

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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
технология материалов»
(код и наименование)

Профиль

«Материаловедение и технология новых
материалов»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

«Зависимость литейных и механических свойств группы
алюминиевых сплавов, очищенных расплавленными флюсами от
их состава и структуры»

Студент


(подпись, дата)

Сарабьев Андрей
Александрович

Научный руководитель
к.т.н., доцент


(подпись, дата)

Дурина Т.А.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент


(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 09.06.18 № 11)

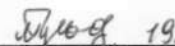
Заведующий кафедрой


(подпись, дата)

Логинов О.Н.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой хорошо (протокол заседания ГЭК от 19.06.2018 № 9)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

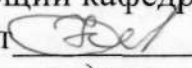

(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2018

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «СВАРОЧНОЕ, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ »

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПиМ
к.т.н., доцент  О.Н. Логинов
подпись
« 08 » 12 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 14МТ1 Факультета машиностроения и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Сарабьеву Андрею Александровичу.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Логинов О.Н.

Время выполнения ВКР: с 08.12.2017 г. по 8.07.2018 г.

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

Тема работы: Зависимость литейных и механических свойств группы алюминиевых сплавов, очищенных расплавленными флюсами от их состава и структуры.

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 1253/О от 08 декабря 2017 г.

Техническое задание на работу (назначение устройства, условия применения, внешние воздействия, специальные требования и т.п.): проведение анализа очищенного металла на химический состав, литейные свойства и механические свойства сплава АК-5М2.

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 классификации литейных алюминиевых сплавов ;
- исследовательский раздел – обоснование применяемых методов исследования, оборудование и методика планируемых экспериментов;
- экспериментальный раздел – описание результатов исследования и выявленных зависимостей;
- 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;
- литейные сплавы на основе алюминия	1л А4;
- метод рафинирования, плавка и заливка	2л А4;
- метод рафинирования, карта плавки	1л А4;
- жидкотекучесть	1л А4;
- определение газовой пористости, шкала ВИАМ	1л А4;
- определение газовой пористости различными методами очистки	1л А4;
- состав очищенного алюминиевого сплава	1л А4;
- концентрация массовых долей АК-5М2	1л А4;
- физико- химические характеристики	1л А4;
- основные выводы	1л А4.

Рекомендуемая литература:

1. Новиков, Я. Я. В кн.: **Металловедение и технология легких сплавов**
[Текст]: учеб. для вузов/ Я. Я. Новиков, А. Е. Семенов, О. В. Сетюков, В. С. Золоторевский – М.: Наука, 1976. – 39 – 45 с.
2. Добаткин, В. И. **Быстрозакристаллизованные алюминиевые сплавы**
[Текст]: учеб. для вузов/ В. И. Добаткин, В. И. Елагин, В. М. Фёдоров – М.: ВИЛС, 1995. – 341 с.
3. **Методы испытаний на растяжение** [Текст]: ГОСТ 1497-1984. – введен 1986-01-01- М.: Изд-во стандартов, 1986. – IV, 32 с.: ил.

Дата выдачи задания: 08.12.2017 г.

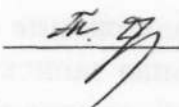
Руководитель ВКР:

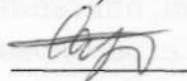
к.т.н, доцент

Задание к исполнению принял студент

гр. 14МТ1

08 декабря 2017 г.

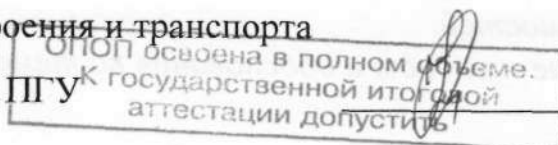
 Т.А. Дурина

 А.А. Сарабьев

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ПГУ



С.Ю. Киреев

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 57 с., 28 рис., 5 табл., 60 используемых источников, 2 прил.

АЛЮМИНИЙ, СПЛАВЫ, РАФИНИРОВАНИЕ, ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ПЛАВКА, ЗАЛИВКА, ПОРИСТОСТЬ

В настоящей выпускной квалификационной работе определена зависимость литейных и механических свойств группы алюминиевых сплавов, рафинированных расплавленными флюсами.

Объектом исследования является совокупность свойств сплавов, полученных способом очистки алюминиевых сплавов, расплавленными флюсами.

Предметом исследования является методическое и инструментальное обеспечение исследований свойств состава группы алюминиевых сплавов на основе кремния.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является исследование зависимости механических и литейных свойств группы алюминиевых сплавов, очищенных путем рафинирования металла расплавленными флюсами.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- проведение практических экспериментов по очистке металла;
- изучение необходимой литературы и подготовка образцов для изучения состава и свойств;
- проведение анализа очищенного металла на химический состав, литейные свойства и механические свойства сплава АК-5М2.

Методы исследования – основные положения общей теории материаловедения, теории термодинамических процессов; методов анализа и свойств материалов в жидком и твердом состоянии.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ119.ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Зависимость литейных и механических свойств группы алюминиевых сплавов, очищенных расплавленными флюсами от их состава и структуры	Лит.	Лист	Листов		
Разраб.		Сарабьев А.А.								
Провер.		Дурина Т.А.					2	57		
Реценз						Каф. СЛПМ гр.14МТ1				
Н. Кантр.		Хорин А.В.								
Утверд.		Логинов О.Н.								

Полученные результаты – доказано неизменность или улучшение механических и литейных свойств групп алюминиевых сплавов, очищенных способом очистки расплавленным флюсом.

Степень внедрения – частичная.

Область применения – в учебный процесс для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение».

Эффективность полученных результатов выражается в улучшении свойств алюминиевых сплавов на основе кремния при простоте процесса рафинирования.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ119.ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Содержание

Введение.....	6
1 Литейные сплавы на основе алюминия.....	8
1.1 Общая информация по классификации.....	8
1.2 Алюминиевые сплавы на основе кремния.....	8
1.3 Алюминиевые сплавы на основе меди.....	10
1.4 Алюминиевые сплавы на основе магния.....	11
2 Способы очистки.....	13
2.1 Способы очистки литейных алюминиевых сплавов.....	13
3 Метод рафинирования.....	22
3.1 Метод рафинирования алюминиевого сплава расплавленными солевыми флюсами.....	22
3.2 Плавка, заливка и очистка образцов из алюминиевых сплавов методом очистки расплавленными флюсами.....	23
4 Свойства алюминиевых сплавов.....	27
4.1 Литейные и механические свойства алюминиевых сплавов.....	27
4.2 Методы испытания литейных свойств алюминиевых сплавов.....	31
4.2.1 Методика определения газовой пористости в алюминиевых литейных сплавах.....	31
4.2.2 Жидкотекучесть сплавов алюминия с кремнием.....	36
4.2.3 Усадка сплавов алюминия с кремнием.....	37
4.3 Методы испытания механических свойств группы алюминиевых сплавов.....	39
4.3.1 Подготовка образцов из сплавов алюминия с кремнием для испытания на разрыв.....	39
4.3.2 Проведение испытаний образцов из сплавов алюминия с кремнием на разрыв и обработка результатов.....	40
4.3.3 Подготовка образцов для определения твердости.....	45
4.3.4 Измерение твердости образцов из сплавов алюминия с кремнием и обработка данных.....	46

Заключение.....	49
Список использованных источников.....	50
Приложение А.....	58
Приложение Б.....	60

Введение

В настоящее время алюминиевые сплавы применяются во многих отраслях промышленности (автомобильные, авиационные, гражданском и промышленном строительстве и производство предметов народного применения). Литейные алюминиевые сплавы широко распространенные материалы, потребление которых растет ежегодно почти во всех отраслях современной промышленности.

Особенностью производства литейных алюминиевых сплавов является высокая доля используемого вторичного сырья. В Соединённых Штатах Америки, Западной Европе, Японии до 80 % от массы шихты при выплавке литейных алюминиевых сплавов составляет вторичное сырьё, что в несколько раз больше, чем для деформируемых алюминиевых сплавов. Раньше предъявлялись более низкие требования к свойствам некоторых отливок, которые использовались для производства деталей. Для таких изделий применение вторичных сплавов с повышенным содержанием примесей было допустимым.

В последнее время происходит постепенная смена ситуации. В настоящее время благодаря совершенствованию технологий плавки и литья удаётся получать отливки высокого качества с уровнем свойств, не уступающим соответствующим свойствам деформированных полуфабрикатов. Причем это удастся делать не только на первичных, но и на вторичных сплавах. Причиной сохранения большой доли использования лома и отходов в производстве отливок алюминиевых сплавов в настоящее время является их более низкая себестоимость.

При производстве отливок необходимо очищать сплавы от содержащихся в них неметаллических включений, повышение частоты сплава влияет на его физико-механические свойства.

Известно, что алюминий и его сплавы склонны взаимодействию с газами это объясняется его высокой химической активностью. В алюминии и его

сплавах присутствуют водород, кислород, закись и окись углерода и т.д. Основной объем приходится на долю водорода, растворенный в сплаве водород при кристаллизации создает достаточное давление, способствует развитию пористости сплава, что уменьшает герметичность отливок.

Для удаления растворенного водорода предлагается способ очистки алюминиевых сплавов расплавленными флюсами.

Предложен эффективный способ рафинирования алюминиевых сплавов. Техническим результатом способа является упрощение рафинирования металла, уменьшение затрат энергии, снижение трудоемкости процесса, повышение эффективности и полноты очистки металла от неметаллических включений, улучшение качества металла.

1 Литейные сплавы на основе алюминия

1.1 Общая информация по классификации

Литейных алюминиевые сплавы классифицируются по химическому составу (Al-Si, Al-Si и Al-Mg). Они маркируются буквами АЛ, что значит алюминиевые литейные [1].

1.2 Алюминиевые сплавы на основе кремния

Лучшими литейными свойствами обладают алюминиевые сплавы на основе кремния, также они обладают высокой жидкотекучестью, малой усадкой, отсутствием или низкой склонностью к образованию горячих трещин и хорошей герметичностью. Объясняются это наличием большого количества эвтектики в структуре этих сплавов. В двойных сплавах алюминия с кремнием эвтектика состоит из кристаллов практически чистого кремния и твердого раствора согласно рисунку 1.1, в легированных силуминах помимо двойной присутствуют тройные и более сложные эвтектики [2 – 9].

Плотность большинства силуминов около 2650 кг/м^3 – меньше плотности чистого алюминия 2700 кг/м^3 . Они хорошо свариваются. Хорошей обработке резанием поддаются только силумины, легированные медью.

В двойных силуминах с ростом содержания кремния до эвтектического состава повышается прочность и снижается пластичность. Появление в структуре сплавов крупных кристаллов первичного кремния вызывает снижение пластичности и прочности согласно рисунку 1.2. Несмотря на увеличение растворимости в алюминии кремния от 0,05 % до 1,65 % при 200°C , при эвтектической температуре, в двойных сплавах не происходит упрочнение термической обработкой. Это можно объяснить высокой скоростью распада твердого раствора, который частично происходит уже при закалке, а также высокой склонностью к коагуляции стабильных выделений кремния.

Единственным способом увеличения механических свойств силуминов является измельчение структуры путем модифицирования.

Эти сплавы обычно модифицируют натрием, который в виде фтористых и хлористых солей вводят в жидкий сплав в количестве до 3 % от массы сплава.

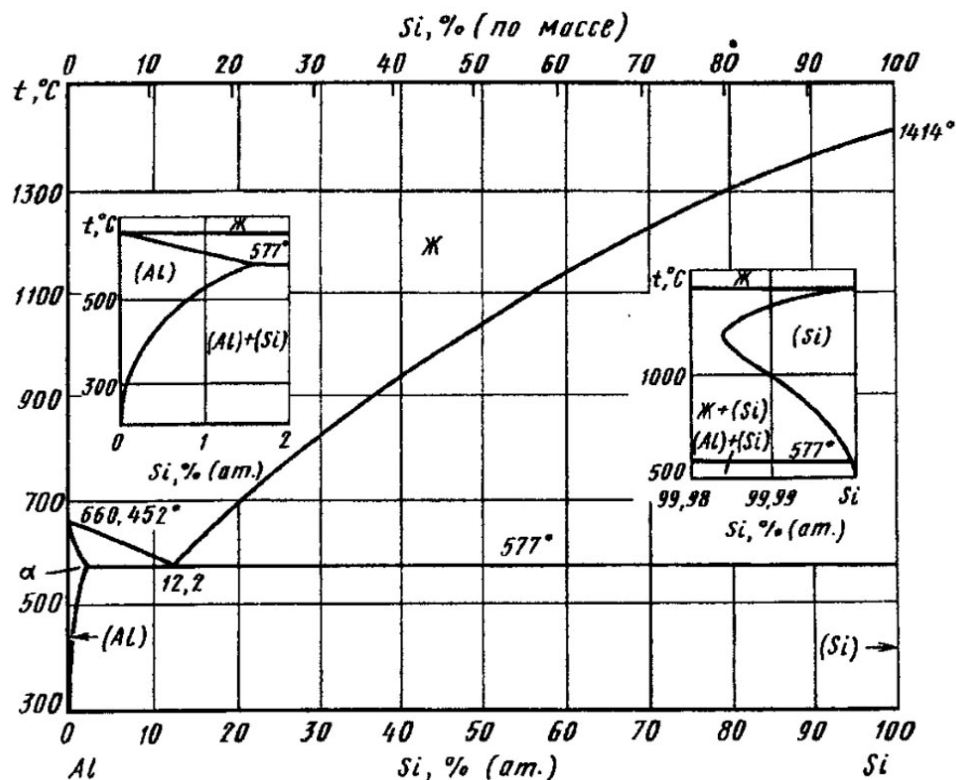


Рисунок 1.1 – Диаграмма состояния Al- Si

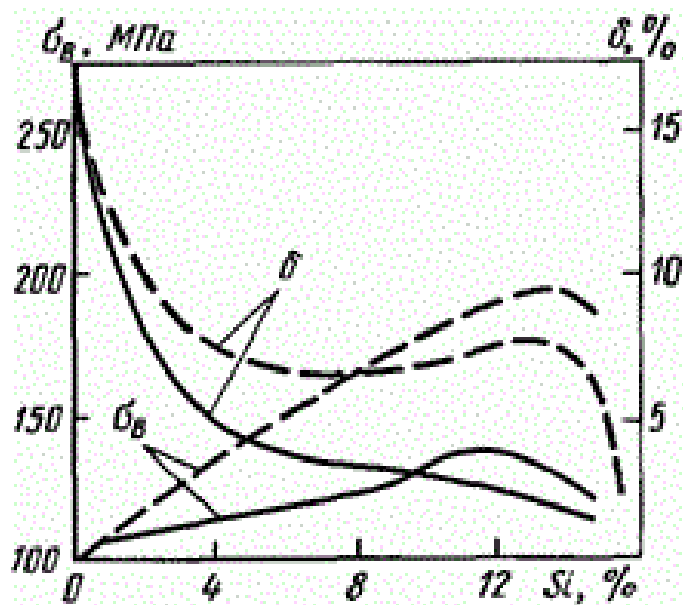


Рисунок 1.2 – Зависимость механических свойств для модифицированного и не модифицированного силумина от содержания кремния

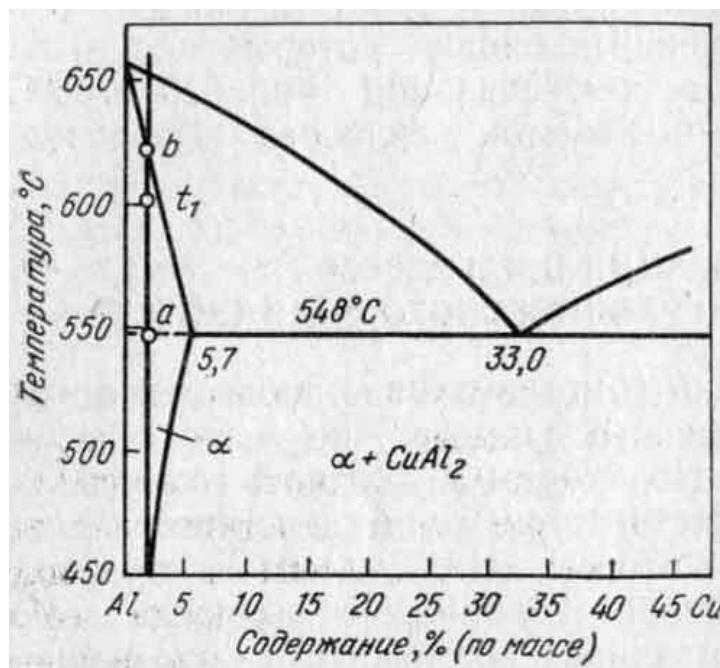
Модифицируют как легированные, так и двойные сплавы, содержащие более 6 % кремния. Для легирования силуминов часто используют Mg, Cu, Mn, Ti; реже – Ni, Zr, Sn и др. При растворении в алюминии, они повышают твердость и прочность этих сплавов. А также, титан оказывает модифицирующее действие, медь улучшает обрабатываемость резанием. Магний и медь, обладая переменной растворимостью в алюминии, способствуют упрочнению этих сплавов при термической обработке, как правило, состоящей из искусственного старения и закалки. Температура закалки различных силуминов в интервале от 515 до 535 °С, температура старения находится в пределах от 150 до 180 °С. Грубо-кристаллическая структура литейных сплавов требует большой выдержке при старении до 20 ч и при нагреве под закалку до 10 ч.

Из легированных силуминов средней прочности наибольшее применение в промышленности нашли сплавы с добавками магния и марганца. Высокое упрочнение вызывает метастабильная фаза P' (Mg_2Si). Легированные силумины применяют для крупных и средних литых деталей ответственного назначения: картеров, корпусов компрессора, головок цилиндров [1].

1.3 Алюминиевые сплавы на основе меди

Сплавы системы алюминий-медь, характеризуются высокой прочностью при повышенных и обычных температурах; они хорошо свариваются и обрабатываются резанием. Вместе с тем из-за отсутствия эвтектики сплавы имеют низкую герметичность, обладают плохими литейными свойствами. Как и деформируемые сплавы этой системы, они имеют структуру твердого раствора, но отличаются повышенным содержанием меди согласно рисунку 1.3 [10 – 11]. Эвтектика в этой системе (в отличие от силуминов) образуется при

большом содержании меди 33%, в связи с этим имеет большое количество хрупкой и твердой фазы θ (CuAl_2), которая вызывает хрупкость эвтектических сплавов. Механические и литейные свойства сплавов алюминия с медью улучшаются в результате легирования марганцем и титаном. Марганец, образуя пересыщенный твердый раствор при кристаллизации из жидкого состояния, способствует значительному увеличению прочности сплава. Во время нагрева



сплава под закалку наряду с растворением θ -фазы из твердого раствора выпадают мелкодисперсные частицы фазы $\text{Al}_2\text{Mn}_2\text{Cu}$, которые увеличивают прочность при обычных и повышенных температурах. Сплавы алюминия с медью применяют для деталей, которые работают при температурах до 300 °C [1].

Рисунок 1.3 – Диаграмма состояния: Al-Cu

1.4 Алюминиевые сплавы на основе магния

Сплавы системы алюминий-магний обладают прочностью, высокой коррозионной стойкостью, хорошей обрабатываемостью резанием и вязкостью. Они не содержат в структуре эвтектики по той же причине, что и сплавы системы алюминий-медь, и характеризуются невысокими литейными свойствами, низкой герметичностью и, кроме того, повышенной

чувствительностью к примесям железа и кремния, которые образуют в этих сплавах нерастворимые фазы, понижающих пластичность сплавов [12].

Для того чтобы предотвратить плавку, окисление и разливку двойных сплавов алюминия с магнием, необходимо вести под защитными флюсами. Легирование двойных сплавов Be, Ti, Zr не только устраняет их склонность к росту зерна и окислению, но и приостанавливает естественное старение, вызывающее снижение вязкости и пластичности сплавов. Наилучшие механические свойства сплавы алюминия с магнием приобретают после закалки от 530 °С, когда весь магний находится в твердом растворе.

В системе алюминий-магний образуется несколько химических соединений. Наиболее близкое к алюминию соединение β (Al_3Mg_2) образует с твердым раствором на основе алюминия эвтектическую систему согласно

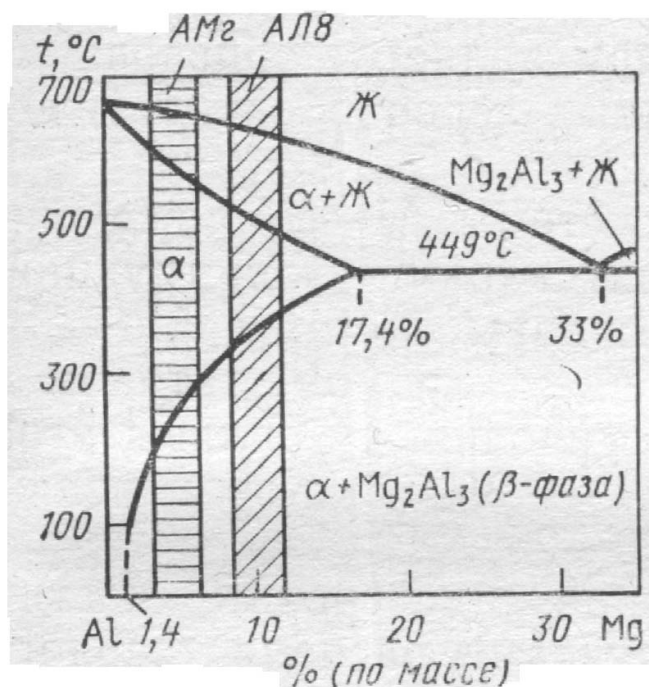


рисунок 1.4

Рисунок 1.4 – Диаграмма состояния Al-Mg

Сплавы систем алюминий-магний используют для изготовления деталей, которые работают в условиях высокой влажности, в самолетостроение,

судостроение и ракетостроении. Из них делают вилки шасси и хвостового оперения, детали приборов, штурвалы и др. [1].

2 Способы очистки

2.1 Способы очистки литейных алюминиевых сплавов

В процессе плавки алюминиевых сплавов последние загрязняются оксидными включениями и поглощают водород. В зависимости от состава сплава содержание водорода в расплаве может быть от 1 до 1,5 см³ в 100 г сплава (алюминий) до 45 см³/100 г сплава (при плавке лигатуры алюминий – 5 % циркония). В настоящее время установлено, что чем больше сплав загрязнен оксидными включениями Al₂O₃ тем больше он содержит водорода и наоборот. Загрязненность сплава оксидами и водородом приводит к получению пористых отливок с низкими механическими свойствами [13].

Считают, что пригодные для разливки по литейным формам алюминиевые расплавы должны содержать, в частности, водорода не более 0,4 см³/100 г сплава (в зависимости от химического состава сплава). При таком содержании водорода в исходном расплаве будет также невысоким и содержание Al₂O₃ в нем, что гарантирует получение отливок, низкой общей пористостью и высокими механическими свойствами.

Очистку алюминиевых литейных сплавов от взвешенных неметаллических включений и водорода до установленных норм осуществляют с помощью хлористых солей и флюсов, вакуумированием, фильтрованием и др. способами.

Для рафинирования применяют хлористый цинк, хлористый марганец, гексахлорэтан, четыреххлористый углерод и другие хлориды. Из-за гигроскопичности хлористые соли перед рафинированием подвергают сушке (MnCl₂) или переплавке (ZnCl₂). Введение их в расплав производят с помощью колокольчика. При температуре расплава от 700 до 730 °С вводят от 0,05 до 0,2 % ZnCl₂ или MnCl₂ при 750 °С в несколько приемов вводят от 0,3 до 0,7 % гексахлорэтана. С понижением температуры эффективность рафинирования уменьшается в связи с повышением вязкости расплава; рафинирование при

более высоких температурах нецелесообразно, так как оно сопряжено с интенсивным окислением расплава. Колокольчик с флюсом погружают на дно расплавленного металла и для более полного рафинирования непрерывно перемешивают расплав до прекращения выделения газов. При этом хлористые флюсы взаимодействуют со сплавом по реакции: $3\text{MnCl}_2 + \text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Mn}$.

Поднимаясь на поверхность расплава, пузырьки хлористого алюминия забирают взвешенные неметаллические включения; внутрь пузырьков проникает растворенный в металле водород, при этом очищается расплав. После окончания операции расплав отстаивается в течение 15 мин при температуре от 720 до 730 °С для того, чтобы мелкие пузырьки газа покинули расплав. Рафинирование хлоридами производится в ковшах или печах. В печах с небольшой высотой расплава рафинирование введением хлоридов производит малый эффект. В таких случаях лучшим результатом, является рафинирование расплавленными флюсами.

Для очистки большинства сплавов из алюминия используют флюс, который содержит 47 % KCl , 30 % NaCl и 23 % Na_3AlF_6 . Для очистки алюминиево-магниевого сплава применяют флюсы на основе карналита: от 80 до 85 % $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$, от 15 до 20 % $\text{CaF}_2(\text{MgF}_2)$. Перед этим расплавленные и высушенные флюсы в количестве от 0,5 до 1,0 % от массы металла засыпают на поверхность расплава при 750 °С. После флюс в течение 5 мин быстро замешивают в расплав, удаляют шлак и дают расплаву отстояться от 10 до 15 мин. После повторного удаления шлака сплав используют для заливки форм. При обработке больших объемов металла флюс вводят с помощью колокольчика на дно расплава. Очистка расплавов хлоридами и флюсами не обеспечивает необходимую чистоту.

Меньшее количество газов остаётся при вакуумировании. Сущность этого вида обработки заключается в том, что по стандартной технологии выплавленный в обычных печах металл переливают в ковш, который затем помещают в вакуумную камеру. Выдержка металла в камере происходит при давлении от 1 до 10 мм рт. ст. в течение 30 мин; температура расплава при этом

поддерживается от 720 до 740 °С. В тех случаях, когда вакуумирование осуществляют без подогрева, расплав перед обработкой перегревают до 780 °С.

Общим недостатком этих способов является то, что операцию рафинирования производят на такой стадии технологического процесса, которая допускает последующее загрязнение расплава во время заливки.

Сейчас для очистки алюминиевых сплавов все в больших масштабах применяют фильтрование, т.е. расплав пропускают через активные, сетчатые и жидкие фильтры. Сетчатые фильтры, такие как стеклоткань и металлическая сетка, широко применяют для рафинирования расплавов от крупных включений и плен. Они отделяют те включения, размер которых больше размера ячейки сетки. Фильтры из стеклоткани устанавливают в литниковых каналах согласно рисунку 2.1, раздаточных тиглях согласно рисунку 2.2. Фильтры до 2 раз повышают частоту расплавов неметаллическими включениями. Значительно эффективнее очищают «активные» фильтры согласно рисунку 2.3. Простейший фильтр этого рода представляет собой слой крупки фильтрующего материала от 5 до 15 мм в поперечнике высотой от 100 до 150 мм. Отличаются эти фильтры – большой поверхностью соприкосновения с металлом и присутствием длинных тонких каналов переменного сечения. Движение металла в таких фильтрах происходит с переменной скоростью, что усиливает эффект очистки. Существенное значение для более тонкой очистки сплавов имеют адсорбционные силы, которые проявляются в смачивании материала фильтра металлом. Смачивающиеся «активные» фильтры действуют до 3 раз более эффективно, чем несмачивающиеся [14, 15].

Для изготовления фильтров используют шамот, магнезит, алунд, кремнезем, сплавы хлористых и фтористых солей и другие металлы. Полнота удаления взвешенных неметаллических включений зависит от природы материала, размера частиц фильтра, толщины фильтрующего слоя.

«Активные» фильтры, наряду с крупными включениями и пленками, удаляют до 40 % тонкодисперсных взвесей и до 20 % снижают содержание водорода в сплавах, прошедших рафинирование флюсом или хлоридами. По

мере удаления тонкодисперсных взвесей увеличивается размер зерна в оливках, повышаются пластические свойства сплавов [16,17].

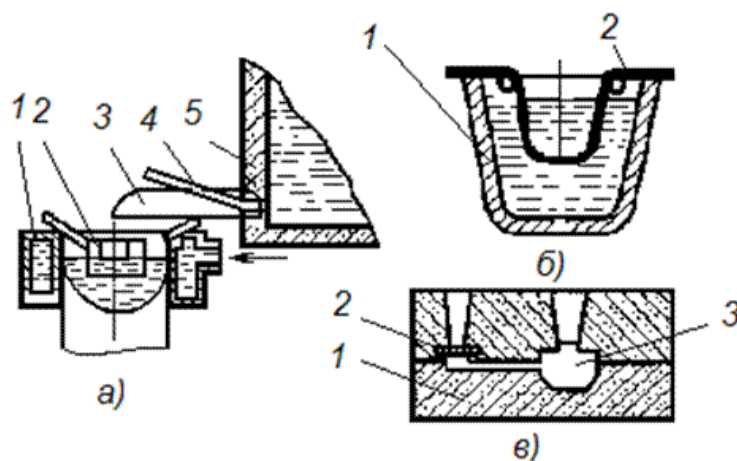


Рисунок 2.1 – Схемы расположения сетчатых фильтров: а) – в кристаллизаторе машины непрерывного литья слитков: 1 – кристаллизатор; 2 – фильтр из стеклоткани; 3 – желоб; 4 – пика; 5 – миксер; б) – в раздаточном тигле: 1 – тигель; 2 – фильтр из стеклоткани; в) – в литейной форме: 1 – литейная форма; 2 – фильтр из стеклоткани; 3 – полость литейной формы

Пропускание алюминиевых сплавов через жидкие флюсы согласно рисунку 2.4 обеспечивает более эффективную очистку от крупных плен и включений по сравнению с кусковыми фильтрами, и в отношении же очистки от взвесей и водорода кусковые фильтры имеют преимущества перед жидкими фильтрами.

Содержание неметаллических включений определяют методами химического анализа и отбором технологических проб. Вследствие сложности и трудоемкости химических методов последние не применяются для текущего контроля в цеховых условиях.

Присутствие в расплавах крупных включений и плен в практике определяют по пробе В.И. Добаткина и В.К. Зиновьева согласно рисунку 2.6. Из исследуемого расплава изготавливают (или вырезают из слитка) заготовку диаметром 50 мм и длиной 150 мм. Заготовку в нагретом виде осаживают по длине в «галету» толщиной 30 мм (пятикратная осадка). После этого по

плоскости, перпендикулярной к направлению осадки, «галету» надрезают и ломают [18].

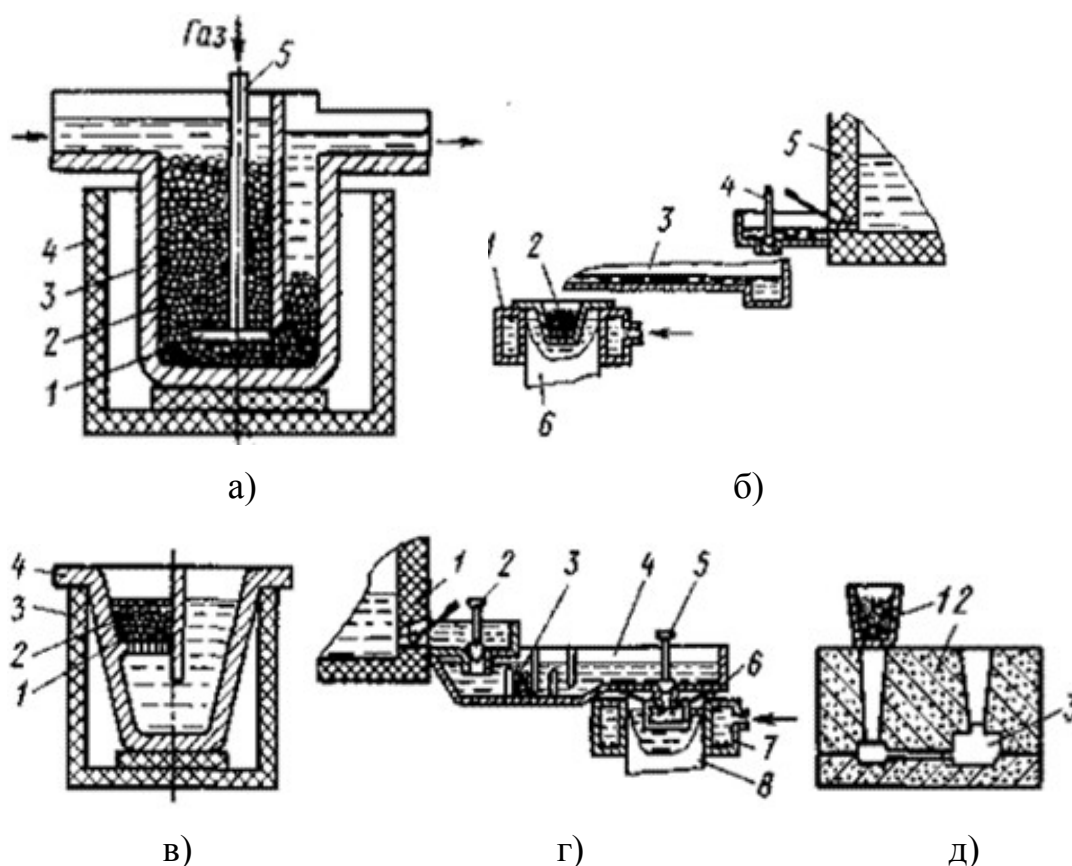


Рисунок 2.2 – Схемы расположения зернистых фильтров: а) – на участке перелива металла из миксера в кристаллизатор машины непрерывного литья: 1 – пористая графитовая плита; 2 – зернистый фильтр; 3 – тигель; 4 – печь для подогрева фильтра; 5 – трубка для подачи инертного газа; б) – в кристаллизаторе машины непрерывного литья слитков: 1 - кристаллизатор; 2 – зернистый фильтр; 3 – распределительная коробка; 4 - стопор; 5 – миксер; 6 – слиток; в) – в раздаточном тигле: 1 – зернистый фильтр; 2 – перфорированная плита; 3 – печь; 4 – чугунный тигель; г) – в распределительной коробке: 1 – миксер; 2 – стопор; 3 – зернистый фильтр; 4 – распределительная коробка; 5 – стопор; 6 – распределительная воронка; 7 – кристаллизатор; 8 – слиток; д) – в литниковой чаше: 1 – фильтр; 2 – литейная форма; 3 – полость литейной формы

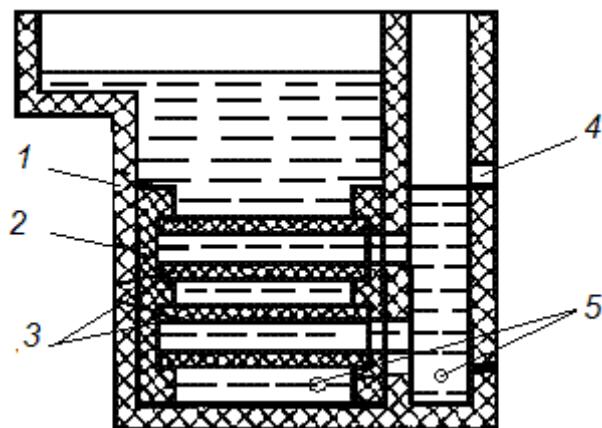


Рисунок 2.3 – Схема расположения трубчатых керамических фильтров: 1 – футерованная коробка; 2 – корундовая плита; 3 – керамический кристаллизатор; 4 – сливное отверстие; 5 – отверстие для выдачи фильтрованного металла

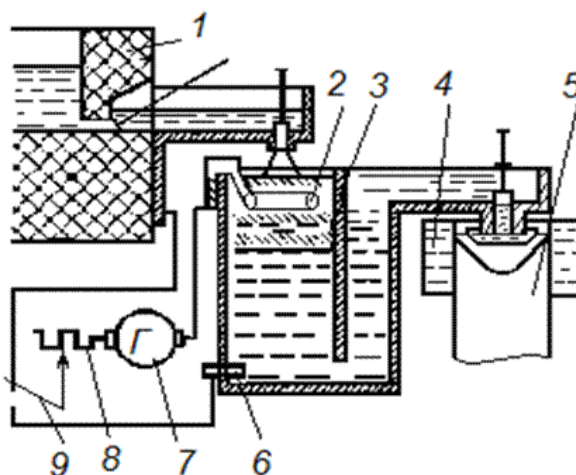


Рисунок 2.4 – Схема для электрофлюсового рафинирования: 1 – миксер; 2 – кольцевой электрод; 3 – флюс; 4 – кристаллизатор; 5 – слиток; 6 – пробка сливного отверстия; 7 – генератор тока; 8 – регулятор напряжения; 9 – переключатель

По площади и количеству неметаллических включений в изломе судят о чистоте расплава. Удовлетворительным считают такой расплав, в котором по технологической пробе содержание неметаллических включений составляет не более 0,05 мм² на 1 см² площади излома. Качественную оценку загрязненности расплавов тонкодисперсными взвесями и водородом производят с помощью

структурной пробы А.Г. Спасского и Е.Н. Кулагиной. Небольшую порцию расплава заливают в подогретую до 200 °С графитовую изложницу или в стержневую чашку. При кристаллизации на поверхности пробы происходят точечные разрывы оксидной пленки, представляющие собой следы пузырьков выделяющегося газа. По количеству разрывов, сравнивая пробу с эталонами, судят о степени газонасыщенности.

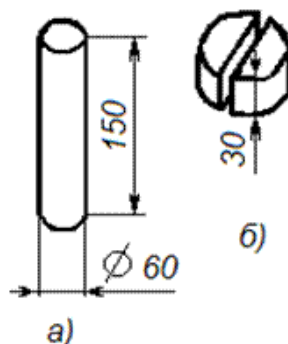


Рисунок 2.5 – Технологическая проба Добаткина- Зиновьева для определения наличия неметаллических включений и оксидных плен: а) – литая заготовка; б) – осаженная заготовка

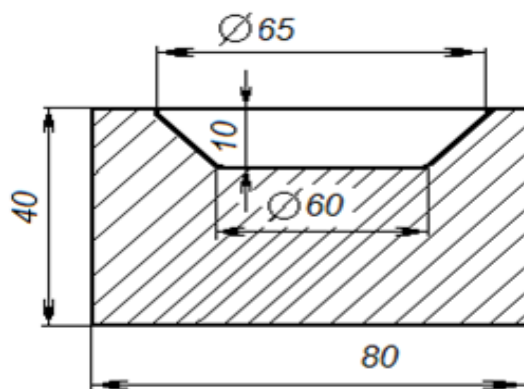


Рисунок 2.6 – Изложница для отбора структурной пробы А. Г. Спасского и Е. П. Кулагиной

Загрязненность тонкодисперсными взвесями определяется размером макрозерна на поверхности структурной пробы. Малому удержанию взвесей соответствует крупное зерно. Степень загрязненности находят сопоставлением структурной пробы с эталонами.

О содержании газов в расплаве можно судить также при помощи вакуум-пробы. Для вакуум-пробы прокаленным графито-шамотным тиглем емкостью

200 г отбирается, небольшая порция жидкого сплава до 730 °С. Этот металл охлаждается при пониженном давлении, от 200 до 300 мм рт. ст., под вакуумным колоколом до полной кристаллизации. Уменьшение внешнего давления способствует полному выделению растворенных газов. Под давлением выделяющихся газов поверхность металла в тигле приобретает выпуклое очертание; в разрезе затвердевшего слитка появляются газовые раковины. Разрез вакуум-пробы сравнивают с эталонами, что дает возможность судить о степени газонасыщенности.

Газосодержание расплава на практике определяют методом Дардела-Гудченко согласно рисунку 2.5. Метод основан на том, что в условиях равновесия парциальные давления газа в металле и в окружающей его газовой среде между собой равны. Пробу жидкого расплава помещают в вакуумную камеру и выдерживают ее при постоянной температуре с постепенным уменьшением наружного давления над расплавом (созданием разряжения) до появления первого пузырька газа, выделившегося из расплава. Момент выделения первого пузырька при условии наличия на расплаве плотной оксидной пленки (такая пленка образуется на алюминии и его сплавах), задерживающей диффузию газа, соответствует равенству парциальных давлений внутри расплава и вне его. Зная остаточное давление в приборе и температуру расплава в момент выделения первого пузырька, определяют содержание газа в расплаве по уравнению:

$$\log S = \frac{-A}{T} + B + \frac{1}{2} \log P, \quad (2.1)$$

где S – содержание газов в расплаве, см³/100 г сплава;

T – температура расплава, К;

P – остаточное давление в приборе, мм рт. ст.;

A, B – константы;

Для алюминия, $A = 2760, B = 1,356$;

Для сплавов алюминия с кремнием, $A = 2950, B = 1,47$;

Для сплава алюминия с 6 % магнием, $A = 26 \%, B = 1,574$.

В зависимости от прочности оксидной пленки на поверхности расплава пузырек газа будет выделяться при различном остаточном давлении. Это давление будет тем меньше, чем прочнее пленка оксидов. Различие плотности оксидной пленки учитывается в расчетной формуле величиной коэффициентов A и B .

В процессе заливки литейных форм очищенный расплав взаимодействует с воздухом атмосферы и газовой средой литейной формы, окисляется. В него замешиваются оксидные пленки с поверхности, разрывающиеся на кусочки при течении в каналах литниковой системы. Поэтому содержание газов в металле отливки будет более высоким, чем в исходном расплаве. В металле отливки будет и большее содержание неметаллических включений.

Разработаны теоретические вопросы на базе экспериментальных исследований, сущность способа заключается в пропускание расплава солей через расплав алюминия. В расплавленный флюс, удельной вес которого меньше удельного веса металла, вливают расплавленный металл. При этом, чем меньше разность удельных весов флюса и металла и меньше поверхность их контакта, тем интенсивнее проводят перемешивание расплавленной соли.

3 Метод рафинирования

3.1 Метод рафинирования алюминиевого сплава расплавленными солевыми флюсами

При производстве отливок необходимо очищать сплавы от содержащихся в них неметаллических включений, повышение частоты сплава влияет на его физико-механические свойства [34].

Алюминиевые сплавы химически активные, что характеризует высокое взаимодействие с газами. В алюминии и его сплавах присутствуют различные газы, такие как, кислород, водород, окись и закись углерода [34].

Одной из больших примесей по объему считается водород, который частично остаётся в сплаве, а частично в чистом виде. Растворенный в сплаве водород при кристаллизации способствует возникновению пористости в отливки.

Рассмотрен эффективный способ рафинирования алюминиевых сплавов. Техническим результатом этого способа является упрощение рафинирования металла, уменьшение затрат энергии, снижение трудоемкости процесса, повышение эффективности и полноты очистки металла от неметаллических включений, улучшение качества металла.

Сущность способа заключается в пропускании расплава солей через расплав алюминия. Для определения оптимальных параметров процесса рафинирования и режимов литья было проведено большое количество опытов, исследовались различные сочетания алюминиевых сплавов и солей.

Метод рафинирования металла заключается в том, что отдельно расплавляют металл и флюс, в расплавленный раствор флюса, удельный вес которого меньше удельного веса металла, вливают расплавленный металл. При этом, чем меньше разность удельных весов флюса и металла и меньше поверхность их контакта, тем интенсивнее проводят перемешивание расплавленного флюса [35].

Проверка эффективности способа рафинирования металла осуществлялась при помощи математического моделирования процессов очистки металла [36].

3.2 Плавка, заливка и очистка образцов из алюминиевых сплавов методом очистки расплавленными флюсами

Для исследования литейного алюминиевого сплава АК-5М2 произведена заливка в Литейной лаборатории ПГУ кафедры «СЛПиМ» 6 корпус. Металл расплавляли в печи марки СШОЛ 60/12-Т, заливали в подогретую до 300 °С металлическую форму (кокиль). В печь нагретую до 740 °С установили корундовый (Al_2O_3) тигель, который выдерживает температуру 1150 °С. На рисунке 3.1 показана печь марки СШОЛ 60/12-Т в закрытом состоянии.



Рисунок 3.1 – Печь марки СШОЛ 60/12-Т в закрытом состоянии

Необходимо было получить образцы для исследования и последующего сравнения основных свойств сплавов. Для этого решено было залить два образца из силумина АК-5М2 очищенного обычным способом и два образца из силумина АК-5М2 после рафинирования расплавом солей. Также из сплава прошедшего рафинирование залили образцы на жидкотекучесть для проверки

литейных свойств. В таблице 1 показаны результаты плавки. На рисунке 3.2 показан тигель с расплавленным силумином АК-5М2 после обычной очистки.



Рисунок 3.2 – Тигель с расплавленным силумином АК-7 до рафинирования

Для рафинирования сплава выбрана соль NaCl плюс Na_3AlF_6 плюс KCl . Первоначально необходимо взвесить на весах каждый компонент соли в определенной пропорции. Потом тщательно перемешать все компоненты для размельчения крупных фракций. На рисунке 3.3 изображена взвешенная и тщательно перемешанная соль.

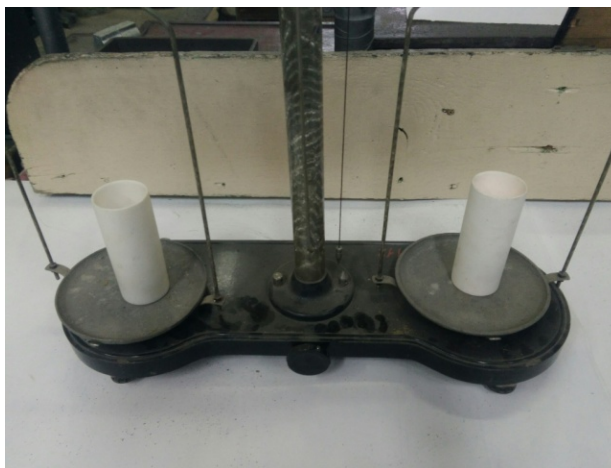


Рисунок 3.3 – Соль NaCl плюс Na_3AlF_6 плюс KCl

Таблица 1 – Результаты заливки

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ119.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

№	Наименование работ	Время	Температура, °С	Примечание
1	Включение печи	11:00	15	-
2	Установка тигле и загрузка шихты	11:10	250	Печь СНОЛ
3	Прогрев кокиля	11:15	200	Печь
4	Плавка алюминиевого сплава	11:55	740	Жидкое состояние сплава
5	Выдержка сплава в печи	с 12:00 до 14:00	740	Печь СНОЛ
6	Заливка 1-ого образца температура кокиля 200°	14:05	740	Длинный образец
7	Установка тигля и повторный нагрев	14:07	670	Выдержка один час
8	Заливка 2-ого образца, температура кокиля 150°	15:10	740	Короткий образец
9	Отключение печи	15:15	700	Конец плавки

Расплавленный в тигле металл заливали в расплавленный флюс и подвергали вибрации. За счет разности удельного веса и плотности расплавленных веществ, флюс проходил через металл, поднимаясь на поверхность, а металл опускался вниз, после чего поднимаясь наверх, флюс, проходя через металл, захватывал за собой неметаллические включения в том числе водород, при этом образовывался шлак, после чего очищенный металл сливали в подогретый тигель, чтобы получить отливки образцов для дальнейших исследований на механические свойства. Кокиль подогревали до 350 °С. На рисунке 3.4 показана отливка для изготовления образца на растяжение.



Рисунок 3.4 – Отливка в металлической форме

После кристаллизации формы были разобраны. Образец после некоторой механической обработки представлен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Отливка для изготовления образца на растяжение

4 Свойства алюминиевых сплавов

4.1 Литейные и механические свойства алюминиевых сплавов

Алюминиевые литейные сплавы имеют несколько особенностей: сравнительно невысокую линейную усадку; повышенную жидкотекучесть, которая обеспечивает получение сложных по конфигурации и тонкостенных отливок; низкую склонность к образованию горячих трещин. Кроме того, алюминиевые сплавы обладают повышенной склонностью к окислению, насыщению водородом, что приводит к таким видам брака отливок, как газовая пористость, оксидные включения и шлаковые включения. Поэтому при изготовлении фасонных отливок и разработке технологии плавки любым из способов литья необходимо учитывать особенности отдельных групп алюминиевых сплавов. Наибольшее распространение в промышленности имеют сплавы Al-Si, Al-Si-Mg (АК12, АК9ч, АК9пч, АК7ч, АК7пч, АК8л, АК9, АК7), отличающиеся хорошими технологическими свойствами.

Достоинством сплавов на основе системы алюминий- кремний является повышенная коррозионная стойкость во влажной и морской атмосферах (АК12, АК9ч и АК7ч). Недостатки этих сплавов –пониженная жаропрочность и повышенная газовая пористость. Технология литья вышеперечисленных сплавов более сложная и требует применения операций кристаллизации и модифицирования под давлением в автоклавах. Особенно это относится к сплаву АК9ч. Сплав АК12 (эвтектический) применяют в малонагруженных деталях (приборов, двигателей и агрегатов, бытовых изделий) литьем в песчаные формы, под давлением, кокиль, в оболочковые формы и по выплавляемым моделям. Получаемые отливки имеют высокую плотность, герметичность и концентрированную усадочную раковину. Доэвтектические силумины (АК9ч, АК7ч, АК7пч, АК8л) несколько уступают по технологическим свойствам эвтектическому сплаву АК12, но имеют повышенные механические свойства за счет образования соединения Mg_2Si ,

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ119.ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

влияющее на прочность сплава. Применяются сплавы в искусственно состаренном и закаленном состояниях. Низкое содержание кремния позволяет применять сплавы без модифицирования в тех случаях, когда необходимы высокие скорости охлаждения – в кокиль и литье под давлением. При литье по выплавляемым моделям и в песчаные формы силумины модифицируют. Сплавы АК7 и АК9 отличаются от сплавов АК9ч и АК7ч высоким содержанием примесей, но низкой пластичностью. Поэтому их не рекомендуют для деталей, которые работают в условиях высоких вибраций.

Применяют сплавы АК9ч, АК7ч, АК9, АК7 для более ответственных отливок, крупногабаритных и сложных деталей, работающих при больших нагрузках, например, картер двигателя внутреннего сгорания, для литья мало и средненагруженных деталей приборов, агрегатов и двигателей, а также для бытовых изделий. Сплавы склонны к взаимодействию с газами и образованию газовой пористости. Герметичные крупногабаритные отливки получают в автоклавах при избыточном давлении или применяют комбинированное рафинирование (фильтрацию, вакуумирование). Сплавы АК7пч, АК9пч упрочняются за счет добавок Fe, Mg, Ti и Be. Сплав АК8л обладает хорошими литейными свойствами, его прочность превосходит прочность других силуминов. Полученные из этого сплава отливки имеют высокую герметичность. Сплав АК8л предназначен для литья сложных по конфигурации корпусных деталей, которые работают под высоким давлением до 45 МПа и температуре не более 200 °С.

Сплавы на основе системы Al-Si-Cu (АК5М2, АК5М, АК5Мч, АК5М7, АК6М2, АК8М) содержат кроме меди и кремния магний. Эти сплавы отличаются повышенной жаропрочностью (рабочие температуры от 250 до 275 °С), но уступают сплавам Al-Si и Al-Si-Mg по литейным свойствам, герметичности и коррозионной стойкости; не требуют кристаллизации под давлением и модифицирования. Сплав АК5М и АК5Мч имеет более высокую жаропрочность, чем сплавы АК9пч и А7пч, за счет легирования структуры медью, а сплава АК5Мч – титаном (до 0,15 %). Сплав АК5М в термически

обработанном состоянии используют для литья средненагруженных корпусных деталей, которые работают при высоких температурах и давлениях до 23 МПа, а также при температурах до 250 °С (например, детали агрегатов, головки цилиндров двигателей воздушного охлаждения и т. д.). Сплав АК5М7, обладает более гетерогенной структурой, чем сплав АК5М, изготавливают из вторичных отходов. Химический состав сплава варьируется в широких пределах, поэтому его физико-химические свойства нестабильны. Применяют для литья поршней. Литейные свойства сплава АК5М7 ниже, чем у поршневых сплавов АК12М2МгН, АК12ММгН и др. Сплавы АК5М2, АК7М2 легируют различными элементами; свойства близки к свойствам сплава АК5М7, используют для малонагруженных деталей. Сплав АК8М по свойствам подобен сплаву АК9ч, но имеет жаропрочность ниже; применяют при литье под давлением.

Прочность сплавов на основе системы Al-Mg (АМг10, АМг10ч, АМг5К, АМг11, АМг6л, АМг6лч, АМ5Мц)с увеличением концентрации магния возрастает до 13 %, но пластичность понижается при содержании более 11 % Mg; основной фазой упрочнения является химическое соединение P (Al_3Mg_2). Для литейных сплавов используют сплавы с содержанием Mg, %: от 4,5 до 7 – сплавы средней прочности, которые применяются без термической обработки (АМг5к, АМг6л); от 9,5 до 13 – сплавы с высокой прочностью, применяемые в закаленном состоянии (АМг10, АМг11). Для улучшения технологических свойств в большинство сплавов вводят до 0,2 % циркония и титана. Образующиеся на их основе интерметаллиды $TiAl_3$ и $ZrAl_3$ более тугоплавкие, чем основа сплава, и являются модификаторами первого рода. Механические свойства повышаются до 30 %. Сплавы системы Al-Mg обладают повышенной склонностью к взаимодействию с газами и к образованию газовой и газоусадочной пористости, а при взаимодействии с азотом и парами воды образуются неметаллические включения и оксидные пленки. Плавку сплавов следует проводить под слоем флюса, а если в их состав входит Be – без флюса. Сплавы АМг10 применяют только в закаленном состоянии. Особенностью

сплавов АМг10, АМг10ч является повышенная чувствительность к естественному старению. Поэтому литые детали из этих сплавов можно применять для рабочих температур от минус 60 °С до плюс 80 °С. Детали из сплавов АМг10 применяют в судостроении (в условиях высокой влажности), в летательных аппаратах, где важно значение удельной прочности. Сплавы АМг6л, АМг6лч и АМг5Мц, не содержащие Si, применяют без термической обработки. Механические свойства этих сплавов невысоки, пластичность низкая. Их рекомендуется применять для литья в кокиль и песчаные формы средненагруженных деталей, работающих в коррозионных средах. Сплавы АМг6л и АМг6лч применяются в литом состоянии без термической обработки и в закаленном состоянии. Сплавы АМг6л и АМг6лч в литом состоянии предназначены для изготовления деталей, несущих средние статические и небольшие ударные нагрузки, а в термически обработанном состоянии сплав АМг6лч применяют для изготовления деталей, работающих при средних статических и ударных нагрузках. Сплав АМг5Мц применяют в литом состоянии для изготовления арматуры трубопроводов пресной воды, масляных и топливных систем, а также для деталей судовых механизмов и оборудования. Сплавы АМг5К и АМг11, содержащие от 0,8 до 1,3 % Si, имеют более высокие литейные свойства, так как кремний увеличивает количество эвтектики, в результате чего: повышается жидкотекучесть и плотность отливок, снижается их склонность к образованию горячих трещин. Рекомендуется применять эти сплавы для литья в кокиль, песчаные формы и, особенно, под давлением. Из сплава АМг5К изготавливают детали морских судов, а также детали, работающие от 180 до 200 °С (например, головки двигателей воздушного охлаждения) [27].

Специальные эвтектические силумины (АК12ММгН, АК12М2МгН), обладая хорошими литейными свойствами, отличаются более высокой жаропрочностью, так как содержат от 0,8 до 1,3 % Ni, образующего сложные фазы в виде жесткого каркаса; добавка титана улучшает технологические свойства. Сплавы имеют малую склонность к объемным изменениям в процессе эксплуатации при повышенных температурах; применяются для изготовления

поршней; в этом случае отливки используют без закалки. Для снятия внутренних напряжений поршни термически обрабатывают.

Заэвтектический силумин АК21М2Н2,5 имеет хорошую жидкотекучесть, твердость и износостойкость. Структура сплава состоит из первичных кристаллов кремния и эвтектики. Добавки никеля и хрома обеспечивают высокую жаропрочность до 320 °С. Применяют сплав для литья поршней и других ответственных деталей, работающих при повышенных температурах.

Цинковый силумин АК7Ц9, содержащий от 7 до 12 % Zn, который хорошо растворим в твердом алюминии, создает растворное упрочнение, что позволяет использовать сплав в литом состоянии (без термической обработки). Сплав АК7Ц9 обладает хорошими технологическими свойствами, способностью сохранять прочность, твердость и сопротивление действию знакопеременных нагрузок после кратковременных и длительных нагревов от 300 до 500 °С. Применяют сплав для литых деталей в моторостроении и других отраслях промышленности. Сплав АК7Ц9 используют при литье в песчано-глинистые формы, кокиль и под давлением. Имеет пониженную коррозионную стойкость и сравнительно высокую плотность[28].

4.2 Методы испытания литейных свойств алюминиевых сплавов

4.2.1 Методика определения газовой пористости в алюминиевых литейных сплавах

1) Изготовление макрошлифов по ГОСТ 1583- 93 [30].

При определении пористости в алюминиевых литейных сплавах усадочная рыхлость или центральная пористость исключается.

Для определения газовой пористости темплеты, вырезанные из чушек, отливки или образцы, вырезанные из отливок, обрабатывают до шероховатости *Ra* не более 1,6 мкм. При обработке с эмульсией поверхность темплета очищают бензином или ацетоном.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ119.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Макрошлиф готовят из темплетов последовательным шлифованием на шлифовальных шкурках различной зернистости: до от 80 до 100 мкм, от 40 до 50 мкм, от 10 до 14 мкм, промывают проточной водой и просушивают фильтровальной бумагой.

Подготовку макрошлифа можно производить другими способами, обеспечивающими шероховатость не более 1,6 мкм.

Для определения газовой пористости макрошлиф травят 15 % водным раствором едкого натрия (NaOH) при температуре до 80 °С. Макрошлиф погружают в реактив и выдерживают от 10 до 50 с (не выявляя макроструктуры), затем промывают проточной водой и просушивают фильтровальной бумагой. При необходимости осветления поверхности макрошлиф опускают в 20 % раствор азотной кислоты до 5 с, промывают проточной водой и просушивают фильтровальной бумагой.

2) Проведение испытаний по ГОСТ 1583- 93 [30].

Для определения газовой пористости необходимо пользоваться шкалой, приведенной на рисунке 4.2. Степень пористости макрошлифов в баллах устанавливают сравнением их с эталонами шкалы.

Газовая пористость темплетов, чушек определяется на трех квадратах площадью 1 см каждый согласно рисунку 4.1. Количество пор и размер пор определяют как среднее арифметическое трех измерений.

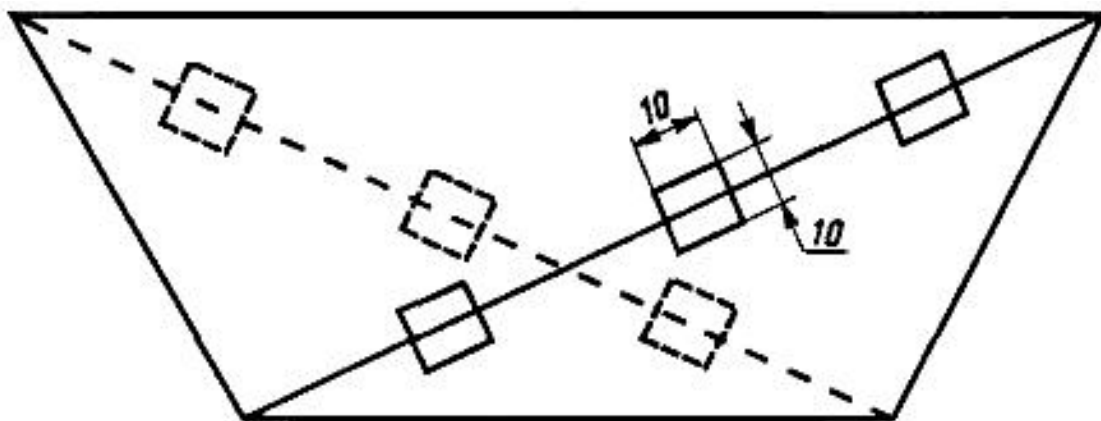
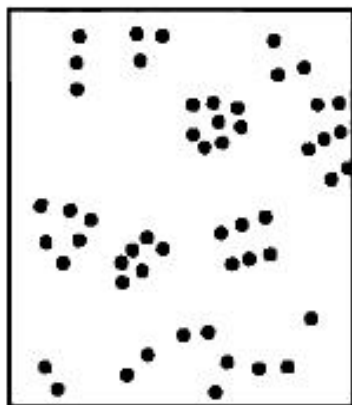
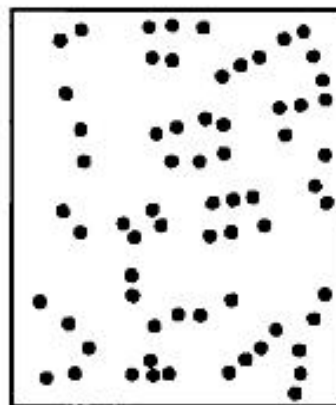


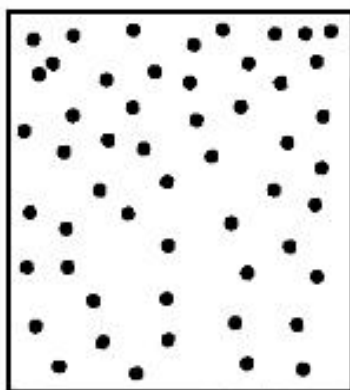
Рисунок 4.1 - Схема расположения квадратов на макрошлифе



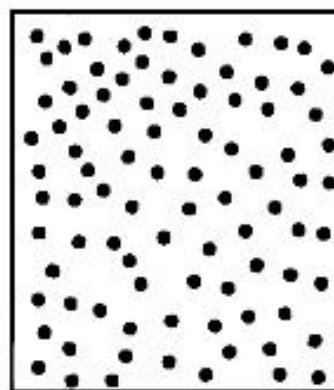
Балл 1



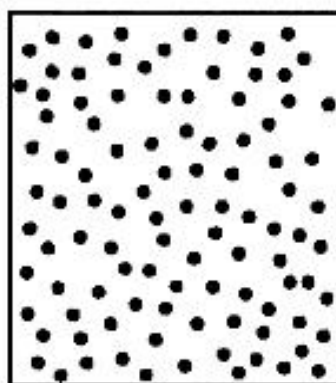
Балл 2



Балл 3



Балл 4



Балл 5

Рисунок 4.2 - Шкала пористости алюминиевых сплавов



Рисунок 4.3 – Пористость после рафинирования покрывными флюсами



Рисунок 4.4 – Пористость после рафинирования расплавленными флюсами

При наличии отклонений по среднему количеству, размеру или процентному содержанию пор в сторону увеличения показатели пористости относят к более высокому баллу пористости. Последовательность нанесения квадратов:

- а) на поверхности макрошлифа провести диагональ;
- б) измерить диагональ;
- в) разделить диагональ на две равные части для определения центра среднего квадрата;
- г) нанести средний квадрат на макрошлиф так, чтобы диагональ макрошлифа делила его на две равные части, а боковые стороны квадрата были перпендикулярны ей;
- д) измерить расстояние от края макрошлифа до боковой стороны квадрата по диагонали темплета;
- е) полученное расстояние разделить пополам для определения центров остальных двух квадратов;
- ж) нанести остальные два квадрата (см. подпункт г).

Газовую пористость отливок определяют на трех квадратах площадью 1 см каждый. Расположение квадратов произвольное в зависимости от

конфигурации и размеров отливок, если нет особых требований в конструкторской документации. На малогабаритных отливках газовую пористость допускается определять на меньшем количестве квадратов. Балл пористости, определенный по трем квадратам на двух макрошлифах темплетов чушек, распространяют на всю плавку. Контроль пористости проводят визуально, невооруженным глазом. Для определения диаметра пор можно пользоваться оптическими приборами с увеличением до 10 раз.

Шкала состоит из пяти эталонов:

- a) балл 1 - мелкая пористость;
- b) балл 2 - пониженная пористость;
- c) балл 3 - средняя пористость;
- d) балл 4 - повышенная пористость;
- e) балл 5 - высокая пористость.

Допускаемое количество пор на 1 см поверхности шлифа и диаметр их в зависимости от номера эталона приведены в таблице 2, по ГОСТ 1583-93 [30].

Таблица 2 – Допускаемое количество пор

Номер эталона	Диаметр пор, мм	Количество пор на 1 см ² , шт.
1	до 0,1	до 5
2	0,1...0,2	2...8
3	0,3...0,5	3...12
4	0,5...1,0	6...14
5	0,5...1,0	8...15

Согласно рисунку 4.3 газовая пористость по шкале ВИАМ исследуемого сплава, очищенного покрывным флюсом, составляет балл 2.

Согласно рисунку 4.4 газовая пористость по шкале ВИАМ исследуемого сплава, очищенного расплавленными флюсами, составляет балл 1.

4.2.2 Жидкотекучесть сплавов алюминия с кремнием

Получение годных отливок зависит от литейных свойств сплава, отливка должна быть однородной по химическому составу, без трещин пор, газовых раковин. Отливка должна в точности повторять геометрию формы.

К основным литейным свойствам относят жидкотекучесть, усадку и связанную с ней горячеломкость, а так же макроликвацию. Жидкотекучесть, это типичное технологическое свойство, так как зависит от условий и методики проведения экспериментов.

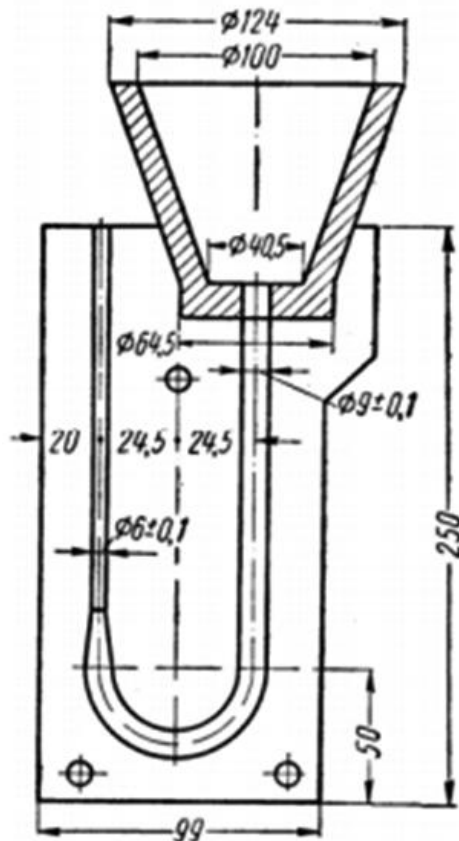


Рисунок 4.5 – Эскиз U-образного образца на жидкотекучесть

Жидкотекучесть – это способность жидкого металла заполнять всю полость формы, повторяя ее геометрию, без остатка.

Жидкотекучесть алюминиевого сплава АК-5М2 определялась U-образной пробой, как показано на рисунках 4.5, 4.6 и 4.7. Показателем жидкотекучести

служила длина прутка в миллиметрах, закристаллизованной в металлической форме, чем больше длинна прутка, тем лучше жидкотекучесть. Данный сплав обладает высокой жидкотекучестью и хорошей заполняемостью формы.



Рисунок 4.6 – Образец на жидкотекучесть залитый в *U*-пробу из сплава рафинированного расплавленными флюсами



Рисунок 4.7 – Образец на жидкотекучесть залитый в *U*-пробу из сплава рафинированного покрывными флюсами

4.2.3 Усадка сплавов алюминия с кремнием

Когда расплав охлаждается при температуре выше ликвидуса, в период кристаллизации и последующего охлаждения происходит уменьшение объема, следовательно, линейные размеры сокращаются, наблюдается линейная усадка. На качество отливки влияет удельный объем жидкого сплава при температуре ликвидуса, удельный объем затвердевшего сплава при температуре солидуса определяется по формуле [29]:

$$\varepsilon_{об.у} = \frac{V_{ж.с} - V_{т.с}}{V_{ж.с}} \varepsilon_{об.у} = \frac{V_{ж.с} - V_{т.с}}{V_{ж.с}}, \quad (4.1)$$

где $\varepsilon_{об.у}$ – удельный объем затвердевшего сплава, м³/кг;

$v_{ж.с}$ — удельный объём жидкого состояния, м³/кг;

$v_{т.с}$ — удельный объём твердого состояния, м³/кг.

При этом, для качества отливки, важным является в какой форме будет проявляться объемная усадка в виде усадочной раковины или усадочной пористости. Рассеянная усадочная пористость приводит к снижению герметичности отливки.

Линейную усадку рассчитывают как относительное сокращение линейных размеров отливки в горизонтальных направлениях, в период кристаллизации и дальнейшего охлаждения отливки.

Литейная усадка определяется по формуле [29]:

$$\varepsilon_{л.у.} = \frac{l_0 - l_i}{l_0} \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

где $\varepsilon_{л.у.}$ — литейная усадка, %;

l_0 — размер исходный, мм;

l_i — заданный размер охлаждения, мм.

В случаях, когда до начала происходит предусадочное расширение, линейная усадка рассчитывается по формуле [29]:

$$\varepsilon_{л} = \frac{l_0 - \Delta l_{н.р} - l_{р.о}}{l_0 + \Delta l_{н.р}} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

где $\varepsilon_{л}$ — линейная усадка, %;

$\Delta l_{н.р}$ — величина предусадочного расширения, мм;

$l_{р.о}$ — заданный размер охлаждения, мм.

Полную линейную усадку определяют по индикатору линейных перемещений.

Для горячих трещин важную роль играет усадка кристаллизации $\varepsilon_{кр}$, которую оценивают на специальных установках, где записывают температурные зависимости. В алюминиевых сплавах усадочные трещины как правило образуются выше солидуса, поэтому называются кристаллизационными или горячими.

4.3 Методы испытания механических свойств группы алюминиевых сплавов

4.3.1 Подготовка образцов из сплавов алюминия с кремнием для испытания на разрыв

Заготовки АК-5М2 залитые в литейной лаборатории 6 корпуса кафедры «СЛПиМ» были переданы для обработки на токарном станке в 6 корпус кафедры «СЛПиМ». На рисунке 4.9 представлен образец перед испытанием.

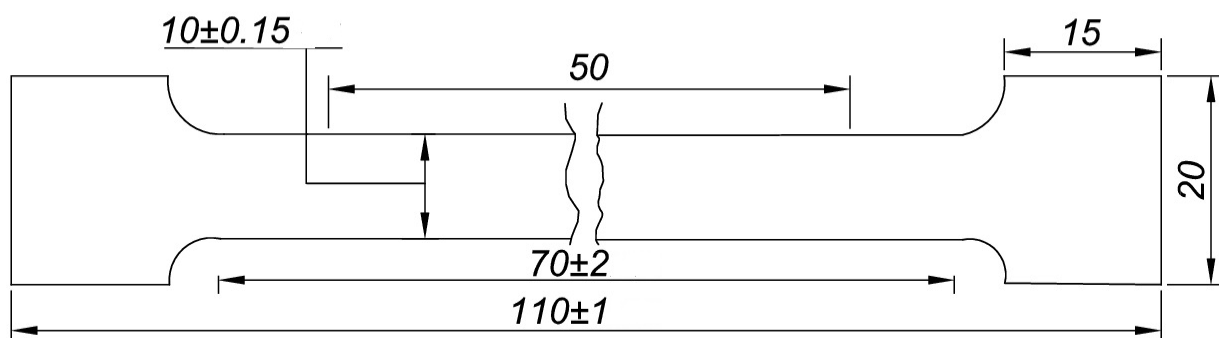


Рисунок 4.8 – Чертеж стандартного цилиндрического образца для испытания на растяжение



Рисунок 4.9 – Образец перед испытанием

По заранее сделанному чертежу были выполнены четыре образца на растяжение [37]. Два образца были выполнены из заготовок очищенных обычным способом и два после рафинирования новым способом. На рисунке 4.8 показан чертеж стандартного цилиндрического образца для испытания на растяжение.

4.3.2 Проведение испытаний образцов из сплавов алюминия с кремнием на разрыв и обработка результатов

Испытания проводят на двух образцах, если иное количество не предусмотрено в нормативно-технической документации на металлопродукцию. Для испытания на растяжение применяют пропорциональные цилиндрические или плоские образцы диаметром или толщиной в рабочей части 3,0 мм и более с начальной расчетной длиной, которая определяется по формуле [37]:

$$l_0 = 5,65 \sqrt{F_0}, \quad (4.4)$$

где l_0 – начальная расчетная длина образца, мм;

F_0 – диаметр рабочей части, мм.

Применение коротких образцов предпочтительнее. Литые образцы и образцы из хрупких материалов допускается изготавливать с начальной расчетной длиной, которая определяется по формуле [37]:

$$l_0 = 2,82 \sqrt{F_0}. \quad (4.5)$$

При определении предела пропорциональности и пределов текучести условных с допусками на величину пластической или полной деформации при нагружении или остаточной деформации при разгрузении до 0,1%; при определении предела текучести условного с допуском на величину деформации от 0,1 до 1 % не должна превышать 0,05 % от начальной расчетной длины по тензометру [37].

Для определения начальной площади поперечного сечения геометрические размеры образцов измеряют с погрешностью не более 0,5%.

Измерение размеров образцов до испытания проводят; не менее, чем в трех местах; в средней части и на границах рабочей длины.

Начальную расчетную длину с погрешностью до 1% ограничивают на рабочей длине образца кернами, рисками или иными метками и измеряют штангенциркулем или другими измерительными средствами с погрешностью измерения до 0,1 мм.

На образцах из малопластичных металлов метки наносят способами, исключающими повреждение поверхности рабочей части образца (накаткой делительных сеток или штрихов, фотоспособом, красителем, карандашом). Допускается нанесение меток на переходных частях образца путем кернения или другим способом.

Нагружение образцов происходит равномерно ступенями. С одинаковым временем выдержки на каждой ступени. Когда приращение удлинения для малой ступени нагружения превысит среднее значение приращения удлинения (при той же ступени усилия), дальнейшее нагружение прекращают [37].

Испытания были проведены на разрывной машине ИР5145-500 в технопарке «Яблочков». Разрывная машина представлена на рисунке 4.10.



Рисунок 4.10 – Разрывная машина IP5145-500

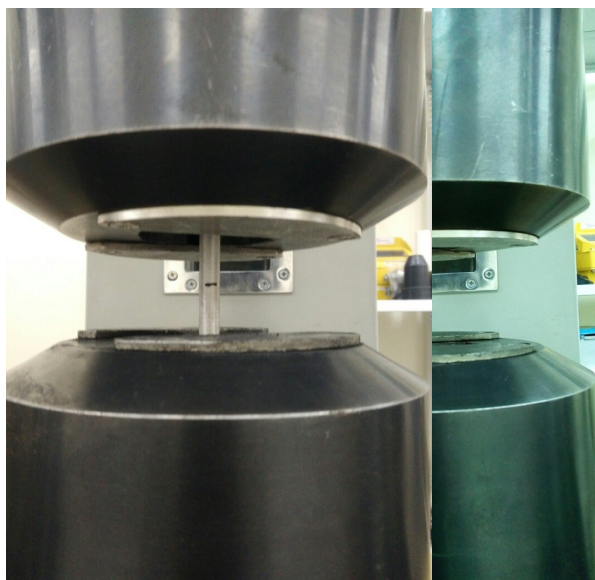
Перед проведением испытаний были сделаны необходимые замеры с помощью металлической линейки и штангенциркуля. На рисунке 4.11а представлен образец перед испытанием. Данные по замерам представлены в таблице 3. Первая партия образцов выполнена из заготовок очищенных обычным способом и вторая партия после рафинирования новым способом.

Испытания проводили со скоростью 5 мм/мин. На рисунке 4.11б представлен образец поле испытания.

Таблица 3 – Данные по испытаниям

Параметры, мм	Партия/Образец			
	1/1	1/2	2/1	2/2
Диаметр захватной части, D_0	20,0	20,0	20,0	20,0
Минимальный диаметр рабочей части, d_l	9,9	9,85	9,95	10,0
Полная длина образца, L	110,55	110,9	111,0	110,55
Начальная расчетная длина образца, l_0	50,0	50,0	50,0	50,0
Рабочая длина образца, l	72,0	68,0	69,0	68,0
Минимальный диаметр рабочей части, d_l^*	9,85	9,8	9,85	9,9
Начальная расчетная длина образца, l_0^*	52,0	51,0	52,0	52,0
Рабочая длина образца, l^*	64,0	59,0	62,0	60,2

*данные после испытания



а)

б)

Рисунок 4.11 – Испытание на разрывной машине: а) - образец до разрушения; б) - образец после разрушения

Разрушение образцов 1/1, 1/2, 2/2 было не в самом тонком месте (d_1). Это произошло из-за наличия внутренних дефектов отливки, в частности из-за наличия в образцах газовых раковин. Наличие дефекта отчетливо видно на рисунке 4.12. Газовая раковина была получена при заливке образца. Газовые раковины появились в результате слишком большой скорости заливки или в результате неудачного заполнения формы. Алюминиевые сплавы при заливке сверху часто вспениваются, что приводит к образованию газовых раковин.



Рисунок 4.12 – Излом образца 1/1

Проведенные испытания за протоколировали на компьютере. Данный протокол испытания представлены в Приложении А.

В таблице 4 представлено сравнение сплавов АК-5М4, АК-7, АК-5М2 по прочностным характеристикам.

Таблица 4 – Прочностные характеристики сплавов АК-5М4, АК-7, АК-5М2

Сплав	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %
АК-5М4	139,72	5,0
АК-5М4*	159,30	5,0
АК-7	134,56	5,0
АК-7*	159,60	5,0
АК-5М2	95,40	6,0
АК-5М2*	104,91	6,0

* образцы из сплавов после рафинирования расплавами солей.

4.3.3 Подготовка образцов для определения твердости

Сплав АК-5М2 имеет невысокую твердость, поэтому было принято решение определять твердость по методу Бринелля. Толщина образца должна быть не менее чем в 8 раз превышать глубину отпечатка. Поверхность образца должна быть плоской и гладкой. Шероховатость поверхности образца (или площадки на изделии) должна быть не более 2,5 мкм, если нет других указаний в нормативно-технической документации на металлопродукцию. Образец должен быть подготовлен таким образом, чтобы не изменялись свойства металла в результате механической или другой обработки, например, от



нагрева [38].

Рисунок 4.13 – Образец для определения твердости по Бринеллю

Было выполнено два цилиндрических образца для определения твердости по Бринеллю. Высота 20 мм и диаметр 20 мм. Образец представлен на рисунке 4.13.

Твёрдость исследуемого образца по Бринеллю составляет 61,9 НВ

4.3.4 Измерение твердости образцов из сплавов алюминия с кремнием и обработка данных

Для проведения измерений выбрали стальной шарик диаметром 2,5 мм и испытательную нагрузку 613 Н.

При измерении твердости, прибор должен быть защищен от ударов и вибраций. Опорные поверхности столика и подставки, а также опорные и рабочие поверхности образца должны быть очищены от посторонних веществ (окалины, смазки и др.). Образец должен быть установлен на столике или подставке устойчиво во избежание его смещения и прогиба во время измерения твердости. При измерении твердости наконечник плавно приводят в соприкосновение с поверхностью образца и плавно прикладывают заданное усилие F до тех пор, пока оно не достигнет необходимой величины. Продолжительность выдержки наконечника под действием заданного усилия должна соответствовать от 2 до 8 секунд, если не имеется других указаний в нормативно-технической документации на металлопродукцию. Расстояние между центром отпечатка и краем образца должно быть не менее 2,5 диаметров отпечатка d ; расстояние между центрами двух смежных отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка; для металлов с твердостью до 35 НВ эти расстояния должны быть соответственно $3d$ и $6d$.

Диаметр отпечатка измеряют с помощью микроскопа или других средств измерения с предельной погрешностью:

- а) 0,5 % (при применении шариков диаметром 1,0; 2,0 или 2,5 мм);
- б) 0,25 % (при применении шариков диаметром 5,0 и 10,0 мм) от диаметра шарика [38].

Измерения проводились на твердомере в Технопарке «Яблочков». Были выполнены три замера для каждого образца. На рисунке 4.14 изображено проведение испытания на образце из АК-5М2 на твердомере.



Рисунок 4.14 – Проведение испытания образца из АК-5М2 на твердомере

После проведения испытания измеряли диаметр шарика с помощью микроскопа МПБ-2. Усредненные данные по трем измерениям представлены в таблице 5. Для сравнения в таблицу добавлены данные измерения твердости сплавов АК-5М4 и АК-7.

Таблица 5 – Данные по измерению твердости

Образец	АК-5М4	АК-5М4*	АК-7	АК-7*	АК-5М2	АК-5М2*
Твердость НВ	76,3	102,5	70,36	93,67	47,08	61,9

* образцы из сплавов после рафинирования расплавами солей.

На рисунке 4.15 представлен Микроскоп МПБ-2, образец после испытания и таблица величин твердости по Бринеллю [38].



Рисунок 4.15 – Микроскоп МПБ-2, образец после испытания и таблица величин твердости по Бринеллю

По данным таблицы видим, что сплавы АК-5М4 и АК-7 имеющие α -твердый раствор алюминия и β -вторичный твердый раствор кремния схожи по твердости, а эвтектический сплав АК-5М2 отличается, так как состоит из эвтектики из твердого раствора на основе алюминия и кристаллов кремния.

Проведены испытания на разрыв и измерение твердости. Результаты показали, что метод очищения расплавами флюсов не только не снижает механических свойств, но и уменьшает возможность образования дефектов связанных с наличием газов в расплаве.

Заключение

В рамках проведенной работы был получен следующий основной результат:

- проведено исследование алюминиевых сплавов, полученных очисткой расплавленными флюсами.

Решены следующие задачи:

- разработаны теоретические вопросы на базе экспериментальных исследований, сущность способа заключается в пропускание расплава солей через расплав алюминия. В расплавленный флюс, удельной вес которого меньше удельного веса металла, вливают расплавленный металл. При этом, чем меньше разность удельных весов флюса и металла и меньше поверхность их контакта, тем интенсивнее проводят перемешивание расплавленной соли;

- проведен патентный поиск, по результатам которого установили, что использование расплавов флюсов для очистки алюминиевых сплавов является перспективным направлением. Преимуществом данных изобретений является создание способа рафинирования, отличающегося высокой производительностью при повышенной рафинирующей способности, низкой себестоимостью и экологической безопасностью;

- проведены испытания на разрыв и измерение твердости. Результаты показали, что метод очищения расплавами флюсов не только не снижает механических свойств, но и уменьшает возможность образования дефектов связанных с наличием газов в расплаве.

- проведен микроанализ очищенного алюминиевого сплава. Результаты показали, что данные очищенные сплавы обладают высокой твердостью (от 50 до 110 НВ), прочностью (временное сопротивление от 100 до 160 МПа), зерна скруглены, поэтому металл будет более пластичный с равномерной структурой.

- проведено определение химического состава для подтверждения сплавов и сравнения процентного содержания основных химических элементов. По основным химическим элементам Al, Mg, Cu, Si, Fe в

процентном соотношении сплавы очищенные расплавами солей не отличаются от сплавов очищенных обычным способом. Что подтверждает теорию о протекании химических реакций при очистке расплавленными флюсами без изменения химического состава.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ119.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Список использованных источников

1. **Захаров, А.М. Промышленные сплавы цветных металлов. Фазовый состав и структурные составляющие** [Текст]: учеб. для вузов/А.М. Захаров - М.: Металлургия, 1980. - 256 с.
2. **Курдюмов, А.В. Металлические примеси в алюминиевых сплавах** [Текст]: учеб. для вузов/ А.В. Курдюмов, С.В. Инкин, В.С. Чулков, Г.Г. Шадрин - М.: Металлургия, 1980. - 33 с.
3. **Ликунов, М.В. Литейное производство** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ М.В. Ликунов. - 10-е изд. - М, 1966. - 75 с.
4. **Фридляндер, И.Я. Науч. тр. ВИАМ** [Текст]: учеб. для вузов/ И.Я. Фридляндер - М.: Металлургиздат, 1949, -65 с.
5. **Белов, Н.А. Влияние термообработки на морфологию железо-содержащих фаз в алюминиевых сплавах** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ Н.А. Белов, В. С. Золоторевский, Д. В. Лузгин. - 3-е изд. - М, 1997. - 87 с.
6. **Кац, А.М. Цветные металлы** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ А.М. Кац, М. В. Ликунов, Р. А. Бахтиаров. - 5-е изд. - М, 1968, - С.36-37.
7. **Истомин-Кастровский, В.В. Цветная металлургия** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ В.В. Истомин-Кастровский, П.М. Виттенберг, А.С. Мишин, В.С. Золоторевский. - 5-е изд. - М, 1975, - 175 с.
8. **Якушин, Б.Ф., Цветная металлургия** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ Б.Ф. Якушин, Д.М. Чернавский, Т.А. Орелкина. - 2-е изд. - М, 1976. - 237 с.
9. **Фукс, Е.Г. Цветная металлургия** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ Е.Г. Фукс, Т.И. Чурбакова. - 2-е изд. - М, 1977. - 218 с.
10. **Курбатов, А.В. Цветная металлургия** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ А.В. Курбатов, В.С. Золоторевский. - 2-е изд. - М, 1975. - 314 с.

11. Хансен Л. Структуры двойных сплавов: Пер. с англ/ Под ред. И.И. Новикова, И.Л. Рокгельберга [Текст]: учеб. пособие для вузов/ Хансен Л., Андерко К. - М.: Металлургиздат 1962. - 1488 с.
12. Аксенов, А.А. Металлы [Текст]: учеб. пособие для студентов/ А.А. Аксенов. - 6-е изд. - М, 1992. - 106 с.
13. Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов [Текст]: учеб. для вузов/ И.И. Новиков - М.: Металлургия, 1986. - 480 с.
14. Лившиц, Б.Г. Металлография [Текст]: учеб. для вузов/ Б.Г. Лившиц - М.: Металлургия, 1990 - 334 с.
15. Золоторевский, Д.С. ДАН СССР [Текст]: учеб. пособие для студентов/ Д.С. Золоторевский, В.Д. Истомин-Кастровский, -2-е изд. - М, 1975. - 388 с.
16. Новиков, И.В. Структура и свойства легких сплавов [Текст]: учеб. для вузов/ И.В. Новиков, А.С. Золоторевский, Л.И. Левин, А.М. Дриц- М.: Наука, 1971 - 217 с.
17. Левин, Л.И. Цветная металлургия [Текст]: учеб. пособие для студентов/ Л.И. Левин, В.С. Золоторевский, А. А. Захаров, А. А. Курбатова. - 5-е изд. - М, 1975. - 167 с.
18. Дриц, М.Е. Металловедение и термическая обработка металлов [Текст]: учеб. пособие для студентов/ М.Е. Дриц. - 4-е изд.- М, 1985. - 63 с.
19. Кравченко, В.Е. Цветная металлургия [Текст]: учеб. пособие для студентов/ В.Е. Кравченко, Б.А. Колачев, Р.М. Гавидуллин. - 5-е изд. - М, 1976. - 175 с.
20. Цыпин, М.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст]/ М.И. Цыпин [и др.]// сб. науч. тр. - Гипроцветметобработка, 1978. - С. 9 - 13.
21. Золоторевский, В.С. Цветная металлургия [Текст]: учеб. пособие для студентов/ В.С. Золоторевский, В. В. Телешов. - 1-е изд. - М, 1970. - 147 с.
22. Золоторевский, В.С. Металлы [Текст]: учеб. пособие для студентов/ В.С. Золоторевский, В. В. Телешов. - 5-е изд. - М, 1971. - 231 с.

23. Дурина, Т.А., Черный, А.А. Эффективная очистка алюминиевых сплавов от неметаллических включений. Труды второй научно-практической конференции «Заготовительные производства предприятий волго-вятского региона». [Электронный ресурс]. / Т.А.Дурина, А.А. Черный - НГТУ, г. Нижний Новгород, 2010г.: [сайт]. URL: <http://window.edu.ru/resource> (дата обращения 30.04.2017).

24. Сплавы алюминиевые литейные и деформируемые. Методы определения кремния [Текст]:ГОСТ 11739.7-1999 - Введ. 2000-01-03. - М.: Изд-во стандартов, 2000. -V, 21 с.: ил.

25. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки [Текст]: ГОСТ 4784-1997 . - Введ. 1998-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1997. - 19с.: ил.

26. Алюминий для раскисления, производства ферросплавов и алюминотермии. Технические условия [Текст]: ГОСТ 295-1998. - Введ. 1999 -03-01. - М.: Изд-во стандартов, 1998. - 15с.: ил.

27. Полуфабрикаты из алюминиевых деформируемых термоупрочняемых сплавов. Контроль микроструктуры на пережог металлографическим методом [Текст]:ГОСТ 27637-1988. - Введ. 1989-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1988. - 21с.: ил.

28. Методы испытаний на растяжение [Текст]: ГОСТ 1497-1984. - введен 1986-01-01- М.: Изд-во стандартов, 1986. -IV, 32 с.: ил.

29. Метод измерения твердости по Бринеллю [Текст]: ГОСТ 9012-1959. - Введ. 1960-01-16. - М.: Изд-во стандартов, 1962. -I, 110 с.: ил.

30. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия [Текст]: ГОСТ 1583-1993. - Введ. 1997-01-01-. - М.: Изд-во стандартов, 1997. 28с.: ил.

31. Свойства литейных алюминиевых сплавов и области их применения [Электронный ресурс] // ООО «СплавВторМет»: [сайт].URL:http://www.splavmet.com/data/other/feature_of_aluminium_alloys/html/(датаобращения 5.05.2018).

32. **Добаткин, В.И. Быстрозакристаллизованные алюминиевые сплавы** [Текст]: учеб. для вузов/В.И. Добаткин, В.И. Елагин, В.М. Фёдоров-М.: ВИЛС, 1995. - 341 с.

33. **Золоторевский, В.С. МиТОМ** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ В.С. Золоторевский, В. В. Телешов. - 7-е изд. - М, 1970. - 67 с.

34. **Золоторевский, В.С. Цветная металлургия** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ В.С. Золоторевский, В.В. Телешов, Ю.П. Адлер. - 6-е изд.- М, 1966. - 211 с.

35. **Золоторевский, В.С. Цветная металлургия** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ В.С. Золоторевский, Е.В. Кук, И.Г. Равич.- 5-е изд. - М, 1966. - 158 с.

36. **Мартин, Дж. Стабильность микроструктуры металлических систем: Пер. с англ. / Под ред. В.Н. Быкова** [Текст]: учеб. для вузов/ Мартин Дж., Доэрти Р. - М.: Атомиздат, 1978. - 268 с.

37. **Крымов, В.В. Металловедение и обработка цветных металлов и сплавов** [Текст]: учеб. для вузов/ В.В.Крымов, В.К. Фёдорова - М.: Металлургиздат, 1957. - 320 с.

38. **Литейный сплав на основе алюминия** [Текст]: пат. 2247789 Рос. Федерация: МПК C22C21/12/ Тихонов А.А.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Композит» - № 2003124454/02; заявл. 07.08.2003; опубл. 10.03.2005 Бюл. №7

39. **Литейный сплав на основе алюминия и способ получения защитного покрытия на его поверхности**[Текст]: пат. 2421536 Рос. Федерация: МПК C22C21/12, C25D11/06/ Бокштейн Б.С.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» - № 2009137837/02; заявл. 13.10.2009; опубл. 20.06.2011 Бюл. № 17

40. **Литейный сплав на основе алюминия** [Текст]: пат. 2447174 Рос. Федерация: МПК C22C21/12, C22C21/10, C22C21/06/ Антипов В.В.; заявитель и

патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) (RU) - № 2011112952/02; заявл. 05.04.2011; опубл. 10.04.2012 Бюл. № 10

41. Содержащие магний высококремниевые алюминиевые сплавы, используемые в качестве конструкционных материалов, и способ их изготовления [Текст]: пат. 2463371 Рос. Федерация: МПК C22C21/02, C22C21/08/ ЗУО Лианг; заявитель и патентообладатель Нортхеастерн Университеты - № 2009149092/02; заявл. 30.06.2008; опубл. 10.10.2012 Бюл. № 28

42. Способ модифицирования алюминиево-кремниевых сплавов [Текст]: 2475550 Рос. Федерация: МПК C22C1/06, C22C21/02, C22B9/10/ Кушенко Г.Г.; заявитель и патентообладатель Учреждение Российской академии наук, Институт вычислительного моделирования, Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМ СО РАН) - № 2011130628/02; заявл. 21.07.2011; опубл. 20.02.2013 Бюл. № 5

43. Литейный алюминиевый сплав [Текст]: пат. 2485199 Рос. Федерация: МПК C22C21/10/ Белов В.Д.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования, «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Открытое акционерное общество «Уфимское моторостроительное производственное объединение» - № 2011149034/02; заявл. 02.12.2011; опубл. 20.06.2013 Бюл. № 17

44. Литейные алюминиевые сплавы [Электронный ресурс] // Сплавы на основе алюминия: [сайт]. URL: http://studbooks.net/1460860/tovarovedenie/liteynye_aluminiumevye_splavy (дата обращения 4.05.2018).

45. Способы очистки алюминиевых сплавов [Электронный ресурс] // FindPatent.ru: [сайт]. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/241/2415733.html> (дата обращения 5.05.2018).

46. Строганов, Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием [Текст]: учеб. для вузов/ Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман - М.: Металлургия, 1977. - 271 с.

47. **Сетюков, О.А. Цветная металлургия** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ О.А. Сетюков, И.И. Новиков, А.Е. Семенов. - 4-е изд. - М, 1972. - 127 с.

48. **Сетюков, О.А. Цветная металлургия** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ О.А. Сетюков, А.Е. Семенов, В.С. Золоторевский. - 2-е изд. - М, 1975. - 182 с.

49. **Мальцев, М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов** [Текст]: учеб. для вузов/ М.В. Мальцев - М.: Металлургия, 1964. - 214 с.

50. **Телешов, В.В. Цветная металлургия** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ В.В. Телешов, В.С. Золоторевский. - 4-е изд. - М, 1971. - 112 с.

51. **Соснина, Е.И. Рост и несовершенства металлических кристаллов.** - [Текст]: учеб. пособие для студентов/ Е.И. Соснина, Л. И. Мелешко. - 1-е изд. - М, 1966 - 284 с.

52. **Бочвар, А.А. Технология цветных металлов** [Текст]: учеб. для вузов/ А.А. Бочвар - М.: Металлургиздат, 1947. - 223 с.

53. **Золоторевский, В.С. Сплавы цветных металлов** [Текст]: учеб. пособие для вузов/ В.С. Золоторевский, И.И. Новиков, Т.А. Орелкина - М.: Наука, 1972. - 262 с.

54. **Левин, Л.И. Технология легких сплавов** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ Л.И. Левин, А.С. Золоторевский, В.А. Захаров. - 7-е изд. - М, 1976. - 54 с.

55. **Белоусов, Н.И. Цветная металлургия** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ Н.И. Белоусов, В.С. Золоторевский, Л.Я. Кашевник. - 3-е изд. - М, 1977. - 118 с.

56. **Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов** [Текст]: учеб. для вузов/ Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.Я. Елагин - М.: Металлургия, 1972. - 311 с.

57. **Елагин, В.И. Цветные металлы** [Текст]: учеб. пособие для студентов/ В.И. Елагин, В.В. Захаров, Т.Д. Ростова. - 12-е изд. - М, 1982. - 116 с.

58. **Елагин, В.И. Металловедение и термическая обработка металлов**
[Текст]: учеб. пособие для студентов/ В.Я. Елагин, В.В. Захаров, Т.Д. Ростова. - 7-е изд. - М, 1983. - 78 с.

59. **Новиков, Я.Я. В кн.: Металловедение и технология легких сплавов**
[Текст]: учеб. пособие для студентов/ Я.Я. Новиков, А. Е. Семенов, О. В. Сетюков. - 3-е изд.- М, 1976. - 161 с.

60. **Устройство для рафинирования алюминия** [Текст]: Патент № 4469512. США:МПКС15В011/03, С15В003/02/*JohnsonArthur*.: заявитель и патентообладатель. *JohnsonArthur*. заявл. 05.05.1962; опубл. 27.05.1966, бюл. №12 - 8 с: ил.

Приложение А

МАШИНА ИР 5145-500
ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ

Поместите дополнительные сведения в файл Header.txt, который находится в папке программы, и они автоматически будут добавляться в каждый протокол. Имя файла можно изменить по команде Анализ\Параметры.

Партия	№ 1
Образец	№ 1
Наименование	Цилиндр. обр
Марка	Силумин
Состояние	0
Вид испытания	растяжение
Дата	06.06.2018 9:22:23
Скорость	5,0 мм/мин
Температура	23,0 °C
Тип датчика	500000 Н
Оператор	Гуськов М.С,
Примечание	разрыв в расчетной части
Размеры круглого образца:	
- диаметр	10,00 мм .
- сечение	78,54 мм ² .
- рабочая длина	60,00 мм
- расчетная длина	50,00 мм .
Размеры после испытания:	
- диаметр	9,90 мм .
- сечение	76,977 мм ²
- рабочая длина	64,00 мм
- расчетная длина	53,00 мм .
- удлинение после разрыва	6,000 %; (3,000 мм)
- сужение сечения	1,99 %
Расчет по перемещению:	
Временное сопротивление	104,91 МПа; (8240 Н)
Пределы текучести:	
- верхний	92,31 МПа; (7250 Н)
- нижний	92,055 МПа; (7230 Н)
- условный (пластическая деформация 0,20%)	99,332 МПа; (7801,5 Н)
Условное сопротивление разрыву	100,59 МПа; (7900 Н)
Истинное сопротивление разрыву	102,63 МПа; (7900 Н)

Поместите дополнительные сведения (например, требования технической и конструкторской документации) в файл Footer.txt,

Приложение Б

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ119.ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



ФГБОУ ВО ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет машиностроения и транспорта

Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

*Зависимость литейных и механических свойств
группы алюминиевых сплавов, очищенных
расплавленными флюсами от их состава и
структуры*

Выполнил: ст. гр. 14MT1

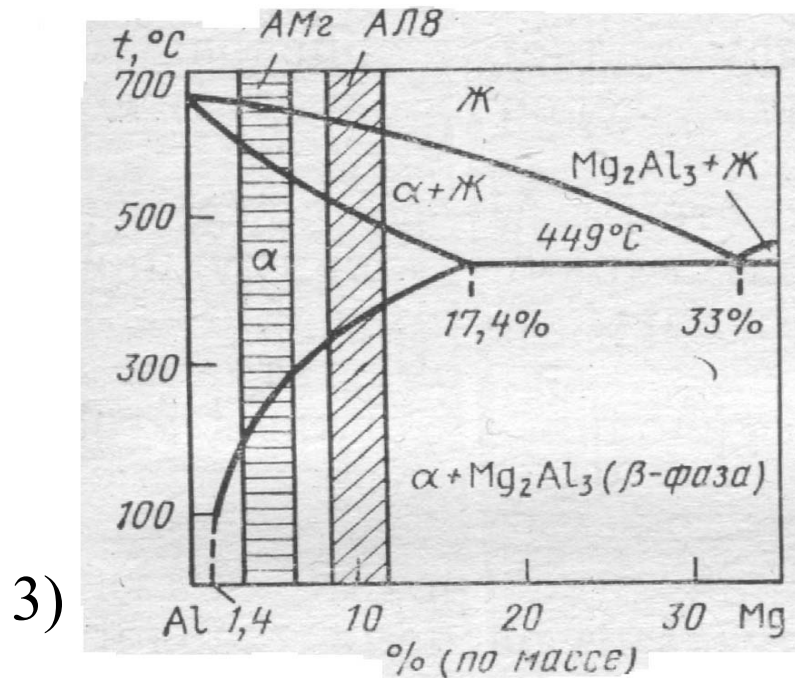
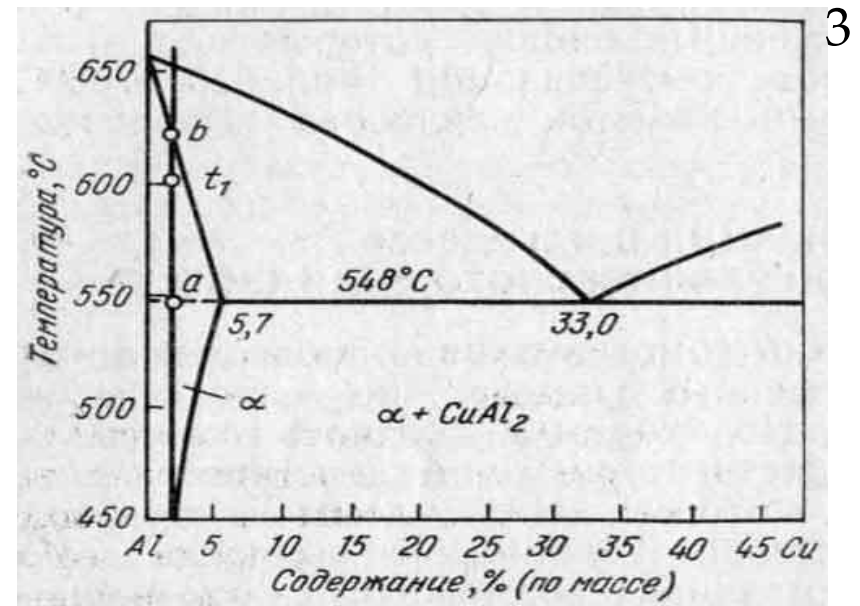
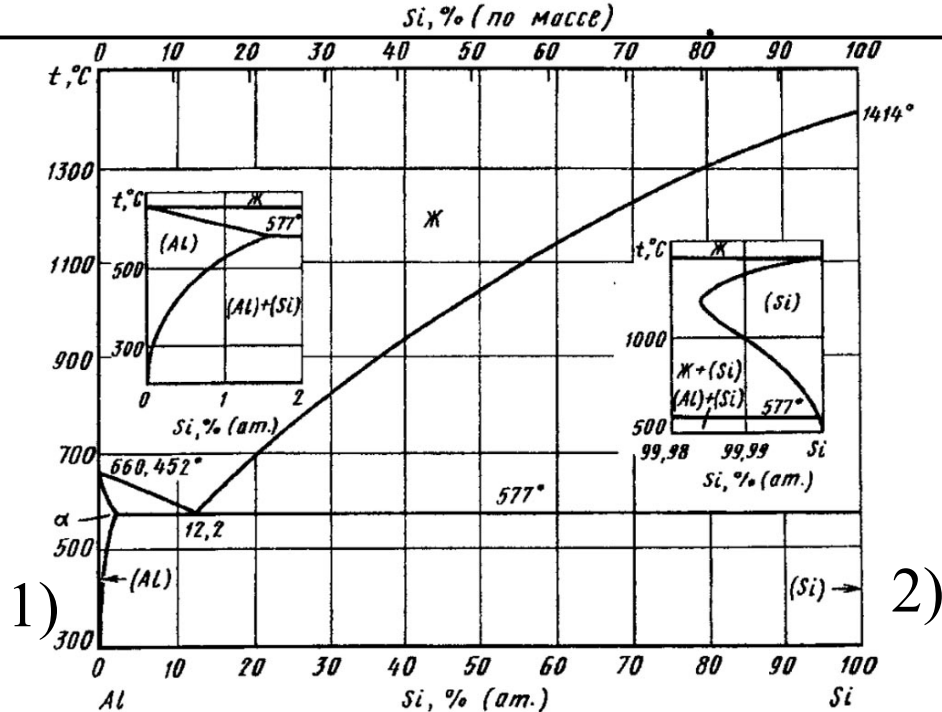
Сарабьев А. А.

Руководитель: Дурина Т.А.

Цели и задачи:

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является исследование алюминиевого сплава очищенного путем комплексного рафинирования расплавленными флюсами. Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- – изучение необходимой литературы и подготовка образцов для изучения состава и свойств;
- – проведение практических экспериментов по очистке металла;
- – проведение анализа очищенного металла на химический состав, литейные свойства и механические
- Объектом исследования является алюминиевый сплав на основе кремния
- Предметом исследования являются свойства алюминиевого сплава рафинированного расплавленными флюсами (АК-5М2)



- 1) – Диаграмма состояния:
Al-Si
- 2) – Диаграмма состояния:
Al- Cu
- 3) – Диаграмма состояния:
Al-Mg

Метод рафинирования алюминиевого сплава расплавленными солевыми флюсами

4



Рисунок 1 – Печь марки СШОЛ
60/12-Т в закрытом состоянии



Рисунок 2 – Две полуформы кокиля

Разработал	Сарабьев А.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Дурина Т. А.	гр. 14МТ1



Рисунок 3 – Соль NaCl плюс Na_3AlF_6 плюс KCl



Рисунок 4 – Заливка металла в тигли с расплавленными флюсами

N	Наименование работ	Время	Температура	Примечание 6
1.	Включение печи	11:00	15° С	
2.	Установка тигля и загрузка шихты	11:10	250° С	Печь СНОЛ 12х12
3.	Прогрев кокиля	11:15	200° С	Печь
4.	Плавка алюминиевого сплава	11:55	740° С	Жидкое состояние сплава
5.	Выдержка сплава в печи	с 12:00 до 14:00	740° С	Печь СНОЛ 12х12
6.	Заливка 1-ого образца температура кокиля 300° С	14:05	740° С	Длинный образец
7.	Установка тигля и повторный нагрев	14:07	670° С	Выдержка один час
8.	Заливка 2-ого образца, температура кокиля 300° С	15:10	720° С	Короткий образец
9.	Отключение печи	15:15	700° С	Конец плавки
		РазработалСарабьев А.А. РуководительДурина Т. А.		Каф. «СПТиМ» гр. 14МТ1

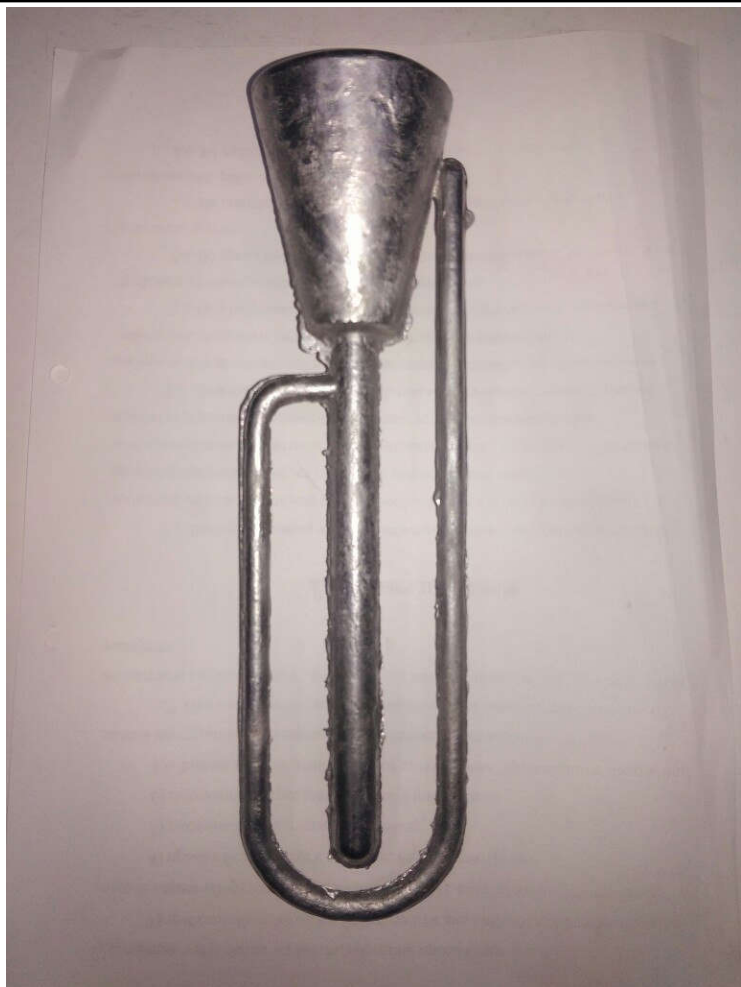
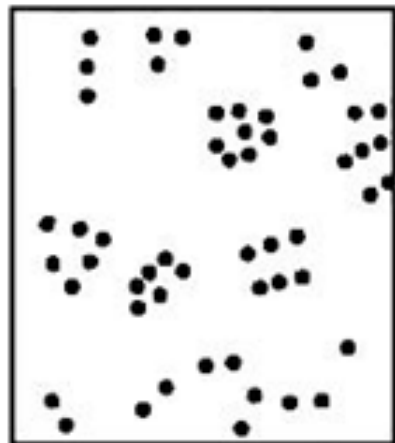


Рисунок 5 – Образец на жидкотекучесть, залитый в U пробу, из сплава рафинированного расплавленными флюсами

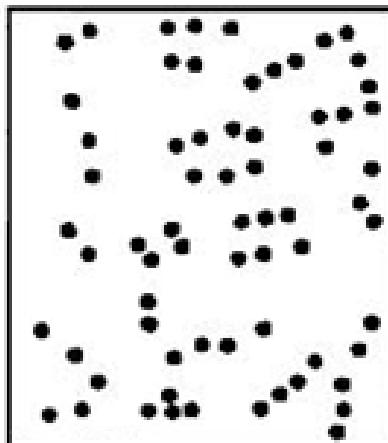


Рисунок 6 – Образец на жидкотекучесть, залитый в U пробу, из сплава рафинированного покрывными флюсами

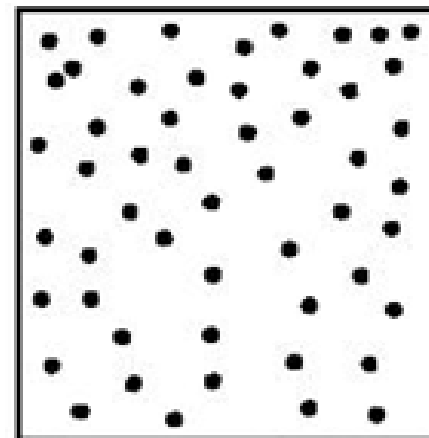
Методика определения газовой пористости в алюминиевых 8 литейных сплавах



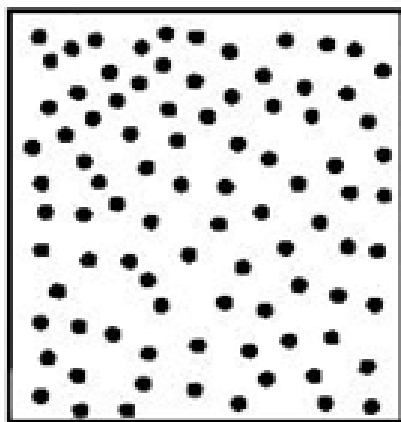
Балл 1



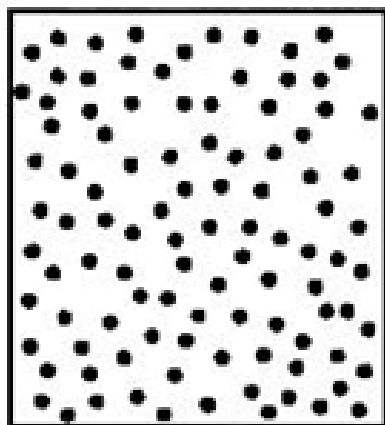
Балл 2



Балл 3



Балл 4



Балл 5

Шкала состоит из пяти эталонов:

- ☐ балл 1 - мелкая пористость;
- ☐ балл 2 - пониженная пористость;
- ☐ балл 3 - средняя пористость;
- ☐ балл 4 - повышенная пористость;
- ☐ балл 5 - высокая пористость.

Шкала пористости алюминиевых
СПЛАВОВ



Рисунок 7 – Пористость
после рафинирования
покрывными флюсами



Рисунок 8 –Пористость после
рафинирования расплавленными
флюсами

СОСТАВ ОЧИЩЕННОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

10

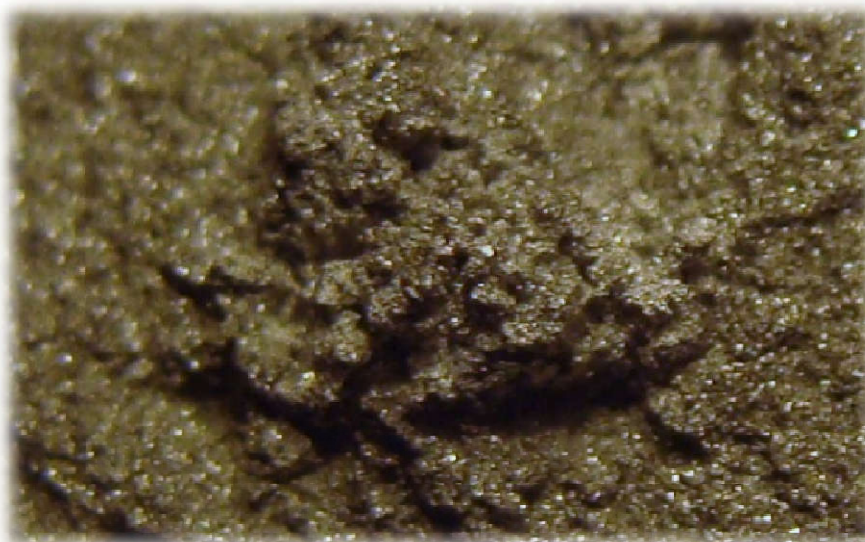


Рисунок 9 – Излом
образца из металла,
рафинированного
покрывными флюсами,
х 200

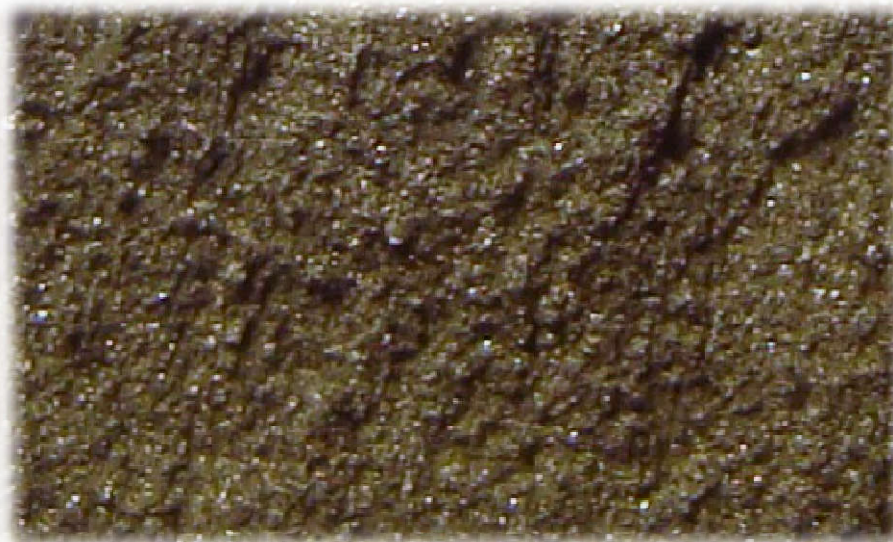


Рисунок 10 – Структура
образца из металла,
рафинированного
расплавленными флюсами,
х 200

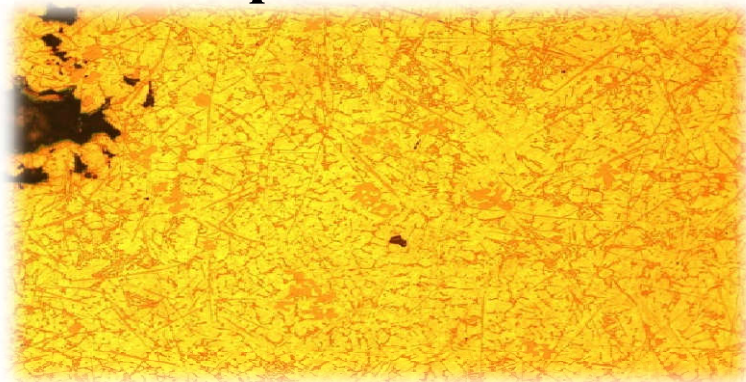
Концентрация массовых долей в % АК-5М2

Элемент	Al	Mg	Cu	Si	Fe	Mn	Zn	Ti	Pb
Процентное содержание	89.9	0.22	0.57	5.03	1.24	0.42	1.16	1.151	0.15

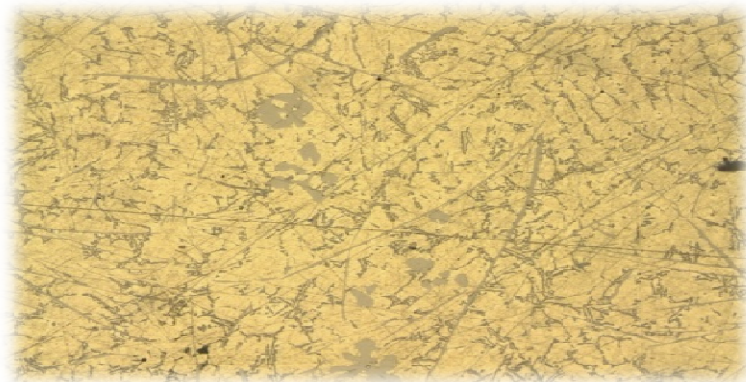
МИКРОАНАЛИЗ ОЧИЩЕННОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

12

**Рафинирование покрывными
флюсами**

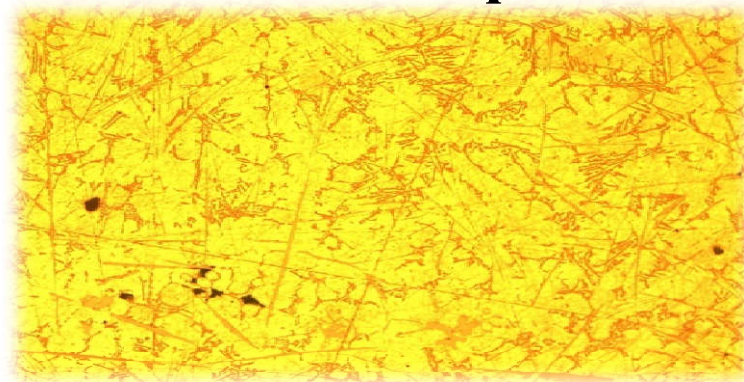


100х-2 середина

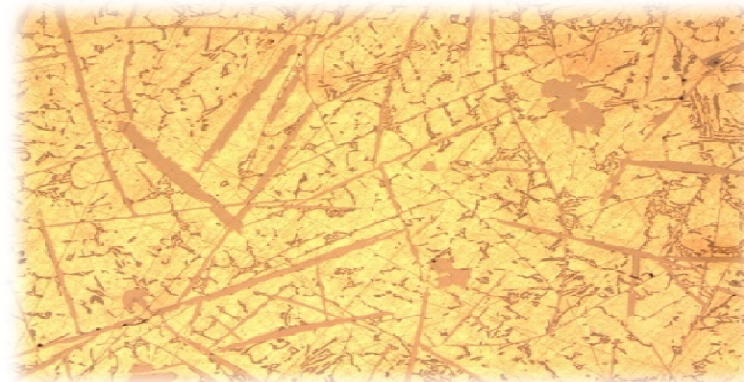


200х-2 середина

**Рафинирование
расплавленными флюсами**



100х-1 середина



200х-1 середина

Механические характеристики

Сплав	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %
АК-5М4	139,72	0,5
АК-5М4*	159,30	0,5
АК-7	134,56	0,5
АК-7*	159,60	0,5
АК-5М2	95,40	6,0
АК-5М2*	104,91	6,0

Образец	АК-5М4	АК-5М4*	АК-7	АК-7*	АК-5М2	АК-5М2*
Твердость НВ	76,3	102,5	70,36	93,67	47,08	61,9

Выводы:

- - разработаны теоретические вопросы на базе экспериментальных исследований, сущность способа заключается в пропускание расплава солей через расплав алюминия. В расплавленную соль, удельной вес которой меньше удельного веса металла, вливают расплавленный металл. При этом, чем меньше разность удельных весов соли и металла и меньше поверхность контакта соли и металла, тем интенсивнее проводят перемешивание расплавленной соли;
- -проведены испытания на разрыв и измерение твердости. Результаты показали, что метод очищения расплавами солей не только не снижает механических свойств, но и уменьшает возможность образования дефектов связанных с наличием газов в расплаве.
- -проведен микроанализ очищенного алюминиевого сплава. Результаты показали, что данные очищенные сплавы обладает высокой твердостью(от 50 до 110 НВ), прочностью (временное сопротивление разрыву от 120 до 160 МПа), зерна скруглены, поэтому металл будет более пластичный с равномерной структурой.