных с использованием модельного комплекта (148×50мм) [20] (показано на рисунок 2.3).

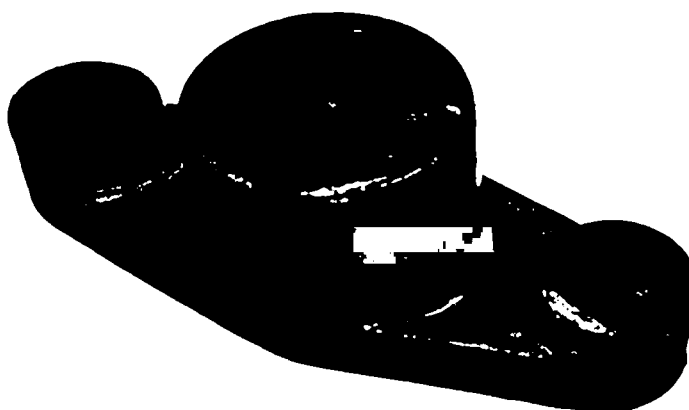


Рисунок 2.3 – Модель для изготовления образцов

Образцы изготавливали в литейных формах, которые получали на встряхивающей формовочной машине модели 91271 (рисунок 2.4).

Техническая характеристика формовочной машины модели 91271 [21]:

- размер опок – до $500 \times 400 \times 150$ мм;
- грузоподъемность – 155 кг;
- давление воздуха – 0,6 МПа;
- давление прессования – 62,5 Кн;
- габаритные размеры – $1,76 \times 1,06 \times 1,56$ м;
- масса машины – 1,3 т.

Формовочная машина состоит из литого корпуса, установленного на жестком фундаменте, прессового механизма, внутри которого располагается встряхивающий механизм, формовочный стол, гидравлического штифтового механизма для протяжки модельного комплекта, неподвижной стойки, поворотной траверсы с регулируемой прессовой плитой, пневматической системы, пульта управления.

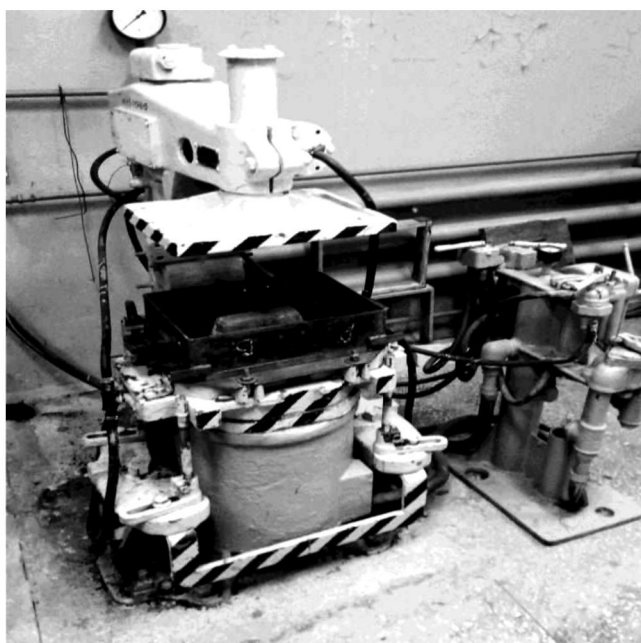


Рисунок 2.4 – Формовочная машина мод. 91271

Формовочная машина работает следующим образом [22]. В исходном положении траверса с прессовой плитой отведена в сторону. На формовочном столе укрепляется модельная плита. Ее рабочая поверхность покрывается разделительным составом (графитовая присыпка) и на нее с помощью штырей устанавливается опока и наполнительная рамка. В них засыпается определенное количество формовочной смеси. С начала уплотнение смеси осуществляют с помощью встряхивающего механизма, производя 35 ударов. В результате уплотняются нижние слои полуформы. Поверхностная твердость уплотненной смеси должна составлять не менее 75 единиц. Для определения поверхностной твердости используем твердомер модели 071 [23]. Верхние слои полуформы уплотняем прессованием, для чего с помощью траверсы поворачиваем прессовую плиту на позицию формовки. Прессовой механизм поднимает опоку в сторону прессовой плиты, которая давит на смесь и уплотняет ее. Процессы встряхивания и прессования может проходить последовательно или одновременно. После окончания процесса уплотнения осуществляется процесс извлечения модельного комплекта из полуформы помощью штифтового механизма [24] (представлено на рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Литейная полуформа для получения образцов

Литейная форма, состоящая из двух полуформ и без стержней, устанавливалась на заливочный участок. Для предотвращения подъема верхней полуформы во время заливки, форму нагружали грузом. Заливку расплава в литейную форму проводили с помощью одноручного ковша. Окончание заливки фиксировали по появлению расплава в выпоре. Время заливки фиксировали с помощью секундомера, оно составило 4 секунды. После охлаждения литейной формы, ее разрушали и доставали отливки. От отливки отделяли литниковую систему и с ее поверхности удаляли приставшую формовочную смесь. Образцы зачищали на наждачном станке и готовили к термической обработке.

Термическую обработку образцов проводили в камерной электрической печи модели СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И2М, которая предназначена для термической обработки материалов при температуре до 1100 °С.

Техническая характеристика нагревательной печи:

- номинальная мощность – 2,2 кВт;
- напряжение питающей сети – 220 В;
- частота – 50 Гц;
- номинальная температура в рабочем пространстве – 1100 °С;
- время разогрева до номинальной температуры (без садки) – до 60 мин;
- стабильность температуры (при установившемся режиме) – 2 °С;
- рабочий диапазон регулирования температуры – от 400 до 1100 °С;
- размеры рабочего пространства – ширина 160 мм, длина 250 мм, высота 100 мм;
- габаритные размеры – ширина 415 мм, длина 570 мм, высота 500 мм;
- масса – 38 кг.

Электрическая нагревательная печь (рисунок 2.6) состоит из металлического корпуса, в верхней части которого расположена нагревательная камера, в нижней части – электрическая управляющая аппаратура [25]. Рабочее пространство нагревательной камеры представляет

собой муфель, на боковых стенках и своде которого расположены полуоткрытые электрические спиральные нагреватели, изготовленные из тугоплавкого материала. Загрузка и выгрузка изделий, подвергающихся термической обработке, производится через загрузочное окно в передней части печи, которое закрывается теплоизолированной дверцей. Контроль и автоматическое регулирование температуры в нагревательной камере осуществляется микропроцессорным регулятором по сигналам термического преобразователя (термопары), установленного в задней стенке нагревательной камеры. В автоматической системе управления, кроме установки режима термообработки, предусмотрена автоматическая система безопасности. Отключение нагрева при обрыве термопары и при температуре выше номинального, устанавливаемого потребителем для конкретного технологического процесса термообработки значения, на заданную величину. Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала при открывании дверцы электропечи автоматически обесточиваются нагреватели. Образцы на специальном поддоне направляли в нагревательную камеру печи, устанавливали соответствующий режим и подвергали термической обработке.

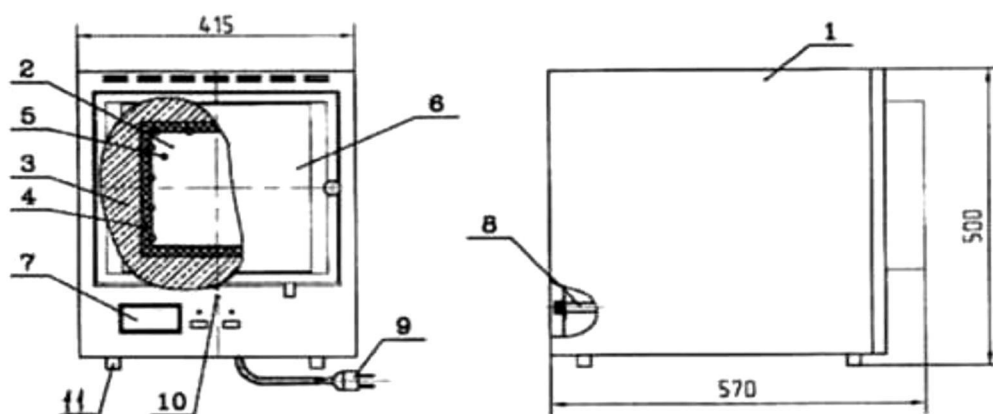


Рисунок 2.6 – Электрическая нагревательная печь: 1 – металлический корпус; 2 – нагревательная камера; 3 – тепловая изоляция; 4 – нагреватели; 5 – задняя стенка; 6 – дверка; 7 – управляющий блок; 8 – предохранительное устройство; 9 – электропитание; 10 – сигнализатор; 11 – опорные вставки

После термической обработки из образцов изготавливали шлифы диаметром 20мм [26] (рисунок 2.7) по специализированной методике [27] для определения структуры твердости сплава.



Рисунок 2.7 – Шлиф для определения структуры и твердости сплава

Структуру сплава изучали с помощью микроскопа модели Мим-7, твердость определяли на твердомере модели ТК-2 [28].

3. Исследование влияние вида термической обработки на структуру и свойства алюминиевого сплава

Термическая обработка сплава позволяет повысить физико-механические свойства (твердость, пластичность и другие), убрать внутренние напряжения, стабилизировать параметры изделий. Для алюминиевых сплавов широкое распространение получили три вида термообработки: отжиг, закалка и старение. Алюминиевые образцы после предварительной подготовки подвергали всем указанным видам термической обработки и сравнивали с параметрами образцов без термической обработки.

3.1 Отжиг алюминиевых сплавов

Алюминиевые сплавы подвергаются отжигу в случае, когда возникающая по определенным причинам неравновесная структура обуславливает появление нежелательных механических свойств, на пример снижается пластичность. Имеются три разновидности неравновесных состояний алюминиевых сплавов. Первое неравновесное состояние свойственно литым сплавам. Скорость охлаждения отливки превышают скорость охлаждения, необходимые для равновесной кристаллизации сплава. В результате по границам дендритных ветвей образуются хрупкие интерметаллидные ободки, которые снижают пластичность литых сплавов. Особенно это относится к высоколегированным высокопрочным сплавам. Второе неравновесное состояние вызвано пластической деформацией. Третье неравновесное состояние является результатом термической обработки. Особенность такого состояния - присутствие в сплаве пересыщенного легирующими компонентами твердого раствора на основе алюминия. Все эти разновидности неравновесных структур могут быть устранены отжигом. После отжига изменяются механические свойства, в частности повышается пластичность (хотя другие свойства в зависимости от исходного состояния меняются по-разному). Процессы,

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

происходящие при отжиге литого, деформированного и предварительно термически обработанного материала, различны, поэтому необходимо выбирать и разные режимы отжига. В соответствии с этим различают три разновидности отжига: гомогенизационный отжиг отливок, рекристаллизационный отжиг (полный или неполный) деформированных изделий, отжиг термически упрочненных сплавов с целью разупрочнения. Гомогенизация – разновидность отжига, которую широко применяют для отливок и деформируемых алюминиевых сплавов. В технологическом процессе производства деформированных полуфабрикатов гомогенизация проводится в качестве первой термической обработки. Отливки с неоднородной структурой подвергают гомогенизации, для получения более равномерной структуры, что способствует повышению пластичности. В ряде случаев гомогенизация позволяет также улучшить свойства деформированных изделий. Для массивных отливок, межзеренное окисление которых происходит лишь в тонком поверхностном слое, гомогенизацию проводят при температуре выше температуры плавления неравновесной эвтектики. Правильно выбранный режим гомогенизации позволяет уменьшить склонность некоторых сплавов к коррозии под напряжением. Отжиг также позволяет в алюминиевых сплавах снять остаточные напряжения (нагрев до 300 °С). Рекристаллизационный отжиг проводится между операциями холодной деформации или между горячей и холодной деформацией изделий. В некоторых случаях его используют в качестве окончательной термической обработки, на пример когда изделие должно отличаться низкой прочностью в сочетании с высокой пластичностью. При нагреве деформированных сплавов до определенной температуры, в них начинается процесс образования и роста новых зерен с обновленной кристаллической структурой (плотность дислокаций уменьшается на несколько порядков). Все свойства сплава в результате рекристаллизации меняются в направлении, обратном тому, в каком они менялись при холодной деформации, т.е. прочность и твердость снижаются.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На литом образце делали с помощью штангенциркуля контрольные замеры размеров отливки А, В и С (рисунок 3.1).

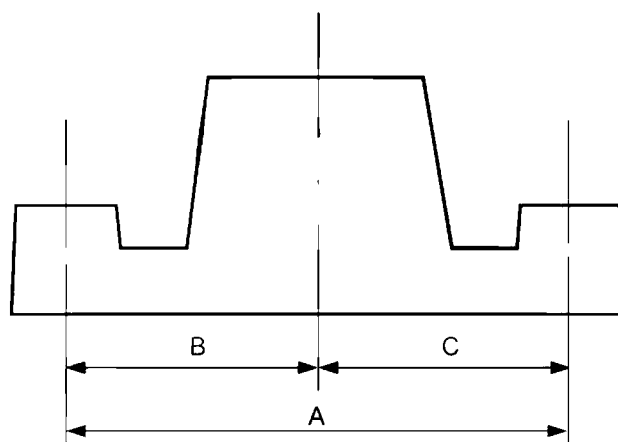


Рисунок 3.1 – Литой образец: А – межосевой размер; В и С межцентровый размер

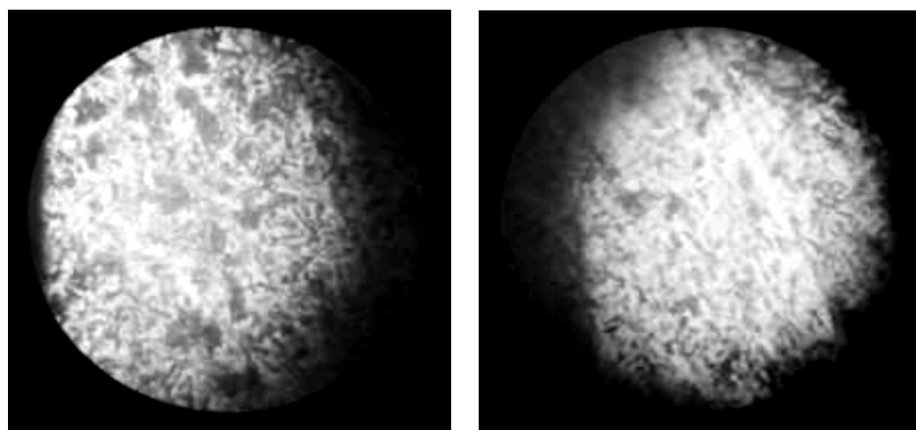
Отжиг образцов проводили в камерной электрической печи модели СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И2М. Образцы на специальном поддоне устанавливали в нагревательную камеру, плотно закрывали дверку и с помощью терморегулятора устанавливали необходимую температуру. Отливки нагревались вместе с печью, достигнув оптимальной температуры отжига 375 °С, выдерживались в ней течении 3 часов. После выдержки образцы вынимали из печи и охлаждали на воздухе. Проводили замеры контрольных размеров в отливке. Результаты замеров контрольных размеров представлены в таблице 3.1. Они показывают, что после отжига размеры уменьшились. Это свидетельствует о том, что снизился общий уровень внутренних напряжений.

Таблица 3.1 – Параметры образцов

Условия обработки	Размер, мм		
	А	В	С
Без термообработки	124,6	52,7	51,9
С термообработкой (отжиг)	122	51,5	50,8

Из образцов изготавливали шлифы (приведено на рисунок 2.7) по специализированной методике [27] для определения структуры сплава.

Структура сплава отливки без термической обработки представлена на рисунке 3.2а и после термической обработки на рисунке 3.2б



а) $\times 50$

б) $\times 50$

Рисунок 3.2 – Структура сплава: а – без термической обработки; б – после термической обработки – отжиг

Структура сплава в обоих вариантах состоит из эвтектики твердого раствора и кристаллов чистого кремния. Помимо мелкокристаллической эвтектики наблюдаются кристаллы мягкой пластичной фазы. В структуре сплава образца без термообработки (рисунок 3.2а), зерна имеют более крупные размеры и неоднородную форму, наблюдается также игольчатая форма зерен. Видны темные пятна, свидетельствующие о низкой плотности металла в этих местах, что снижает твердость сплава. При затвердевании сплава в литейной форме кристаллизация происходит по всему объему. Жидкий металл состоит из крупных скоплений с ориентированным расположением. Деления и роста кристаллов из-за выделяемой скрытой температуры кристаллизации не происходит. Поэтому получается крупнозернистая структура сплава с неоднородным расположением зерен (представлена на рисунок 3.2а). При наличии в отливке крупных и мелких тепловых узлов нарушается процесс затвердевания. Мелкие узлы затвердевают быстрее и в результате усадочных процессов в кристаллической решетке образуются напряжения, которые не исчезают и в затвердевшем сплаве.

В процессе термического воздействия на сплав структура изменяется. Структура сплава образца, подвергнувшегося термической обработке (представлена на рисунок 3.2б), мелкозернистая и более однородная по объему отливки. Так как при нагреве до температуры, при которой предел текучести становится меньше остаточных напряжений, происходит быстрое снижение напряжений вследствие массового размножения дислокаций и механизм ползучести приводит к постепенному затуханию напряжений к делению кристаллов и их перераспределению. В объеме сплава возникают большое число мелких скоплений с ориентированным расположением, образуя в дальнейшем мелкозернистую структуру (представлена на рисунок 3.2б). Образуется более плотная структура с мелким строением зерен. В результате уменьшаются остаточные объемно растягивающиеся напряжения. Что позволяет повысить сопротивляемость усталости и межкристаллической коррозии, стабилизировать размеры и предотвратить коробление деталей.

Более плотная структура с мелким зерном, полученная при термической обработке, позволяет также получить более высокие механические свойства. Так результаты замеров твердости на приборе ТК-2 показали, что твердость сплава, полученного без термической обработки составляет HB 42 (замеры – 38, 41, 44), а с термической обработкой (отжиг) HB 50 (замеры – 49, 50, 51). При этом твердость сплава после термической обработки стала не только выше, но и более равномерно распределена по объему отливки. Это позволит повысить внешние нагрузки на детали в процессе их эксплуатации, сопротивляемость ударным нагрузкам, снизить склонность к хрупкому разрушению.

3.2 Закалка алюминиевых сплавов

Цель закалки – получить в сплаве твердый раствор с максимальным содержанием легирующих элементов. Такая структура создает хорошие условия для дальнейшего упрочнения старением. В алюминиевых сплавах наиболее распространенный вид фазовых превращений, в котором при нагреве

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист 48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

интерметаллидные фазы растворяются в алюминии, а при охлаждении вновь выделяются из твердого раствора. Поэтому закалка возможна только для алюминиевых сплавов, содержащих компоненты, растворимость которых в твердом алюминии возрастает с температурой. Если в состав сплавов входят только компоненты, практически нерастворимые в твердом алюминии – закалка таких сплавов невозможна. Закалка алюминиевых сплавов заключается в нагреве их до температуры, при которой легирующие компоненты полностью или частично растворяются в алюминии, выдержке при этой температуре и быстром охлаждении до низкой температуры (10 °С). Содержание легирующих компонентов в твердом растворе после закалки значительно превышает их предельную равновесную концентрацию при комнатной температуре, т.е. при комнатной температуре твердый раствор пересыщен. 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. 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, касающиеся выбора температуры гомогенизации, полностью относятся к выбору температуры нагрева под закалку литейных алюминиевых сплавов. Выдержка при температуре нагрева под закалку должна обеспечить растворение интерметаллидных фаз, поэтому она зависит от величины частиц и характера их распределения. В отливках интерметаллидные фазы находятся в виде довольно грубых эвтектических включений. Поэтому время выдержки при температуре нагрева под закалку для литейных сплавов составляет несколько часов или даже десятками часов, в отличие от деформируемых сплавов, где оно измеряется десятками минут. Охлаждение при закалке следует проводить с такой скоростью, при которой распад твердого раствора в процессе охлаждения еще не происходит.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Закалку образцов проводили в камерной электрической печи модели СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И2М. Образцы на специальном поддоне устанавливали в нагревательную камеру, плотно закрывали дверку и с помощью терморегулятора устанавливали необходимую температуру. Отливки нагревались вместе с печью, достигнув оптимальной температуры отжига 535 °С, выдерживались в ней в течение 6 часов. После выдержки образцы вынимали из печи и охлаждали. В качестве закалочной среды применяли воду с температурой 30 °С. После закалки образцы выдерживали на воздухе в течение двух суток, что соответствует естественному старению, и измеряли твердость сплава. Так результаты замеров твердости на приборе ТК-2 показали, что твердость сплава, полученного с термической обработкой – закалкой с последующим естественным старением составила НВ 58 (замеры – 55, 57, 60). При этом твердость сплава после закалки и естественного старения стала больше, чем у образцов без термической обработки и после отжига.

3.3 Старение алюминиевых сплавов

Старение представляет собой выдержку закаленного сплава при невысоких температурах, при которых происходят структурные изменения. Перенасыщенность твердых растворов в закаленных алюминиевых сплавах обуславливает их повышенную свободную энергию. Распад твердого раствора приближает структуру сплава к равновесной, т.е. ведет к уменьшению свободной энергии системы. Во многих закаленных алюминиевых сплавах подготовительные стадии распада начинаются во время нахождения отливок в естественных условиях, без нагрева при температуре от 0 до 30 °С. В некоторых алюминиевых сплавах распад начинается лишь при нагреве закаленного сплава до температуры от 100 до 200 °С. Смысл этого нагрева – термическая активация диффузионных процессов. Выдержка закаленных алюминиевых сплавов в естественных условиях, приводящая к определенным

изменениям структуры и свойств, называется естественным старением. Нагрев закаленных алюминиевых сплавов до относительно невысоких температур (от 100 до 200 °С) и выдержка при этих температурах (в пределах от нескольких десятков часов) называется искусственным старением. Естественное и низкотемпературное искусственное старение связано с весьма тонкими изменениями структуры, которые очень обнаруживаются в световом и в электронном микроскопе. При выборе режима старения (температура и время), как правило, исходят из условия обеспечения максимальной прочности. Температура старения на максимальную прочность для различных алюминиевых сплавов колеблется от 20 до 200 °С.

Искусственное старение образцов проводили следующим образом. Образцы нагревали в камерной электрической печи модели СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И2М до температуры 180 °С и выдерживали в течение 4 часов. После тепловой обработки, образцы охлаждали на воздухе при температуре 20 °С. Результаты замеров твердости сплава на приборе ТК-2 показали, что твердость сплава, полученного с термической обработкой – искусственное старение составила НВ 47 (замеры – 46, 48, 48). Твердость сплава после искусственного старения стала выше, чем у литого образца в исходном состоянии (таблица 3.1). Это приведет к улучшению обрабатываемости отливок резанием. Результаты использования естественного старения после закалки приведены в главе 3.2.

Все виды термической обработки алюминиевого сплава привели к изменению структуры и механических свойств (приведено в таблице 3.2).

Таблица 3.2 – Влияние вида термической обработки на твердость сплава

Марка сплава	Без термообработки	Отжиг	Закалка	Искусственное старение
1	2	3	4	5
АК7ч	42	50	58	47

Однако каждый метод термической обработки целесообразно применять в зависимости от технической необходимости.

Заключение

Анализ литературных источников показал, что для получения необходимой структуры и физико-механических свойств (твердость, пластичность, прочность и другие) сплава, снятия внутренних остаточных напряжений, стабилизации размеров отливок применяют различные методы термической обработки: естественное и искусственное старение, отжиг, закалка с искусственным и стабилизирующим старением. Для каждой марки алюминиевого сплава устанавливается оптимальный метод термической обработки, который позволяет при минимальных затратах получить мелкозернистую структуру с необходимыми механическими свойствами.

Исследования показали следующие результаты:

- термическая обработка сплава влияет на качество отливки;
- у отливки с помощью термической обработки – отжиг уменьшились внутренние остаточные растягивающие напряжения, так контрольные размеры отливки уменьшились на 2,2 %. Снятие внутренних напряжений позволит повысить сопротивляемость усталости и межкристаллической коррозии, стабилизировать размеры и предотвратить коробление деталей;
- отливки после термической обработки – отжиг имеют мелкозернистую структуру, зерна имеют более однородную форму и равномернее распределены по объему отливки. Это положительно сказывается на механических свойствах отливки;
- твердость сплава отливки после отжига увеличилась с 42 НВ до 50 НВ на 18 %, что обеспечит лучшие эксплуатационные свойства;
- твердость сплава после закалки с последующим естественным старением повысилась на 29 % и составила 58 НВ, что способствует повышению прочностных характеристик;

– твердость сплава после искусственного старения повысилась до 47 НВ, что способствует повышению прочности и, как следствие, улучшению условий для механической обработки резанием.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ4.05.ПЗ	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список используемой литературы

1. **Технология металлов и сварка** [Текст]: учебник для вузов / П. И. Полухин [и др.]. – М.: Высшая школа, 1977. – 464 с.
2. **Материаловедение** [Текст]: учебник для вузов / Б. Н. Арзамасцев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976. – 384 с.
3. **Основы материаловедения** [Текст]: учебник для вузов / И. И. Сидорин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976. – 436 с.
4. **Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые** [Текст]: ГОСТ4784–97. - Введ. 2000-07-01. – М.: Стандартиформ, 2009. – 26 с.: ил.
5. **Сплавы алюминиевые литейные. Технические требования** [Текст]: ГОСТ1583–93. – Введ. 1997–01–01. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 24 с.: ил.
6. **Цветное литье** [Текст]: справочник / Н.М. Галдин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
7. **Специальные способы литья** [Текст]: справочник / В.А.Ефимов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.
8. **Малеров, А.И. Печи литейных цехов** [Текст]: учеб. для вузов / А.И.Малеров. – М.: Машиностроение, 2014. – 256 с.
9. **Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении** [Текст]: В.М Воздвиженский [и др.]. – М.: Машиностроение, - 1984. – 432 с.
10. **Исследование свойств литейных сплавов** [Текст]: метод. указания к лаб. работам / В.В. Спасский [и др.]. – Пенза: Изд-во ППИ, 1982. – 32 с.
11. **Телегин, А.С. Теплотехника и нагревательные устройства** [Текст]: учеб.для техникумов / А.С. Телегин, В.Г. Авдеева. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
12. **Формовочные и стержневые смеси** [Текст]: Ю.Ф. Боровский [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1980. – 86 с.
13. **Пески формовочные. Общие технические условия** [Текст]: ГОСТ2138– 91. – Введ. 1993–01–01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 25 с.: ил.

					<i>ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ</i>	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

14. **Водоснабжение. Термины и определения** [Текст]: ГОСТ 25151–82. – Введ. 1983–07–01. – М.: Изд- во стандартов, 2000. – 6 с.
15. **Зайгеров, И.П. Оборудование литейных цехов** [Текст]: учеб. для вузов / И.П. Зайгеров. – Минск: Высшая школа, 1980. – 368 с.
16. **Оборудование литейных цехов** [Текст]: методич. указание / С.Н. Казанцев, А.В. Семушкин, Н.В. Стешкина – Пенза, из-во ПГУ, 2011 – 51 с.
17. **Технология литейного производства: Формовочные и стержневые смеси** [Текст]: учеб. пособие / С. С. Жуковский [и др.]. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2003. – 470 с.
18. **Технология литейного производства. Литье в песчаные формы** [Текст]: учебник / А.П. Трухов [и др.]. – М.: Академия, 2005. – 528 с.
19. **Формовочные материалы** [Текст]: метод. указ. к выпол. лаб. работ/О.Н. Голотенков [и др.]. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2009. – 71 с.
20. **Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размера** [Текст]: ГОСТ 3212–92. – Введ. 1993–07–01. – М.: Изд - во стандартов, 2004. – 28 с.: ил.
21. **Справочник по литейному оборудованию** [Текст]: В. Я. Сафронов. – М.: Машиностроение, 1985. – 320 с.
22. **Матвеевко, И.В. Оборудование литейных цехов** [Текст]: учеб. для вузов / И.В. Матвеевко. – М.: Машиностроение, 1997. – 510 с.
23. **Литейное производство** [Текст]: учеб. для вузов / А.М Михайлов [и др.]. -2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
24. **Зайгеров, И.П. Оборудование литейных цехов** [Текст]: учеб. для вузов / И.П. Зайгеров. – Минск: Высшая школа, 1980. – 368 с.
25. **Сатановский, Л.Г. Нагревательные и термические печи в машиностроение** [Текст]: монография / Л.Г. Сатановский, Ю.А. Мирский. – М.: Металлургия, 1971. – 384 с.
26. **Процессы технологические литейного производства. Термины и определения** [Текст]: ГОСТ 18169–86. – Введ. 1987–01–07. – М.: Изд- во стандартов, 1986. – 12 с.

27. **Материаловедение** [Текст]: метод. указания к лаб. работам / В.С. Барабашин [и др.]. – Пенза: Изд-во ПГТУ, 1997. – 42 с.

28. **Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю** [Текст]: ГОСТ 9012–59. – Введ. 1960–01–01. – М.: Стандартиформ, 2007. – 30 с.: ил.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ4.05.ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение А

					ПГУ.ВКР.22.03.01.16МТ405.ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



**ФГБОУ ВО ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Факультет машиностроения и транспорта

Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Выпускная квалификационная работа

Тема «Влияние термической обработки на структуру и свойства алюминиевых сплавов»

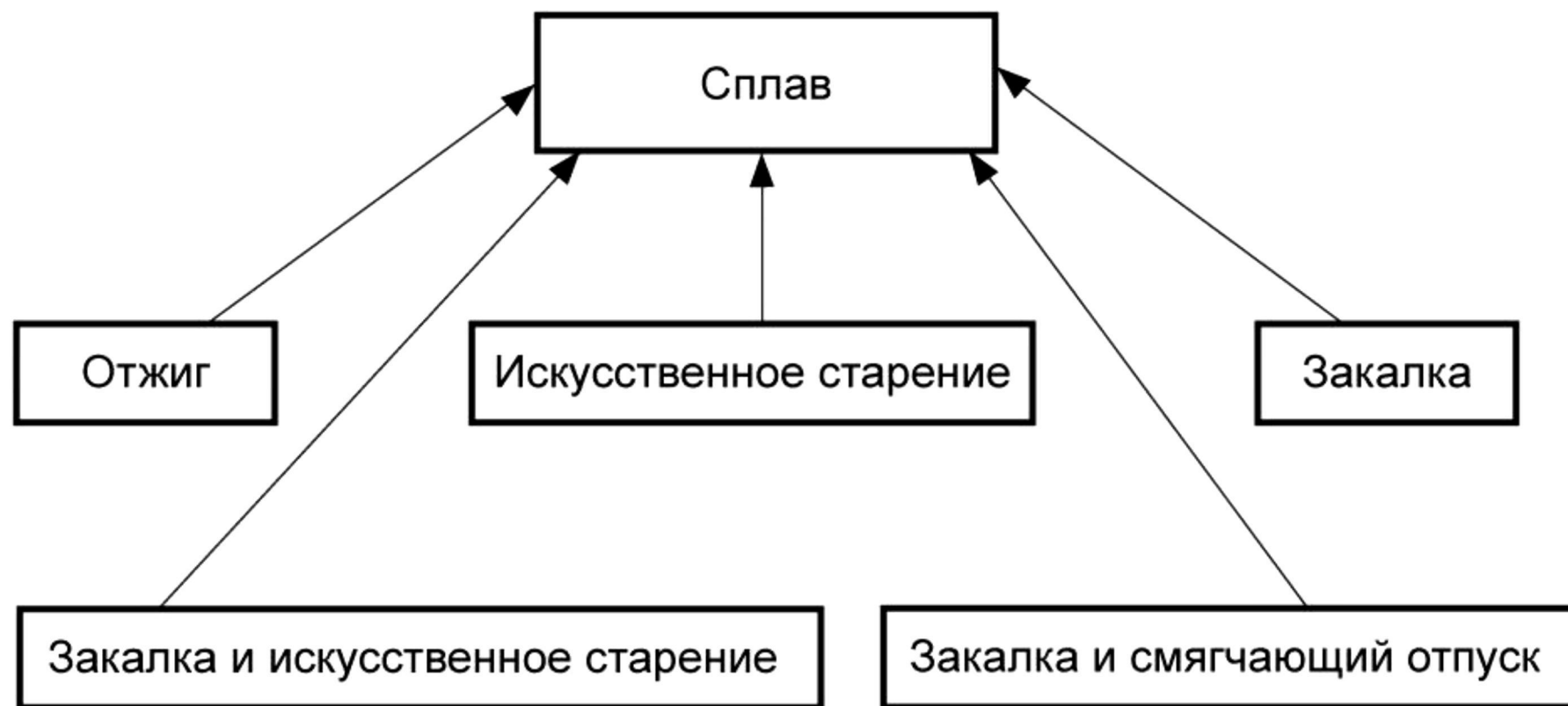
Выполнил: ст-т гр. 16МТ1 Бокиев А.

Научный руководитель:

доцент каф. «СЛПиМ» Казанцев С.Н.

Пенза, 2020 г.

Виды термической обработки алюминиевых сплавов



Цель и задачи выпускной квалификационной работы

Цель: Исследование влияния различных видов термической обработки отливок на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов.

Задачи:

1. Определение влияния искусственного старения без предварительной закалки на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов.
2. Определение влияния термического процесса отжига на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов.
3. Определение влияния закалки с последующим стабилизирующим старением на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов.

Химический состав АК7ч

Марка сплава	Al	Mg, %	Si, %	Примеси, %
1	2	3	4	5
АК7ч	Основа	0,2...0,4	6,0...8,0	4,6

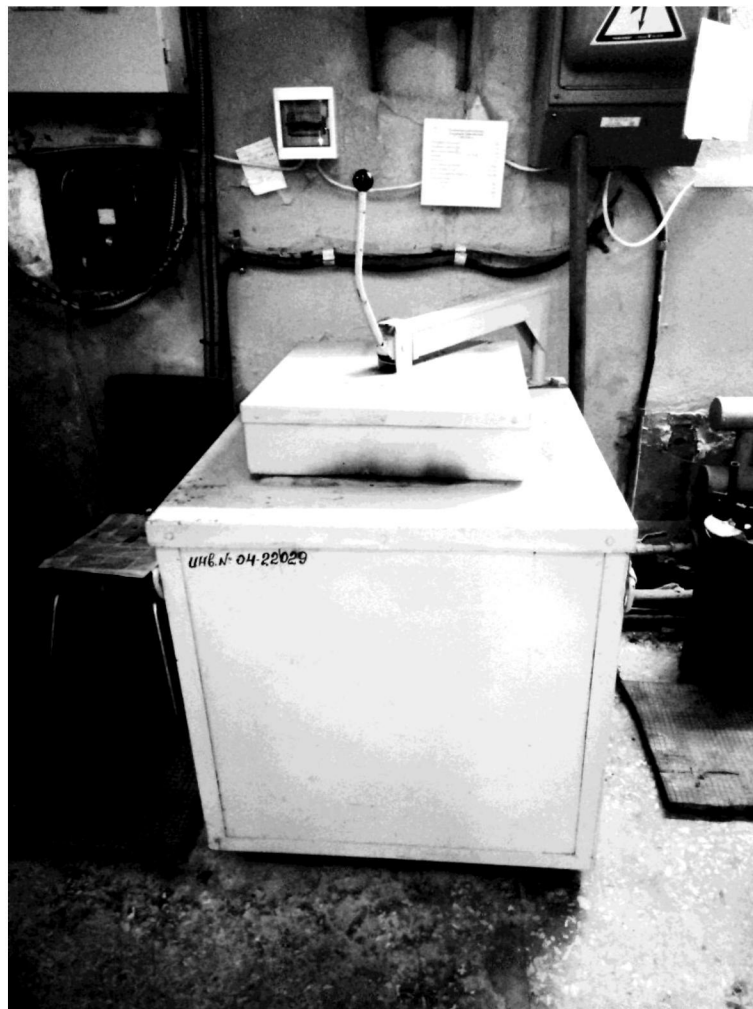
Свойства алюминиевого сплава АК7ч

№ п/п	Наименование свойства	Кол-во
1	2	3
1	Временное сопротивление разрыву, МПа	137,0
2	Относительное удлинение, %	2,0
3	Твердость, НВ	45,0
4	Линейная усадка, %	1,0

Состав шихты для АК7ч

№ п/п	Наименование компонента	Количество компонента	
		%	кг
1	2	3	4
1	Возврат собственного производства	48,0	3,8
2	Лом алюминиевый	49,0	3,9
3	Чушковый алюминий	3,0	0,3

Плавильная печь



Электрическая печь сопротивления

Состав формовочной смеси

№ п/п	Наименование компонента	Количество компонента*	
		%	кг
1	2	3	4
1	Отработанная смесь	94,0	4,7
2	Кварцевый песок	4,0	0,2
3	Бентонит	2,0	0,1

* Влажность смеси 4 процента

Свойства формовочной смеси

Метод приготовления	Время приготовления, сек	Предел прочности, Па*10 ⁵	Газопроницаемость, ед.	Текучесть, %
1	2	3	4	5
На смешивающих бегунах	240,0	0,41	90,0	72,0

Катковый смеситель



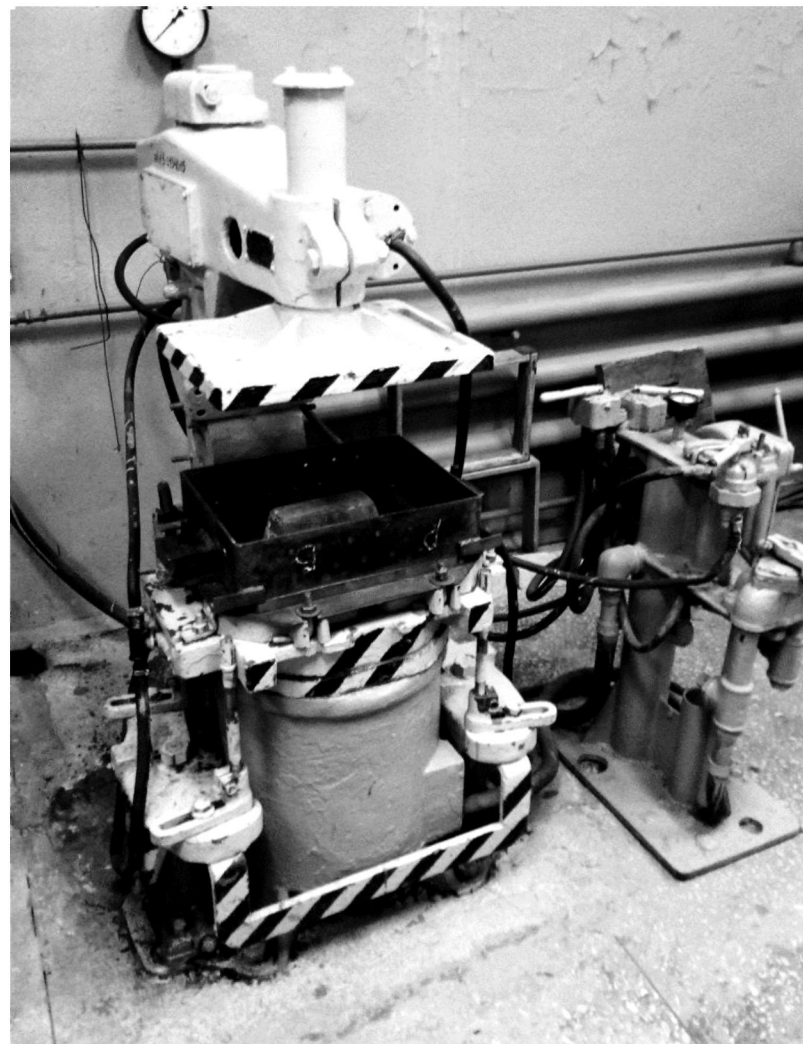
Смешивающие бегуны

Модельная оснастка



Модель образца (148x50мм)

Формовочная машина



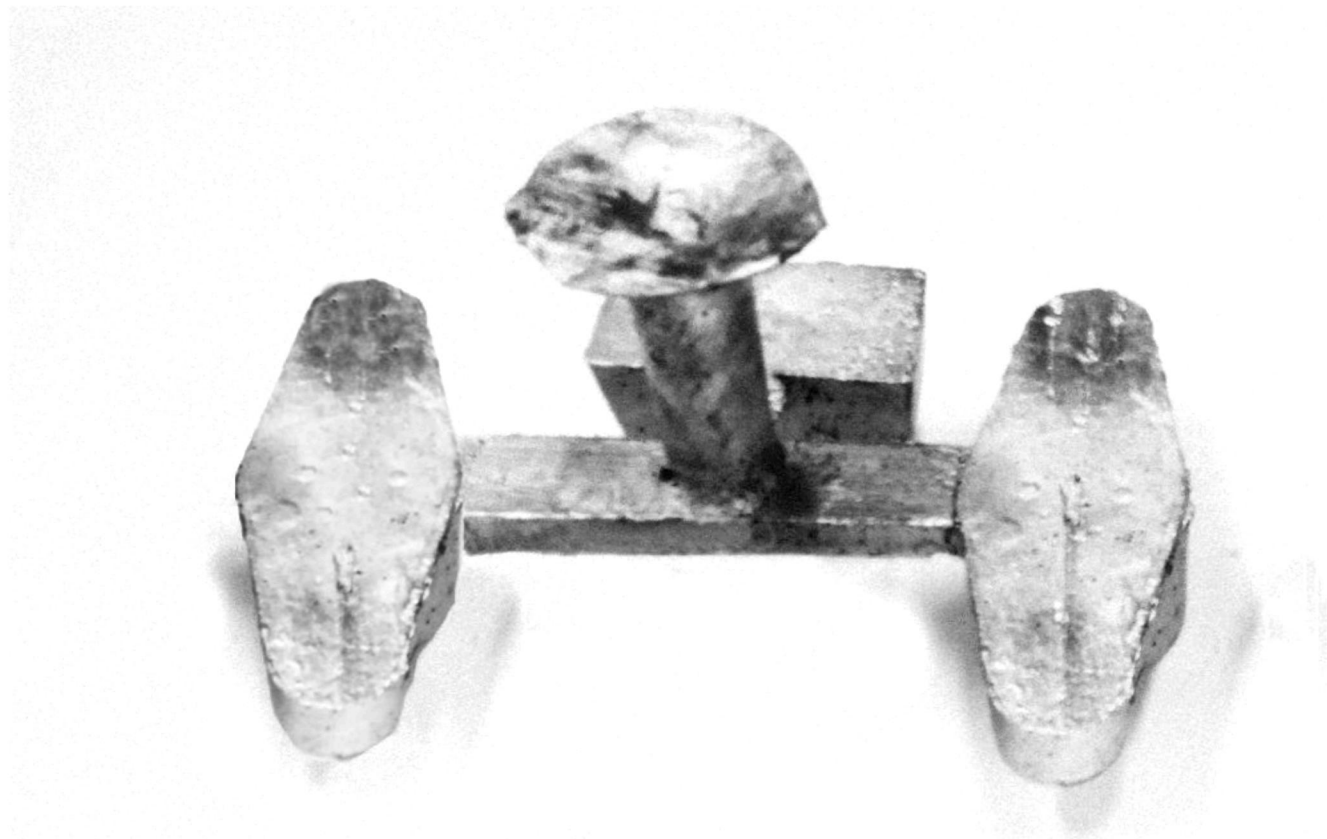
Мод. 91271

Размещение отливок в литейной форме

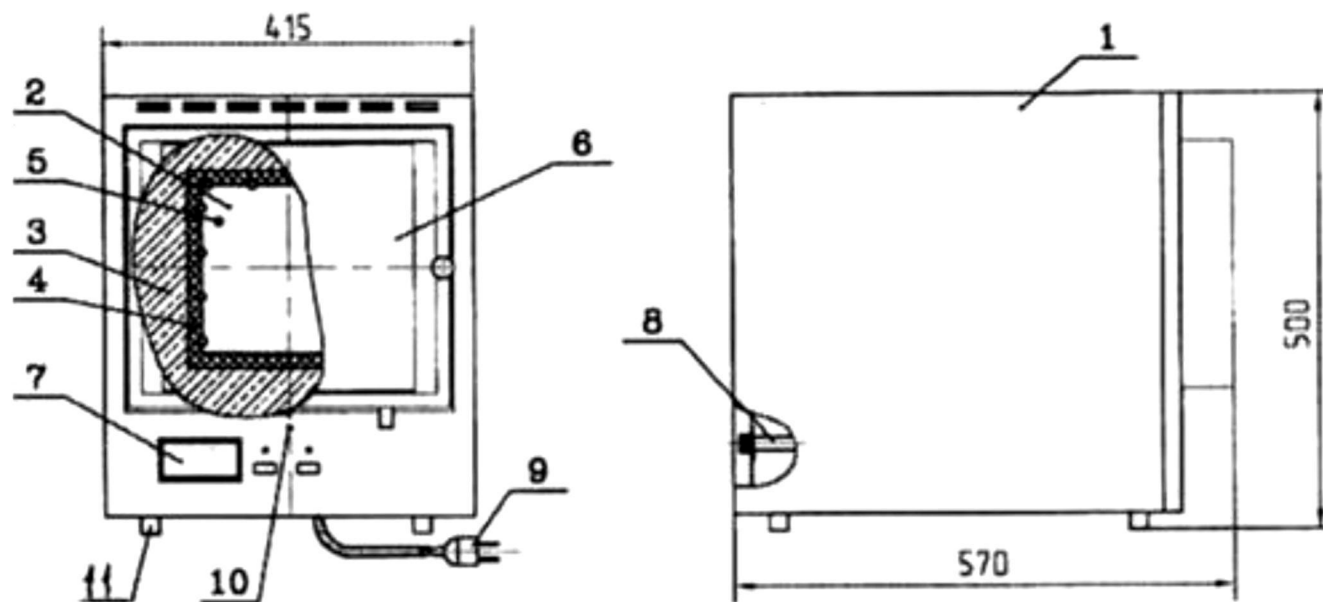


Нижняя полуформа (400x300x100мм)

Отливки образцов

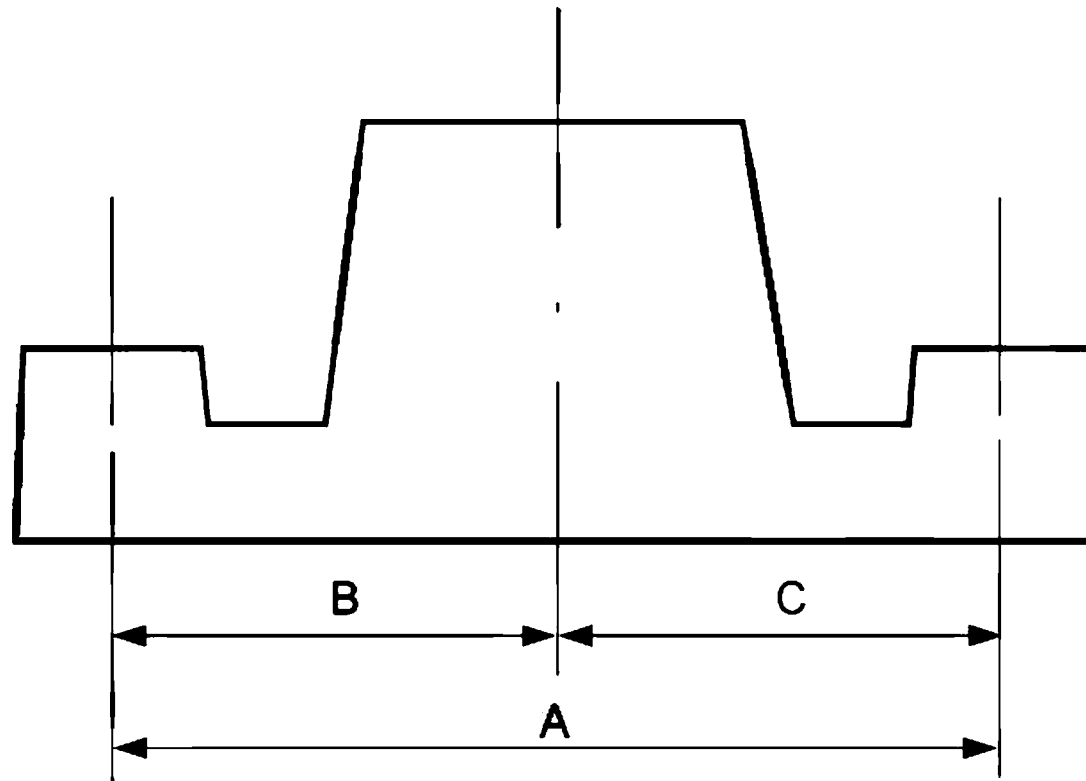


Термическая камерная печь



Электрическая нагревательная печь

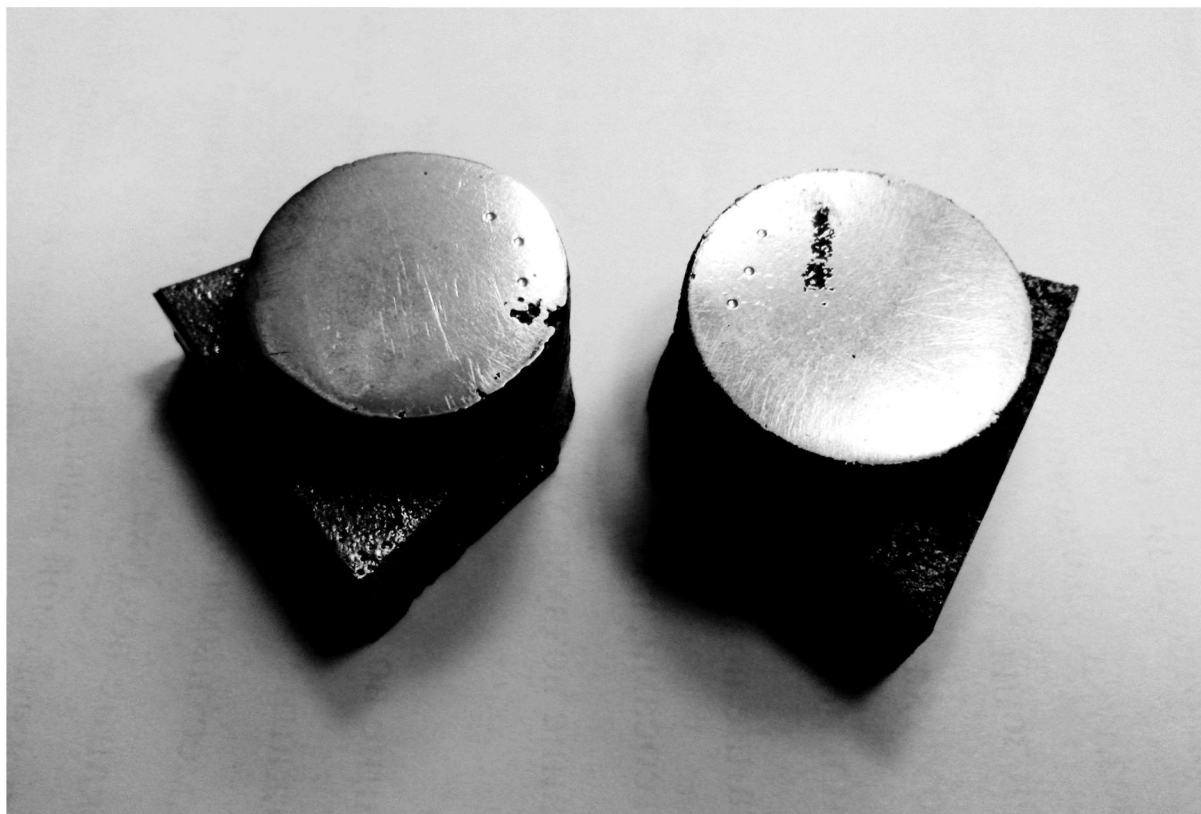
Конструкция образца



Влияние термообработки на размерную точность отливки

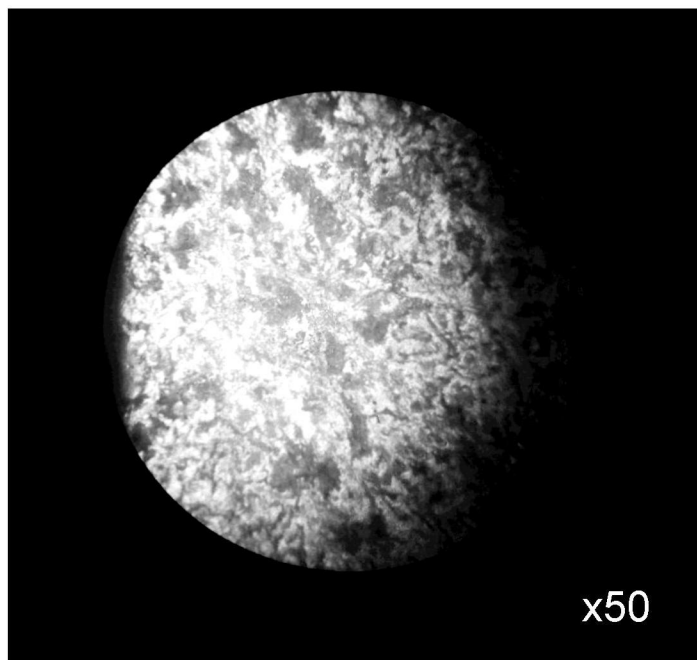
N	Условия обработки	Размер, мм		
		A	B	C
1	2	3	4	5
1	Без термообработки	124,6	52,7	51,9
2	С термообработкой (отжиг)	122,0	51,5	50,8

Влияние термообработки на структуру отливки

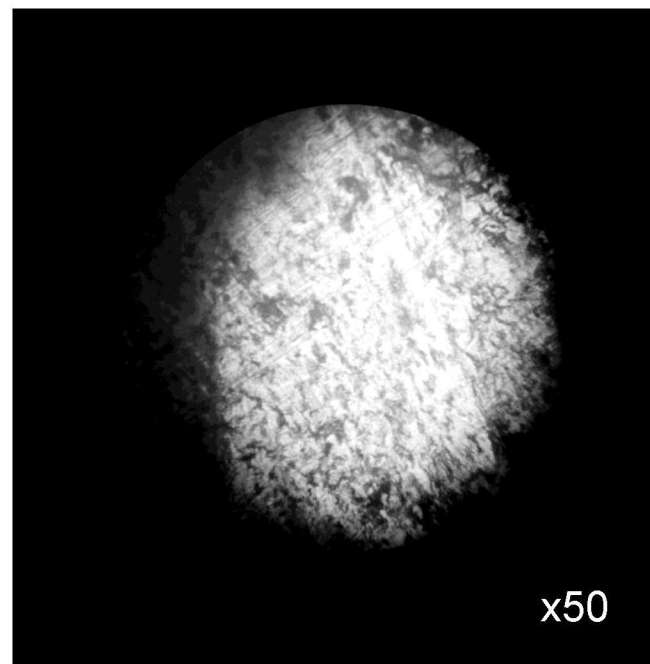


Шлифы для определения структуры

Влияние термообработки на структуру сплава отливки



а)



б)

Структура алюминиевого сплава отливки

а) – без термообработки сплава

б) – с термообработкой сплава (отжиг)

Влияние термообработки на твердость сплава

Марка сплава	Без термообработки	Отжиг	Закалка	Искусственное старение
1	2	3	4	5
АК7ч	42,0	50,0	58,0	47,0

Результаты исследования

1. Термическая обработка сплава влияет на качество отливки.
2. При отжиге в отливках уменьшаются внутренние остаточные растягивающие напряжения (контрольные размеры отливки уменьшились на 2,2%). Снятие внутренних напряжений повышает сопротивляемость усталости и межкристаллической коррозии, стабилизирует размеры и предотвращает коробление деталей.
3. Отливки после отжига имеют мелкозернистую структуру, зерна имеют более однородную форму и равномернее распределены по объему отливки. Это положительно сказывается на механических свойствах отливки.

Результаты исследования

4. Твердость сплава отливки после отжига увеличилась с 41 HB до 50 HB на 18%, что обеспечит лучшие эксплуатационные свойства.
5. Твердость сплава после закалки с последующим естественным старением повысилась на 29% и составила 58 HB, что способствует повышению прочностных характеристик.
6. Твердость сплава после искусственного старения повысилась до 47 HB, что способствует повышению прочности и, как следствие, улучшению условий для механической обработки резанием.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

доклад окончен