

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Материаловедение и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.И Темных
«____» _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление: 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Оценка степени загрязненности литьевых алюминиевых сплавов

Научный руководитель

Масанский О.А.

(подпись, дата)

Выпускник

Станкеев В.В.

(подпись, дата)

Нормоконтролер

Свечникова Л.А.

(подпись, дата)

Красноярск 2020

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
 Кафедра «Материаловедение и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В. И. Темных

« _____ » _____ 2020г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Студенту Станкееву Владиславу Вадимовичу

Группа: МТ 16-01Б

Направление (специальность): 22.03.01 Материаловедение и технологии обработки материалов

Профиль: 22.03.01.07 Материаловедение и технологии материалов в машиностроении

Тема ВКР: Оценка степени загрязненности литейных алюминиевых сплавов

Утвержденная приказом по университету № 21639/с, от 27.12.2019 г.

Исходные данные для ВКР: информационный обзор, исследования на кафедре.

Перечень разделов ВКР:

1. Современное представление о неметаллических включениях в алюминиевых сплавах
2. Количественный анализ неметаллических включений в алюминии и его сплавах
3. Экспериментальное оборудование и методы проведения исследований
4. Экспериментальные исследования

Перечень графического материала: Презентационный материал

Руководитель

подпись, дата

доцент, канд. тех. наук

должность, ученая степень

О.А. Масанский

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, дата

В.В.Станкеев

инициалы, фамилия

Аннотация

В настоящее время в алюминиевой промышленности по изготовлению дисков автомобильных колес существуют определенные сложности, обусловленные повышенными требованиями к механическим и литейным свойствам сплавов. Получение заданного комплекса физико-механических свойств обусловлено как технологией получения сплава, так и его контролем на наличие неметаллических включений. Тем самым это приводит к разработке новых методик по оценки степени загрязненности металлического сплава, позволяющих сократить время проведения исследований, снизить трудозатраты и применение дорогостоящего, сложного в обслуживании оборудования

В данной выпускной квалификационной работе представлены результаты исследования литейных алюминиевых сплавов на оценку наличия неметаллических включений, полученных с применением метода К-тест.

Представленная работа была выполнена в соответствии с планами проведения опытно-промышленных работ ООО «ЛМЗ «СКАД».

Ключевые слова: алюминиевый сплав, неметаллические включения, метод К-тест, литейное производство

Реферат

Выпускная квалификационная работа по теме «Оценка степени загрязненности литейных алюминиевых сплавов» содержит 50 страниц, 27 рисунков, 7 таблиц и 33 источника литературы.

Цель работы: целью данной работы является совершенствование метода проведения количественного анализа, для оценки степени загрязненности алюминиевых расплавов на разных этапах технологического процесса.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи:**

1. Изучить основные методы проведения количественного анализа оценки степени загрязненности алюминиевых сплавов
2. Получить образцы, для проведения количественного анализа оценки степени загрязненности по методу К-тест;
3. Определить влияние состава шихты на степень загрязненности сплава по методу К-тест;
4. Определить типы неметаллических включений и привести рекомендации по дальнейшему рафинированию сплава;

Содержание

Введение.....	7
1 Современное представление о неметаллических включениях в алюминиевых сплавах	8
1.1 Влияние неметаллических включений на структуру и свойства алюминиевых сплавов	8
1.2 Типы неметаллических включений в алюминии.....	14
2 Количественный анализ неметаллических включений в алюминии и его сплавах.....	17
2.1 Металлографический метод.....	17
2.2 Метод глубокого щелочного травления	18
2.3 Метод Ш.....	22
2.4 Метод К	23
2.5 Метод П.....	24
2.6 Метод Л	25
2.7 Метод PoDFA / PerfilTest	26
2.8 К-Тест	27
3 Экспериментальное оборудование и методы проведения исследований	30
3.1 Оборудование и технологическая оснастка для проведения К-Теста...	30
3.2 Исследование фрактуры излома образцов	34
3.3 Определение химического состава	35
3.4 Метод определения индекса плотности	36
4 Экспериментальные исследования.....	38
4.1 Металлографические исследования.....	38
4.2 Энергодисперсионный анализ	43
4.3 Определение индекса плотности.....	45
Выводы	46
Список использованных источников	47

Введение

В настоящее время в современной, развивающейся промышленности разрабатывается и вводится в эксплуатацию большое количество принципиально новых и технически усовершенствованных деталей машин, оборудования, устройств, что неизбежно приводит к ужесточению требований к ним, к необходимости повышения их эксплуатационных характеристик. Следовательно, получение металлов и сплавов, обеспечивающих изготовление деталей и изделий высокого качества, с требуемой структурой и комплексом физико-механических свойств, на сегодняшний день является актуальной задачей. Стоит отметить, что с целью повышения технико-экономических показателей, особое внимание уделяется снижению массы изделий, что значительно повышает спрос на металлы и сплавы малой плотности, одним из которых является алюминий. Для получения литых изделий наиболее востребованными, благодаря сочетанию литейных, механических, эксплуатационных и некоторых других свойств, являются силумины.

Получение высокого уровня физико-механических свойств металлов и сплавов и выхода годных изделий требует решения комплекса задач практического и теоретического плана, связанного с выплавкой и формированием необходимой структуры отливок.

Качество полученных отливок в большей степени определяется их однородностью, что, в свою очередь, зависит от количества, размера и природы неметаллических включений, формирующихся в отливке (слитке) в процессе кристаллизации. Содержание неметаллических включений в объеме металла относительно мало, но при этом их наличие приводят к существенному снижению качества металла и, как следствие, браку готовой продукции.

1 Современное представление о неметаллических включениях в алюминиевых сплавах

Современное развитие автомобильной промышленности направлено на снижение доли стальных конструкций и элементов за счет внедрения новых конструкционных и композиционных материалов на основе алюминия и магния. Применение таких материалов позволяет значительно снизить массу изделия и повысить технико-экономические показатели [1].

Одним из критериев оценки качества изделий из алюминиевых сплавов является наличие неметаллических включений. Контроль качества продукта обычно начинается с контроля качества используемого расплава на всех технологических этапах его получения. Чем выше точность и меньшее время затрачивается для определения степени загрязненности расплава, тем выше эффективность производственного цикла, за счет увеличения годного и качество готовой продукции.

1.1 Влияние неметаллических включений на структуру и свойства алюминиевых сплавов

Изучения в области алюминиевого литья на ООО «ЛМЗ «СКАД»» и других предприятиях России позволяет сформулировать некоторые перспективные направления работ:

1. Организация жесткого и непрерывного контроля структуры и физических, механических и литейных свойств сплавов в жидком и твердом состояниях и качества отливок [2].
2. Проведение комплексных исследований, для повышения качества чушковых вторичных сплавов на предприятиях-производителях алюминиевых сплавов. Следует пересмотреть и ужесточить требования к сплавам относительно интервалов (пределов) содержания легирующих элементов и примесей; содержания водорода и неметаллических включений; параметров структуры и уровня механических свойств; увеличения доли вторичных

сплавов в производстве отливок до 40–60 %; определения оптимальных составов шихты для каждой марки сплава [3].

Таблица 1.1 – Проблемы в технологиях алюминиевого литья

Проблемы	Получаемый результат
Нестабильность качества состава шихты и отсутствие объективного контроля качества шихтовых материалов	Нестабильность химического состава, качества расплава, высокий брак отливок, пониженный уровень механических свойств
Применение устаревших плавильных печей	Невысокая производительность, излишние потери металла в шлак, неоднородное строение расплава
Необоснованное разнообразие реагентов для обработки расплава (рафинирование, модифицирование), отсутствие экспрессных методов оценки качества расплава	Низкоэффективная обработка расплава, нестабильность качества расплава и отливок
Применение устаревших марок сплавов и способов литья	Низкий уровень прочностных свойств, заниженный коэффициент использования металла и выход годного
Некомпетентность специалистов в применение компьютерных программ и технологий проектирования, моделирования и контроля	Повышенный расход металла на питание отливки, нестабильность техпроцесса, увеличение производственного цикла

3. Использование современных способов подготовки шихтовых металлов и качественной обработки расплавов. Особое внимание следует обратить на приоритетные технологии, которые позволяют решать в комплексе многие задачи.

Крайне эффективны мелкокристаллические модификаторы, полученные по специальным технологиям из переплавов обрабатываемых сплавов и

лигатур. Перспективны физико-механические способы обработки расплавов: ультразвуковая, магнитно-импульсная, температурно-временная, фильтрационная и др. [4]

4. Повышение прочности и уменьшение массы отливок за счет применения более современных специальных способов литья (литье под давлением (ЛПД) с вакуумированием и с подпрессовкой, ЛНД с разными вариантами противодавления, ЛКД, рео- и тиксолитье, вытягивание из расплава) и компьютерных программ (САПР «Отливка», «Полигон», LVM Flow и др.).

Затраты на изготовление отливок могут быть заметно снижены за счет применения при приготовлении сплавов более дешевых шихтовых материалов. Однако в этом случае обязательно тщательное рафинирование расплавов от водорода, металлических примесей и неметаллических включений (НМВ). Конкурентность вторичных сплавов на рынке металла заметно выросла, что обусловлено не только их меньшей стоимостью, но и широким применением при их производстве технологий комплексной переработки исходного сырья и внепечной рафинирующей и модифицирующей обработки расплавов [5, 6].

Следует отметить, что нет стандартных решений по химическому составу вторичных сплавов, которые могли бы по свойствам быть в полной мере аналогами первичных, ранее применяемых на этих заводах. Часто неприемлем и переход на сплавы, заимствованные из стандартов других стран. Простой, легкой замены первичного сплава вторичным, как правило, сделать не удается. Исследованиями доказано, что сплавы, соответствующие ГОСТ 1583-93 по химического составу и свойствам, но приготовленные из первичных металлов или отходов (лома, возврата собственного производства, стружки, шлака, сливов, бракованных деталей и отливок) часто существенно отличаются по структуре и технологическим свойствам. В связи с этим для адаптации вторичного сплава к конкретным условиям изготовления отливки и требованиям, предъявляемым к ней конструкторской документацией, нужны всесторонние исследования его структуры и свойств [7].

При использовании низкосортной шихты для изготовления деталей автомобилей технологии плавки и литья алюминиевых сплавов должны адаптироваться к конкретным производственным условиям и требованиям, предъявляемым к детали (отливке) конструкторской документацией [8].

Это можно объяснить тем, что использование повышенного количества низкосортной шихты при выплавке алюминиевых литейных сплавов значительно снижает их свойства: способствует насыщению газами, неметаллическими включениями, приводит к неизбежному накоплению нежелательных примесей, в том числе и железа, образующего с компонентами сплавов сложные интерметаллические соединения, которые приводят к снижению пластичности и коррозионной стойкости, ухудшению обработки отливок резанием [9, 10].

В России требования, предъявляемые к колесам из легких сплавов, изложены в ГОСТ Р 50511-93 «Колеса из легких сплавов для пневматических шин». Общие технические требования». В соответствии с этим ГОСТ механические свойства материалов колес должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 1.2.

Как следует из таблицы 1.2, сплав для изготовления литых автомобильных колес должен иметь высокий уровень механических свойств: прочности, пластичности и твердости.

Таблица 1.2 – Механические свойства материалов колес

Вид материала	Механические свойства			
	Временное сопротивление на разрыв, МПа	Предел текучести условный, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю, НВ
Нетермообрабатываемый	160	80	5	45–60
Термообрабатываемый	210	140		75–95

Помимо хороших механических и эксплуатационных свойств, сплав должен иметь высокие технологические свойства: хорошую жидкотекучесть, малую склонность к образованию горячих трещин. Сплав должен иметь небольшую усадку, предпочтительнее в виде усадочной пористости [11].

Присутствие неметаллических включений в алюминиевых литьх сплавах является обычным делом. Неметаллические включения можно найти в любом слитке независимо от применяемых технологических методов плавления и разливки.

Обычно любые нерастворенные посторонние частицы, которые присутствуют в литом металле, называют включениями. Неметаллические включения в литьх слитках отрицательно влияют на их технологичность при прессовании, конечные механические свойства и внешний вид. Поэтому снижение количества включений в литьх заготовках для прессования – является важной частью контроля качества при их производстве.

Известны несколько типов неметаллических включений в алюминиевых столбах, такие как оксиды алюминия, оксиды магния, частицы футеровки печей, шпинели и карбиды. Основное влияние на качество литого металла, оказывает его микроструктура, однородность, химический состав и степень загрязненности или, если угодно, степень чистоты. [12]

Факторами, которые определяют чистоту и, следовательно, качество расплавленного алюминия являются:

- содержание примесей щелочных металлов;
- твердые загрязнения (включения);
- растворенный водород.

Форма и размеры включений в алюминиевом расплаве бывают различных форм, такие как пленки, отдельные частицы и агломерирующих включения оксидов, нитридов, боридов, карбидов и других комбинаций элементов, например, хлоридов и CaS.

Влияние неметаллических включений на свойства отливок определяется их природой, размером, формой, количеством и распределением. Крупные

неметаллические включения (макровключения), имеющие размеры от 0,1 до 1,0 мм и плены с локальным характером распределения наиболее вредны, так как в местах их нахождения ослабляется сечение отливки, снижаются пластические свойства сплавов. Эти включения, являясь концентраторами напряжений, способствуют разрушению отливок. В деформированных полуфабрикатах они служат причиной расслоений, брака по низким механическим свойствам и поверхностным дефектам. Крупные неметаллические включения, как правило, неравномерно распределяются по объему отливки, скапливаясь преимущественно в массивных частях, затвердевающих в последнюю очередь. Наличие таких включений в тонких сечениях отливки приводит к резкому уменьшению механической прочности сплава и браку изделий [13]. Мелкодисперсные включения (микровключения), имеющие размеры от 0,05 до 10 мкм в алюминиевых сплавах оказывают различное действие на их физико-механические свойства. С одной стороны, дисперсные включения способствуют измельчению макроструктуры сплавов [14], что приводит к повышению прочности последних. С другой стороны, известно, что дисперсные включения повышают вязкость расплавов, снижают жидкотекучесть, способствуют развитию усадочных рыхлот, образуют комплексы с водородом, задерживая его диффузационное выделение и повышая его остаточное содержание в расплавах на основе алюминия, тем самым интенсифицируя образование газовой пористости в отливках. В целом, влияние крупных и тонкодисперсных неметаллических включений на свойства алюминиевых сплавов неблагоприятное [15].

Размер этих включений может изменяться от нескольких микронов до полмиллиметра. Количество включений, которое может быть в одном килограмме алюминиевого расплава, составляет от сотни до нескольких тысяч. Образующиеся в расплаве включения могут быть причиной различных дефектов, снижать механические свойства изделий и качество их поверхности.

Если эти включения не удалить из расплава, они сохраняются после кристаллизации и повлекут образование многих дефектов в конечной продукции, основные из которых:

- “проколы” в фольге;
- поверхностные дефекты катаных изделий;
- трещины в слитках;
- плохую обрабатываемость резанием;
- дефекты прессования;
- повышенный износ прессовых матриц и др. .

1.2 Типы неметаллических включений в алюминии

В расплаве алюминия присутствуют различные типы включений – металлические и неметаллические. Обычно их видно в оптический микроскоп. Типичными неметаллическими включениями наиболее часто встречающиеся в алюминиевых сплавах являются:

- оксиды (Al_2O_3);
- шпинели (Al_2MgO_4 , MgO);
- бориды (TiB_2).

В сплавах типа 6060 и 6063 присутствуют также металлические включения, такие как Al-Si-Mg и Al-Si-Fe. Эти выделения могут принимать форму игл, пластин, дендритов, стержней.

Источниками включения в расплавленном алюминии на различных этапах производства являются:

- бокситы в электролизной ячейке;
- алюминиевый лом при его переплавке;
- огнеупорные материалы печи и другого плавильного оборудования;
- воздух атмосферы при легировании и течении расплава к литейной машине;
- введение прутка для измельчения зерна;

– перемешивание расплава.

Оксид алюминия(Al₂O₃), из всех включений, является наиболее распространенным во всех алюминиевых сплавах. Существует два вида структуры оксида алюминия – альфа и гамма, а также аморфная его форма. Их можно различать под рентгеновским микроскопом.

Оксид алюминия чаще всего встречается в виде пленки или группы пленок толщиной менее 1 мкм и диаметром от 10 до 1000 мкм. В этих пленках под электронным микроскопом часто находят другие элементы, такие как магний, цинк, марганец и железо.

Известны три основных источника оксида алюминия в алюминиевом расплаве:

- из алюминиевых руд при электролизе алюминия – в виде тонких пленок или толстых агломератов;
- от контакта расплава алюминия с атмосферой;
- от реакции расплава с футеровкой печи и другого плавильного оборудования – красноватые или коричневые оксиды.

К **шпинелям** относятся включения Al₂MgO₄ и MgO. Характерными признаками шпинели является октаэдрический облик кристаллов и высокая твердость. Температура плавления шпинели 2135 °С. Нагревание шпинели до 900 °С приводит к неупорядоченному распределению атомов Mg и Al. Их особенностью в сплавах алюминий-магний серии 5xxx. Они имеют вид черных или коричневых толстых пленок толщиной от 10 до 500 мкм, а также – удлиненных крупных частиц [33]. Эти включения увеличиваются в размере, когда расплав окисляется при высокой температуре. Кроме того, шпинели известны как вредные включения из-за своей высокой твердости и больших размеров – они повреждают прессовую матрицу [16].

Бориды являются мелкими включениями, которые обычно находят в виде кластеров прямоугольной или шестиугольной формы размером от 1 до 50 мкм. Количество боридов увеличивается при вводе модифицирующего прутка в расплав алюминия перед разливкой столбов. Необходимо учитывать

вать, что в расплаве из алюминиевого лома, например, алюминиевых профилей, уже присутствуют некоторое количество боридов, которое возрастает с каждым новым переплавом лома.

Существуют несколько видов боридов – твердых включений – таких как TiB_2 , VB_2 и ZrB_2 , которые трудно отличить друг от друга.

Кроме неметаллических включений на свойства алюминиевых сплавов отрицательное влияние оказывают также различные газы [17, 18, 25]. Взаимодействие алюминия и сплавов системы Al-Si с азотом, кислородом, сложными газами CO , CO_2 , SO_2 , образующимися при сгорании топлива, масел, эмульсий и красок, вносимых в печь вместе с шихтовыми материалами, увеличивает количество нитридов, оксидов, карбидов, сульфидов в расплаве, однако, как правило, не приводит к увеличению газовой пористости [20]. Наиболее сильное отрицательное воздействие на алюминиевые сплавы оказывает водород [17, 22, 23]. По адсорбционной способности алюминий по 12 относению к водороду - элемент малоактивный. Растворимость водорода в твердом алюминии при температуре кристаллизации незначительна и составляет $0,033\text{--}0,036 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$. Однако, при плавлении алюминия растворимость водорода резко возрастает - до $0,66\text{--}0,69 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$. Скачкообразное изменение растворимости водорода в металле в период кристаллизации является причиной образования газовой пористости в отливках [24, 25]. Пористость является основным дефектом, снижающим статические, динамические характеристики отливок и механические свойства сплавов, особенно отрицательно действующим на пластичность [12, 20]. При этом существенное значение имеет не только количество пор, но также их форма, размеры и распределение.

2 Количественный анализ неметаллических включений в алюминии и его сплавах

Иметь информацию о количестве и размерах неметаллических включений в алюминиевом расплаве является очень важным для литьевого производства. Существует несколько инструментальных методов оценки содержания неметаллических включений в алюминиевом расплаве – весьма сложных и недешевых. Каждый из них имеет свои преимущества и свои недостатки. Вот некоторые из них – метод LiMCA, метод PoDFA, метод Prefill-Footprinter, метод ультразвукового обнаружения включений. [12]

2.1 Металлографический метод

Самым доступным и распространенным методом оценки содержания неметаллических включений в алюминиевом сплаве является металлографический метод исследования. Она включает вырезку, шлифовку, полирование, иногда химическую обработку образцов, а затем осмотр их невооруженным взглядом или под микроскопом. [26]

Механическая подготовка образцов:

1. Из алюминиевого столба вырезают поперечные темплеты толщиной 15–20 мм на заданном расстоянии от начала или конца слитка.

2. Одну из поверхностей темплета обрабатывают на шлифовальном круге. Обработку проводят до полного удаления всех следов реза пилы и царапин, а также для получения плоской поверхности [31]. Скорость вращения шлифовального круга – от 200 до 1400 оборотов в минуту в зависимости от шероховатости образца.

3. Поверхность обрабатывают сначала на грубой шлифовальной шкурке (номер 20 по ГОСТ 3647-80), а затем – на более тонкой (номер 4). Таким образом, добиваются максимально гладкой поверхности, так как на грубой

поверхности включения будут прятаться за неровностями и их невозможно будет увидеть после глубокого травления. [27]

2.2 Метод глубокого щелочного травления

Так называемый метод глубокого травления применяется для оценки количества и распределения неметаллических включений по поперечному сечению образцов. Одним из преимуществ этого метода для анализа включений в алюминиевых столбах является то, что он позволяет оценивать распределение включений вдоль столба, что невозможно для других методов.

При глубоком щелочном травлении применяют 15 %-ный раствор гидроксида натрия (NaOH) при температуре 65 °C. Для его приготовления сначала подогревают в подходящем сосуде необходимое количество воды, а затем постепенно добавляют и перемешивают гидроксид натрия. Важно контролировать температуру термометром. Через каждые три опыта раствор меняют. [15]

Когда температура раствора составляет 65 °C в него погружают образцы. Сначала температура раствора снижается, а потом возрастает. Образец травят в течение 15 минут, затем тщательно промывают водой и счищают все следы налета на его поверхности. Толщина травленой поверхности составляет около 0,3 мм. [28]

При глубоком щелочном травлении неметаллические включения вытравливаются. На их месте образуются ямки, которые видны невооруженным взглядом. Эти ямки показывают место расположения включений, но их размеры приблизительно в 10 раз больше, чем размеры реальных включений (рис. 2.1).

Для количественной оценки распределения включений по сечению столба его поперечное сечение разделяют на три равных по площади области как это показано на рисунке 2.2 – центральную C , среднюю M и поверхностную S .



Рисунок 2.1 – Растворенные ямки после травления

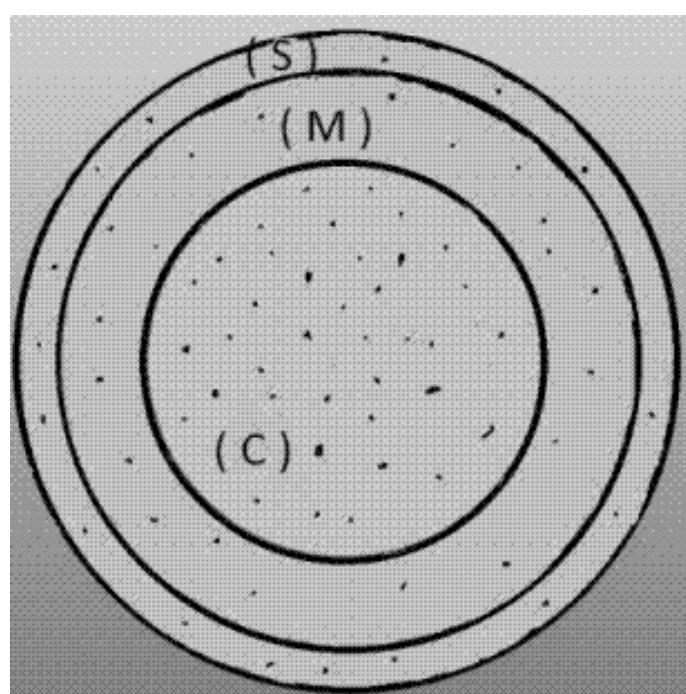


Рисунок 2.2 – Схема разделения поперечного сечения столба

Все ямки, которые видны невооруженным глазом, отмечают черным маркером и делают бумажную копию поверхности с отмеченными ямками на ксероксе.

В зависимости от размеров ямок осуществляют сортировку на две группы: большие и малые. Ямки диаметром более 0,5 мм считают большими, менее 0,5 мм – малыми. Это значит, что включения размером больше 500 мкм считаются большими. [29]

Результаты измерений показали следующее:

- распределение включений по поперечному сечению – в основном в центральной зоне;
- количество и распределение включений вдоль длины столбов зависит от длительности выдержки расплава в печи перед разливкой столбов. Выдержки расплава в течение 10 минут недостаточно. Увеличение длительности выдержки более 30 минут не дает положительного результата;
- при уменьшении объема «болота» в печи в конце разливки столбов приводит к увеличению количества неметаллических включений и оксидных пленок (рис. 2.7) в конце столбов. [24]

Типичное распределение включений в столбе диаметром 152 мм из первичного металла приведено на рисунках 2.3 и 2.4, столбе диаметром 228 мм из вторичного металла – на рисунке 2.5, 2.6.

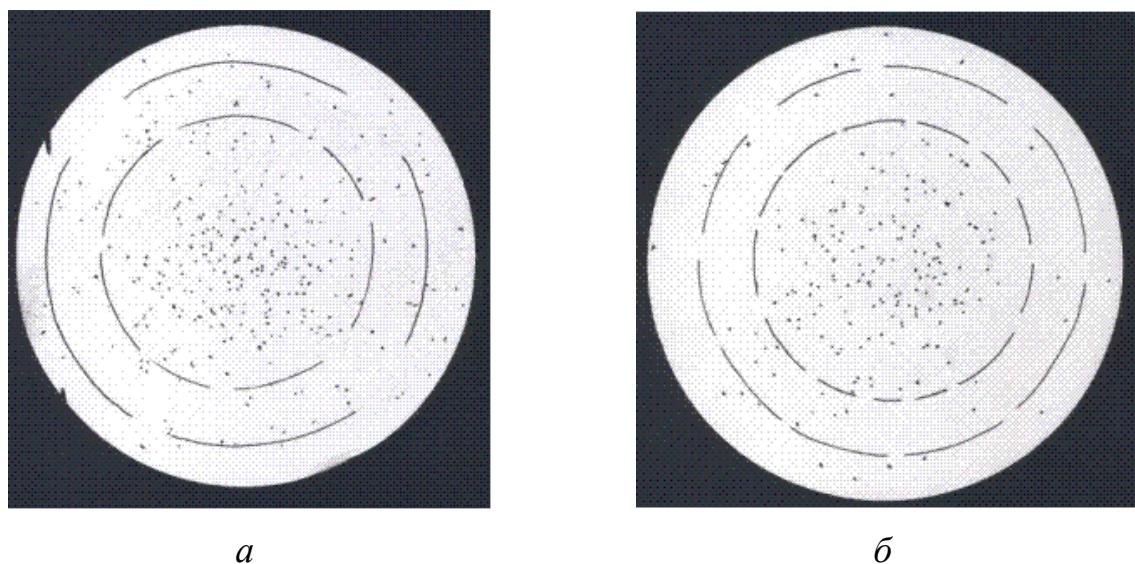


Рисунок 2.3 – Распределение включений в столбе диаметром 152 мм из первичного алюминия: *а* – начало столба, *б* – конец столба

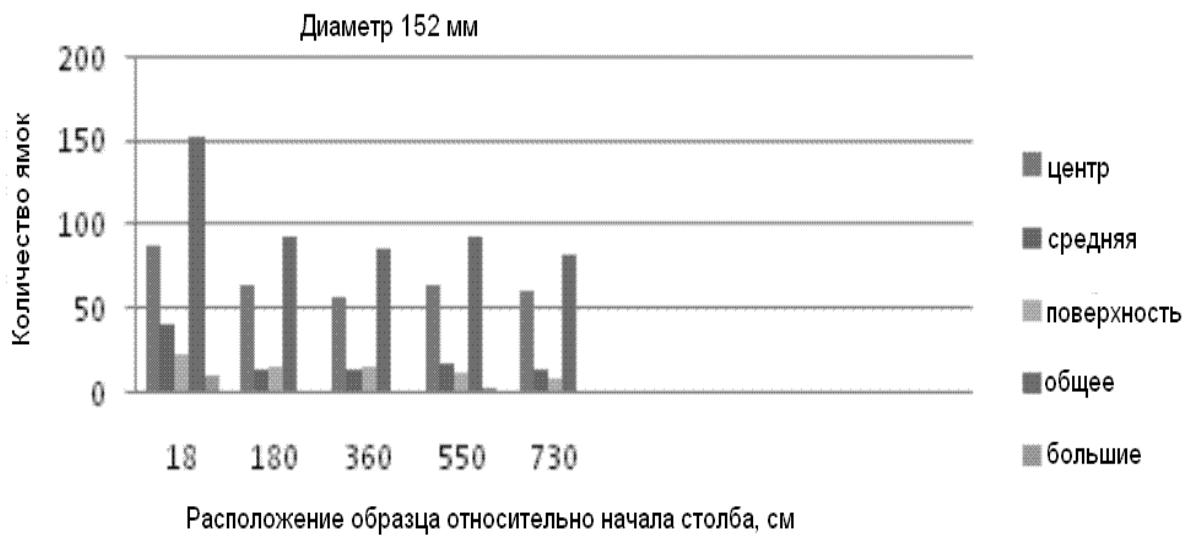


Рисунок 2.4 – Распределение включений по длине столба из первично-го алюминия диаметром 152 мм



Рисунок 2.5 – Распределение включений по длине столба из вторичного алюминия диаметром 228 мм – первая разливка

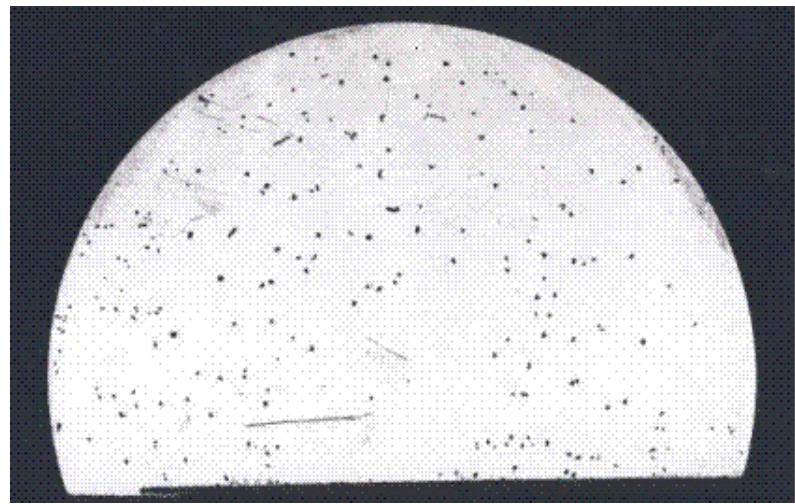


Рисунок 2.6 – Ямки после травления на расстоянии 440 см от конца столба

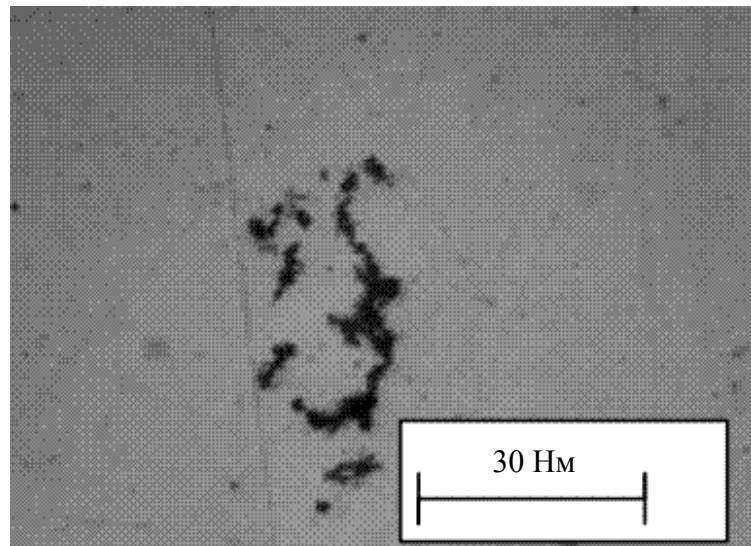


Рисунок 2.7 – Оксидная пленка из «болота» печи

2.3 Метод Ш

Оценку неметаллических включений деформированного металла диаметром или толщиной не менее 6 мм производят под микроскопом сравнением с эталонными шкалами при просмотре всей площади нетравленых шлифов с продольным направлением волокон.

Загрязненность деформированного металла диаметром или толщиной менее 6 мм методом III определяют в промежуточном профиле или заготовке.

Виды включений, подлежащие оценке, оговариваются в стандартах на продукцию или в технической документации, утвержденной в установленном порядке.

Если включения по форме и размерам не могут быть оценены одним из двух соседних баллов, допускается оценка в 0,5; 1,5; 2,5 балла и т.д.

Включения выше балла 5 оценивают баллом 5 со знаком "более". Оценку "нуль" ставят при отсутствии какого-либо вида включений, а также когда включений более чем в 2 раза меньше по сравнению с баллом 1.

Если в одном поле зрения встречаются несколько видов включений, то оценку производят по каждому виду включений в отдельности.

Исключением являются случаи, когда в одном поле зрения встречаются:

- а) строчечные включения оксидов, хрупких и пластичных силикатов и нитридов;
- б) точечные включения оксидов и нитридов.

В том и другом случае их оценку производят совокупно, а результаты оценки записывают в графу преобладающего вида включений.

2.4 Метод К

Подсчет количества включений, имеющих размеры больше установленного, производят под микроскопом на нетравленых шлифах.

Для оценки загрязненности деформированного металла применяют шлифы с продольным направлением волокна.

Всю площадь шлифа просматривают при 170–180-кратном увеличении и цене деления окулярной шкалы $0,007 \pm 0,0005$ мм. Отдельно определяют количество кислородных, сульфидных и нитридных включений по группам.

Вид включений, подлежащий оценке, указывают в стандартах или технической документации на продукцию, утвержденной в установленном порядке.

2.5 Метод П

Включения определенных размеров подсчитывают под микроскопом на не травленных шлифах.

Для оценки деформированного металла применяют шлифы с поперечным направлением волокон. Допускается применение шлифов с продольным направлением волокон.

Размер включений на шлифах определяют с помощью окулярной шкалы по группам

В каждом поле зрения определяют размеры всех или некоторых видов включений в зависимости от цели исследования.

Перед просмотром шлиф расчертывают от края до центра на 5 равных зон. Набор полей зрения по зонам на каждом шлифе производят в соответствии с требованиями.

В каждой зоне шлифа поля зрения набирают по прямым линиям на шлиффе, перпендикулярным к оси слитка или проката.

Для повышения точности оценки загрязненности шлифов количество полей зрения по зонам может быть соответственно увеличено в 2, 3, 4 и т.д.

Размером включений считают диаметр или сторону квадрата соответственно при круглой или квадратной форме включений.

При определении размера включений овальной или неправильной формы подсчитывают среднеарифметическое минимального и максимального размеров, принимая этот размер за диаметр включения.

При определении размера включений прямоугольной, ромбической или подобных форм подсчитывают среднеарифметическое минимального и максимального размеров, принимая этот размер за сторону квадрата. При разни-

це между максимальным и минимальным размерами включений более чем в 2 раза группу определяют по площади включения. Общую площадь включений сложной формы допускается определять суммированием площадей отдельных участков.

2.6 Метод Л

Оценку загрязненности стали включениями производят под микроскопом на нетравленых шлифах.

Шлиф расчертывают параллельными линиями в произвольном направлении таким образом, чтобы выбранная длина для подсчета была не менее 3 см и охватывала периферийные и центральные зоны литых проб.

Шлиф передвигают с помощью микрометрических винтов предметного столика микроскопа в одном направлении вдоль отмеченных линий. Замеряют максимальные размеры включений ГОСТ 1778-70 (ИСО 4967-79). Металлографические методы определения неметаллических включений (рис.2.8), попадающих в перекрестье нитей окуляра, и фиксируют их в соответствии с группами

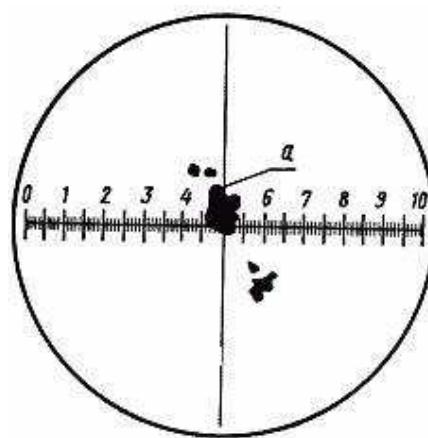


Рисунок 2.8 – Пример неметаллических включений
в перекрестии окуляра

Загрязненность шлифов оценивают отдельно по кислородным, сульфидным и нитридным включениям или совокупно по всем видам включений [32]. Вид включений, подлежащих оценке, зависит от цели исследования.

2.7 Метод PoDFA / PerfilTest

PoDFA (устройство для фильтрации пористых дисков) и Prefil оборудование, используемое для качественной и количественной оценки чистоты расплава. Испытание PoDFA было впервые разработано с основной целью оценки чистоты металла с использованием металлографического исследования тестового фильтра. Небольшое количество расплава (около 2 кг) течет под давлением через очень тонкий пористый испытательный фильтр. Включения, сконцентрированные на поверхности тестового фильтра анализируются с использованием оптического света и / или сканирующий электронный микроскоп. Тип и размер включений и оксидов должны быть идентифицированный экспертом. На рисунке 2.9 показан схематический принцип работы с использованием PoDFA. устройство. Принцип работы теста Prefil такой же, как ранее описанный для PoDFA. На протяжении всего испытания система непрерывно взвешивает металл в весовом ковше и отображает кривую накопленного веса в зависимости от прошедшего времени. [30]

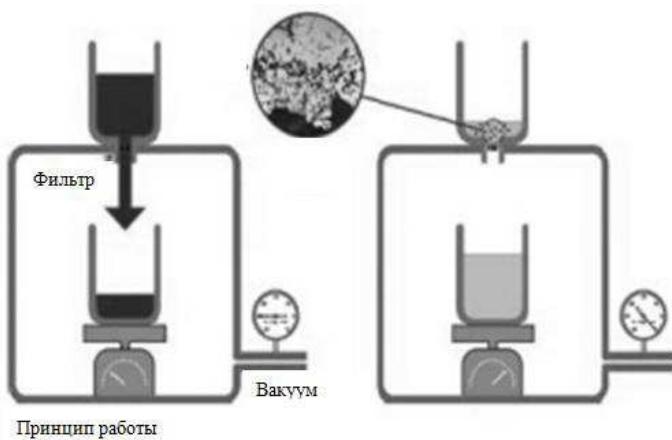


Рисунок 2.9 – Принцип работы с использованием аппарата PoDFA

Чем чище металл, тем выше будет эта кривая; включения в металле, такие как оксидные пленки, быстро накапливаются на поверхности фильтра во время испытания, уменьшая расход через фильтр. Наклон и общая форма веса, отфильтрованного от времени. Кривая показывает уровень включений, присутствующих в металле. Остаток металла выше фильтра можно сохранить для дополнительного металлографического анализа. Принцип действия показан на рисунке 2.10.

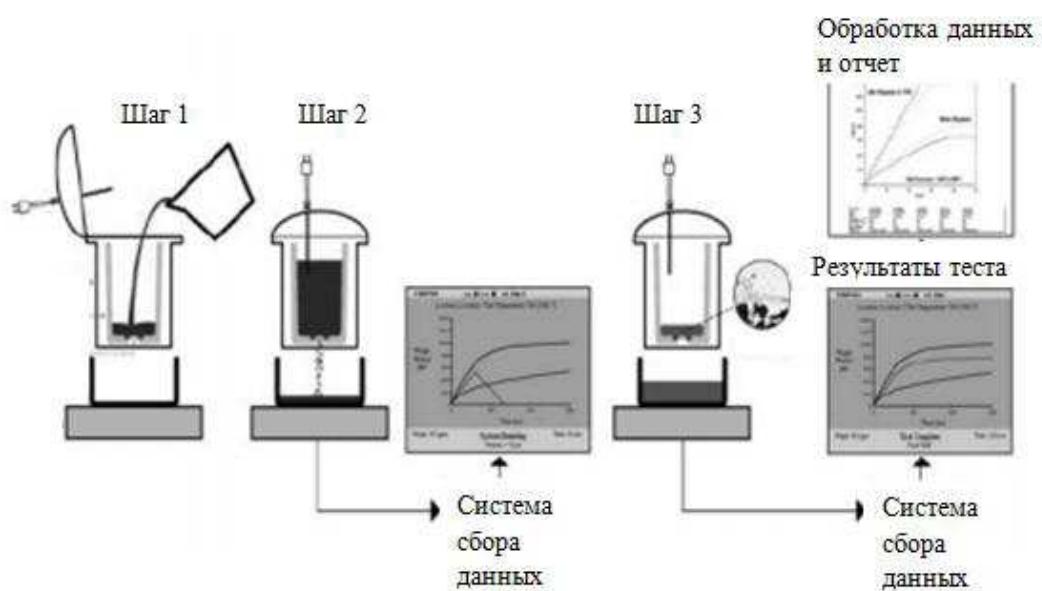


Рисунок 2.10 – Принцип работы Prefil

2.8 К-Тест

Тест K-Mould - это испытание на разрушение, изобр Результаты теста Китаока в Японии в 1973 году, в ООО «Ниппон Лайт Метал». Более сорока лет, это устройство использовалось как простое торговое оборудование. Целью данного метода является оценка чистоты расплава алюминия в производственных условиях. Основные преимущества этого метода:

- быстрая оценка степени загрязненности расплава (приблизительно 10 минут);
- простота в обращении;
- легкий отбор проб;
- портативный, чувствительный к включениям и оксидным пленкам.

Экспериментальная процедура очень проста. Около 400 г расплава разливают в предварительно нагретую форму-кокиль (рис.2.11) и через несколько минут тестируют образцы в виде плоских плиток ($240 \times 36 \times 6$ мм).

Образцы для испытаний необходимо разбить на несколько частей и соединить, как показано на рисунке 2.12. Поверхности разрушения следует проанализировать визуально или под небольшим увеличением.

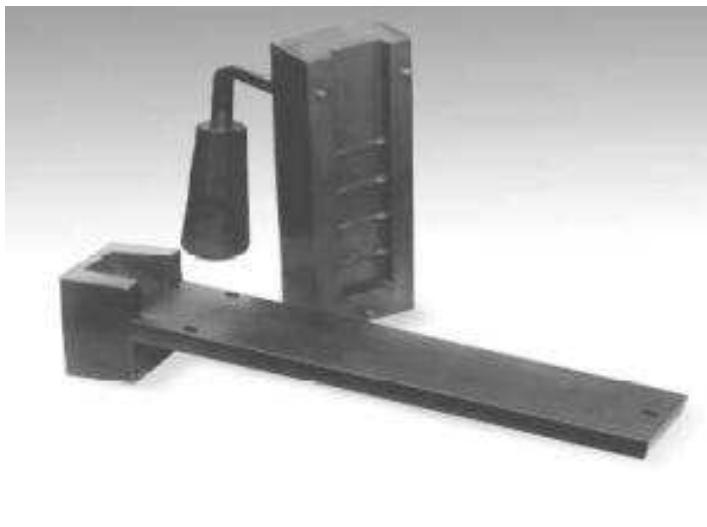


Рисунок 2.11 – К-форма



Рисунок 2.12 – Сломанные кусочки образца К-тест

Чистота расплава выражается через значение К-формы. Это значение на основании визуального осмотра поверхности испытательных образцов и подсчета количества включений на поверхности для оценки чистоты расплава:

$$K = \frac{S}{n}, \quad (2.1)$$

где K - количество включений, обнаруженных в одной плитке образца на поверхности разрушения;

S - общее количество включений, обнаруженных в n -плитках;

n - количество исследованных образцов.

Каждому литейному заводу необходимо установить собственный масштаб / диапазон для каждого продукта на основе значениям К-формы (более низкое значение К означает более чистый расплав).

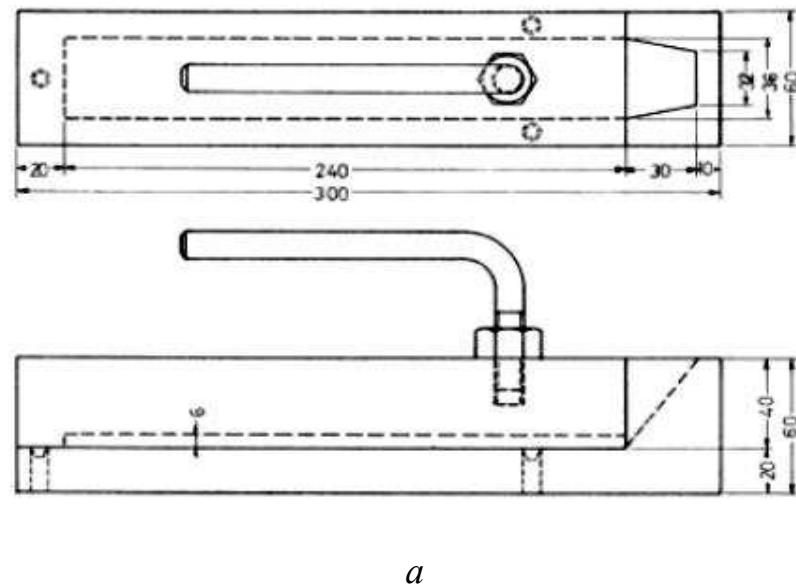
3 Экспериментальное оборудование и методы проведения исследований

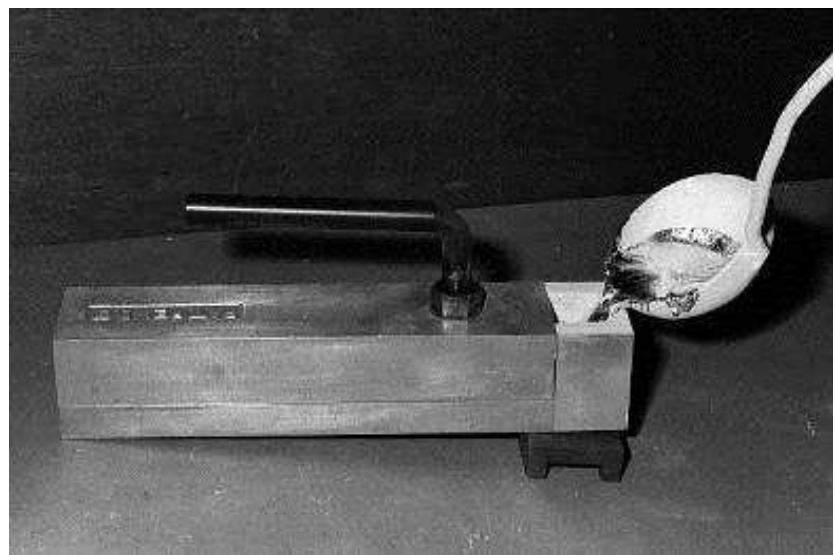
Данная методика приготовления образцов, используется для исследования и количественного анализа оценки макроструктуры фасонных отливок из алюминиевых литьевых сплавов. Устанавливает методику определения газовой и усадочной пористости.

3.1 Оборудование и технологическая оснастка для проведения К-Теста

При подготовке образцов («К-форма») и исследовании фрагментов изломов литьевых алюминиевых сплавов используются следующие оборудование и материалы:

- титановая ложка для отбора проб;
- кокиль для теста «К-форма» (с подставкой) (рис. 3.1);
- тиски;
- молоток;
- стереоскопический микроскоп МС 2 (рис. 3.2).





б

Рисунок 3.1 – *а* – Чертеж формы К-текст, *б* – Внешний вид кокиля для теста «К-форма»



Рисунок 3.2 – Стереоскопический микроскоп МС -2

Форма перед заливкой должна быть окрашена и предварительно нагрета.

После рафинирования необходимо отобрать 2 пробы. Для этого отбирается около 400 г сплава на глубине 10–20 см от поверхности

расплавленного металла, ниже оксидных пленок и шлаков, и наполняется им кокиль «К-форма». После затвердевания металла проба выбивается из кокиля, и процесс повторяется, для получения второй пробы.

Полученные пробы необходимо разметить, как показано на рисунке 3.3. Для этого обозначается номер будущего образца и стрелкой указывается сторона излома, которая будет впоследствии исследоваться.

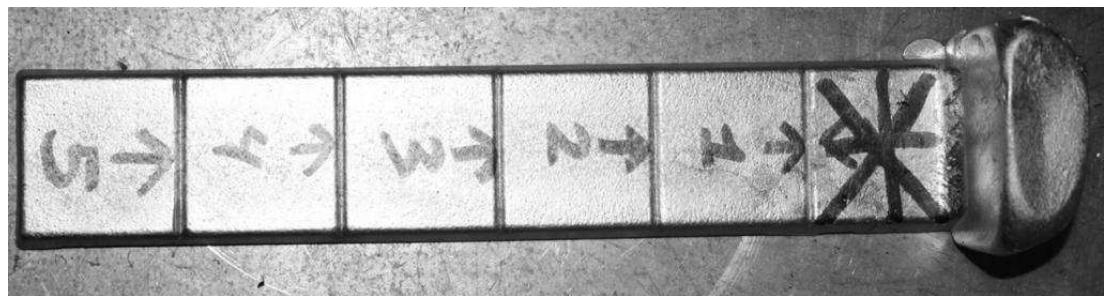


Рисунок 3.3 – Внешний вид пробы для теста «К-форма»

Полученные пробы зажимаются в тиски, как показано на рисунке 3.4, и с помощью удара молотка разрушаются до получения 5 образцов с каждой пробы (рис. 3.5 а). Разрушать пробы необходимо быстрым и сильным ударом молотка, для того чтобы избежать загибания пробы.

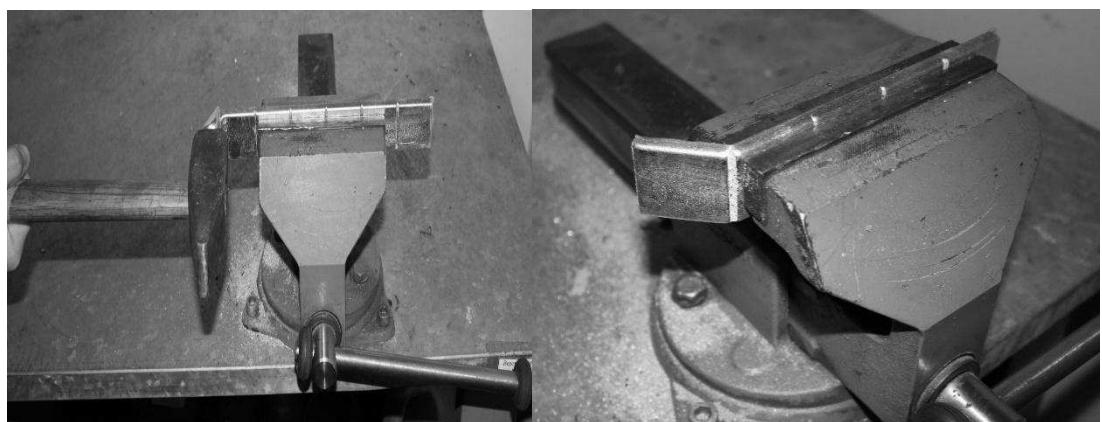


Рисунок 3.4 – Проба, зажатая в тиски

Полученные образцы складываются вместе по порядку (рис. 3.5 б) и подписываются (№ печи, № пробы).

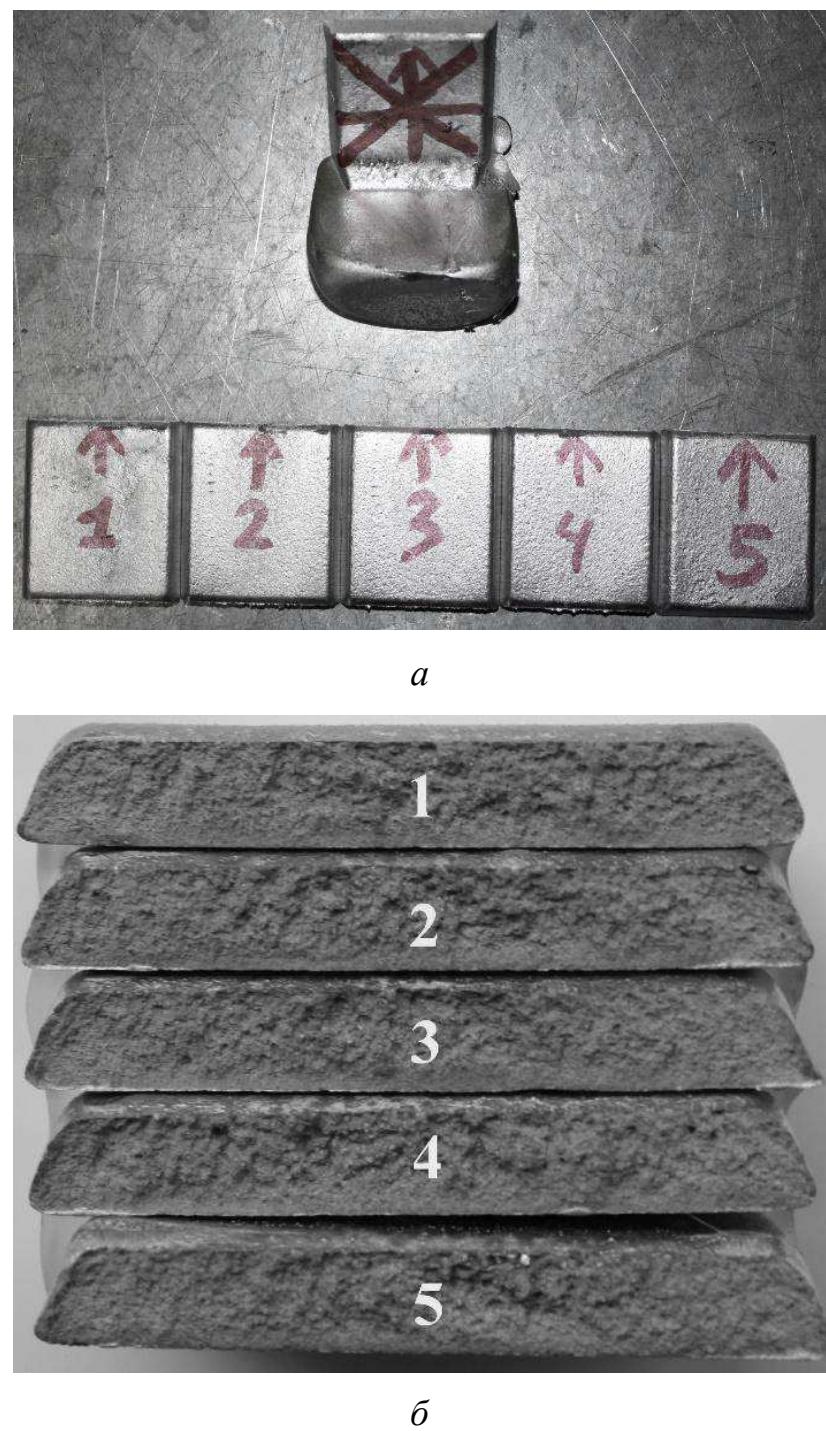


Рисунок 3.5 – Образцы для проведения К-Теста:, *a* – общий вид образцов с маркировкой, *б* – К-Тест в сборе

3.2 Исследование фрактуры излома образцов

Стандартный осмотр поверхности изломов каждого образца проводится с использованием стереоскопического микроскопа с малыми увеличениями ($\times 10\text{--}40$). На рисунке 18 приведены изломы с наличием неметаллических включений (рис. 3.6 *a*) и с их отсутствием (рис. 3.6 *б*).

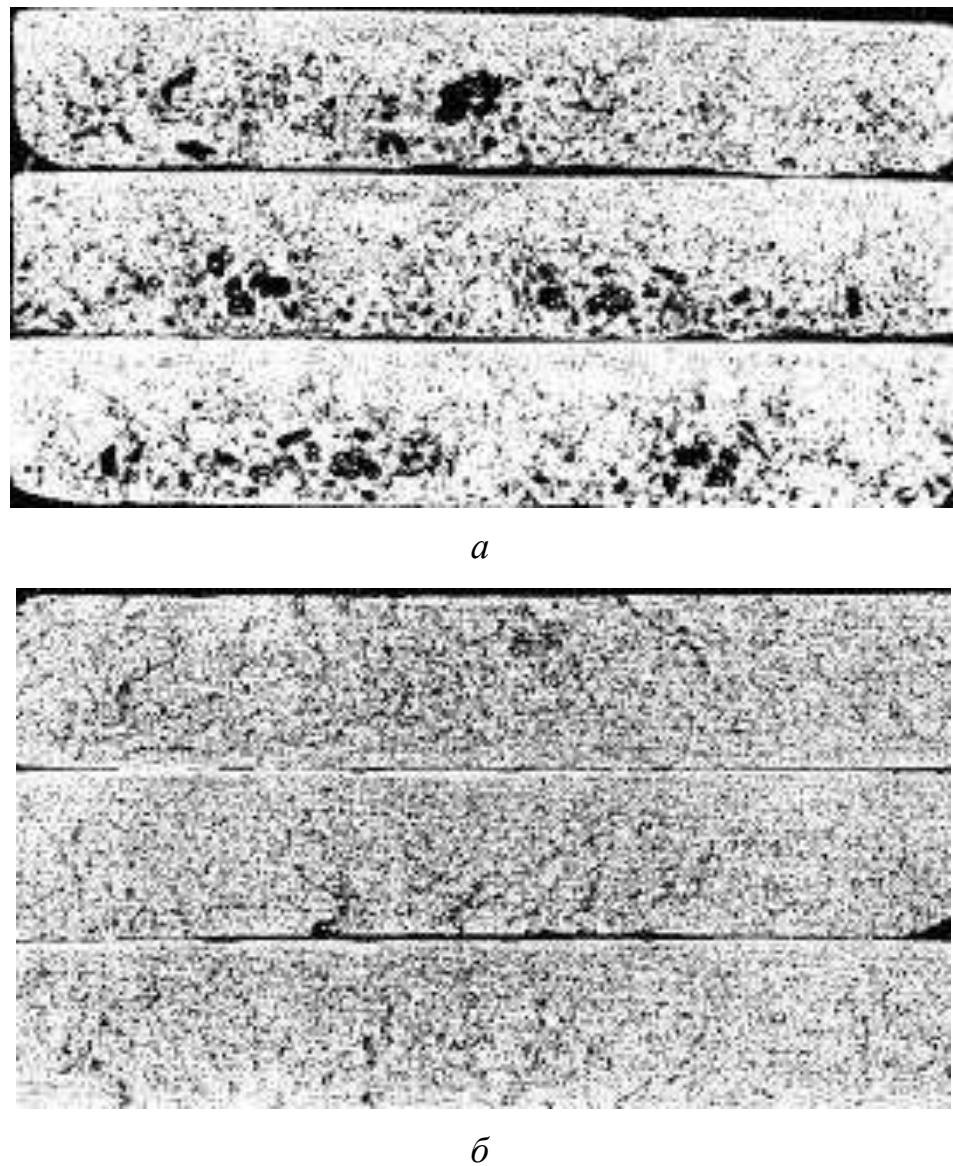


Рисунок 3.6 – Микроструктуры изломов:

а – с наличием неметаллических включений;

б – без неметаллических включений

Расчёт чистоты расплава основан на визуальном осмотре поверхности образцов и подсчете количества включений на поверхности. Чистота расплава выражается через значение К, которое рассчитывается по формуле 2.1 (см. раздел 2.8 стр. 29). Полученное значение К сравнивается с уровнями чистоты расплава, указанными в таблице 3.1, в которой так же обозначены следующие действия.

Таблица 3.1 – Степень чистоты расплава

Уровень	К-значение	Качество расплава	Указания на следующий шаг
A	<0,1	Чистый	Может быть использован
B	0,1-0,5	Довольно чистый	Может быть использован, но рекомендуется дополнительная обработка расплава
C	0,5-1,0	Немного грязный	
D	1,0-10	Грязный	Необходима дополнительная обработка расплава
E	>10	Сильно грязный	

При выявлении в процессе исследований действий или ошибок, не соответствующих требованиям данной методики, необходимо провести повторный отбор проб.

Исследования возобновляются после проведения соответствующих корректирующих и предупреждающих мероприятий.

3.3 Определение химического состава

Исследование химического состава полученных образцов К-Теста проводилось с применением:

- металлографические исследования осуществлялись методом оптической микроскопии с применением светового микроскопа "CarlZeissAxioVision", электронной микроскопии с применением растровых электронных микроскопов "HITACHI TM-1000", JEOL JSM 7001F;

- энергодисперсионный и химический анализ в растровом электронном микроскопе JEOL JSM 7001F (рис. 3.7), оснащенном энергодисперсионным спектрометром фирмы OxfordInstruments;

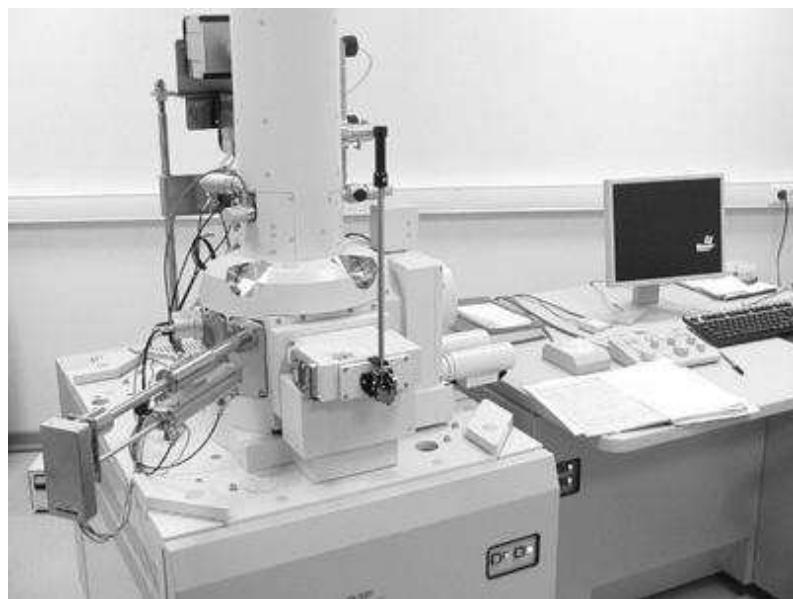


Рисунок 3.7 – Растровый электронный микроскоп JEOL JSM 7001F

3.4 Метод определения индекса плотности

При производстве отливок из алюминиевых сплавов необходим контроль содержания водорода. В данной работе были проведены исследования по его наличию путем определения индекса плотности.

Пробы отбирались из производственных плавок, и составляли 50 г расплава. Кристаллизация образца проводилась при атмосферном давлении, для сравнения были использованы эталонные образцы, кристаллизация которых

происходила в вакууме. Плотность образца замеряли методом Архимеда с использованием аналитических весов RADWAG WPS510/C/2 (рис 3.8).

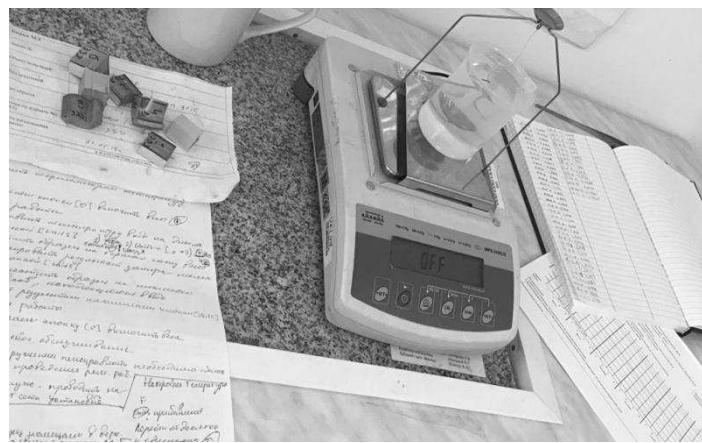


Рисунок 3.8 – Аналитические весы RADWAG WPS510/C/2

В пробе, полученной при атмосферном давлении плотность из-за выделения молекулярного водорода ниже, чем в эталонном образце. По результатам плотности двух проб, был произведен расчет индекса плотности по следующей формуле:

$$D = \left(\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \right) \times 100\%, \quad (3.1)$$

где D – индекс плотности;

ρ_1 - плотность образца, закристаллизованного при атмосферном давлении;

ρ_2 - плотность образца, закристаллизованного в вакуумной камере.

4 Экспериментальные исследования

4.1 Металлографические исследования

Забор металлического расплава для проведения К-Тест производился из производственных плавок ООО «ЛМЗ «Скад». Полученные образцы были использованы для проведения исследований, позволяющих определить влияние состава шихты и технологии получения на качество и степень загрязненности расплава алюминия.

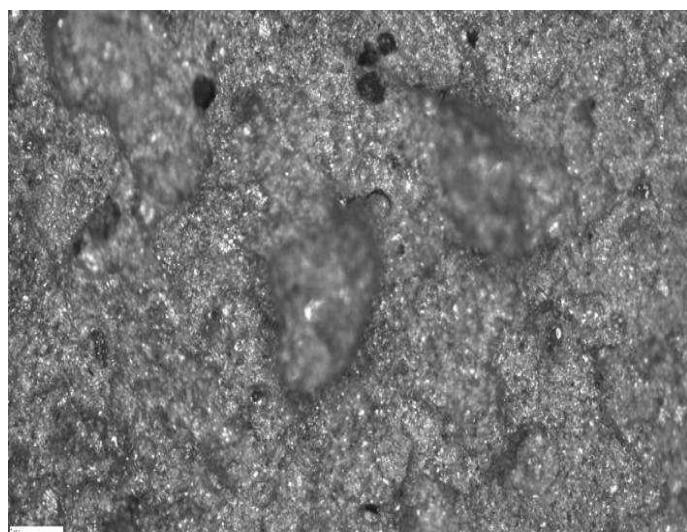
С этой целью были отобраны образцы из 13 производственных плавок, имеющих разный шихтовой состав и полученные при различных технологиях плавления (табл. 4.1–4.3).

Результаты металлографических исследований (рис. 4.1) и анализа чистоты металла первой пробы приведены в таблице 4.1.

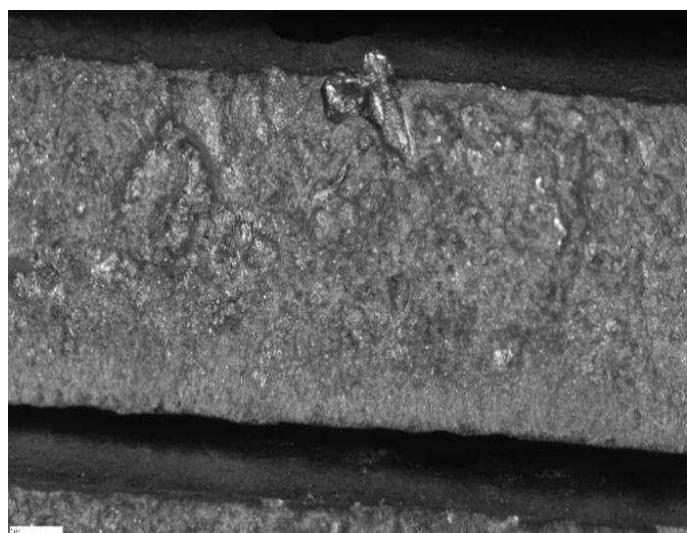
Таблица 4.1 Результаты анализа чистоты металла

№ образца	Состав расплава	Кол-во включений	Значение K	Балл K
1	AlSi7(1,5тн) + стружка(288кг)	26	5,2	D
2	AlSi7(1тн) + A8 (150кг) +стружка (280кг)	45	9	D

Установлено, что уровень чистоты расплава первого и второго образцов одинаковый и соответствует уровню D. Однако можно сделать вывод о том, что наиболее загрязнённым является сплав №2 (45 включений). Это обусловлено тем, что количество стружки в первом и втором сплаве одинаково, а чушки (первичного сырья) во втором сплаве на 30 % меньше чем в первом сплаве. На рисунке 4.1 показаны неметаллические включения, расположенные в объеме металла, окисная пленка и шлаковые включения на поверхности металла.



a



б



в

Рисунок 4.1 Дефекты в изломе: *а* – неметаллические включения, $\times 30$; *б* – окисная пленка, $\times 10$; *в* – шлаковые включения, $\times 20$

Результаты исследования второй партии приведены в таблице 4.2 и на рисунке 4.2.

Таблица 4.2 Результаты анализа чистоты металла

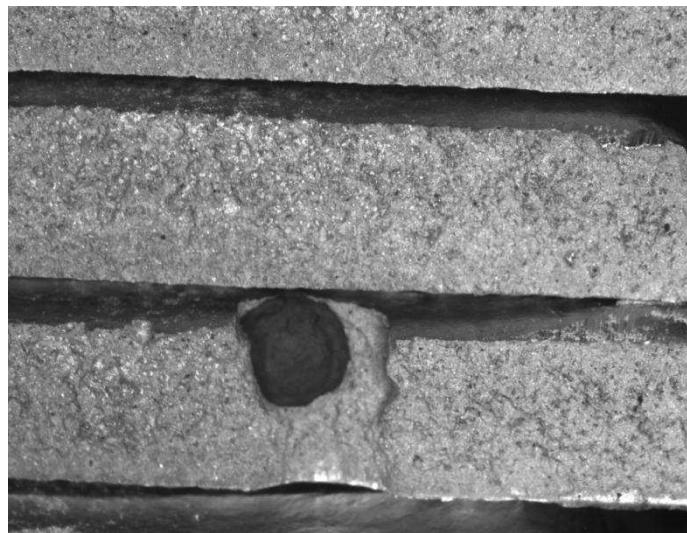
№ образца	Данные	Шихтовые	Кол-во включений	Значение K
1	4-081 зал. №1	отх. AlSi7 (570кг)+AlSi7 (1157 кг)	86	более 10
2	4-081 зал. №2		более 100	более 10
3	4-082 зал. №1	отх. AlSi7 (350кг)+AlSi7 (1310 кг)	49	9,8
4	4-082 зал. №2		73	более 10

Как видно из таблицы 4.2, образцы 1 и 2 имеют одинаковый шихтовый состав, но были получены из разных заливок. Количество включений различается. В первом образце 86, а во втором более 100, что соответствует значению K более 10, а уровень загрязненности E.

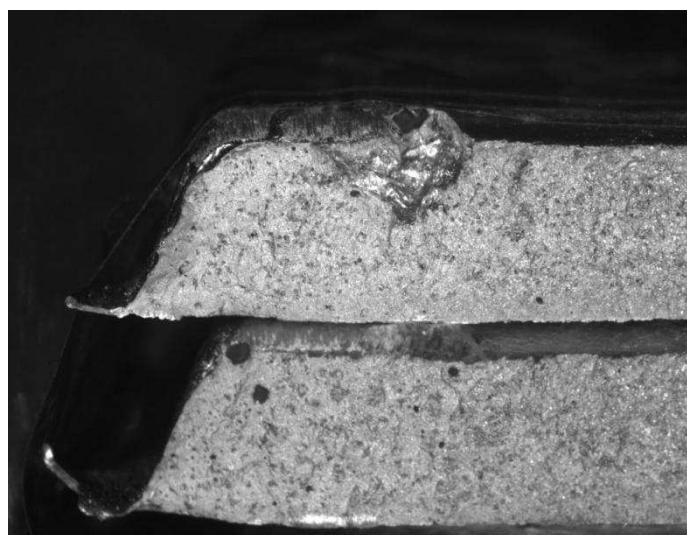
Образцы 3 и 4 так же имеют одинаковый шихтовый состав, но количество включений сильно различается. Образец 3 имеет значение K=9,8 и соответствует уровню загрязненности D, а образец 4 имеет 73 включения, что соответствует уровню загрязненности E.



a



б



в

Рисунок 4.2. Дефекты в изломе:
а – образец 4-081 №2; *б* – образец 4-082 №1; *в* – образец 4-082 №2

В исследовании третьей партии были использованы различные технологии получения и шихтовые материалы, результаты приведены в таблице 4.3 и на рисунке 4.3.

Исходя из таблицы 4.3 полученные образцы были отобраны из разных технологических процессов. Образцы 1 и 2 были отобраны из ковша, образец 1 был взят до рафинирования и имеет $K=9$, что соответствует уровню загрязненности D, после чего, было произведено рафинирование расплава и отобран образец 2, $K=0,8$ уровень загрязненности C.

Образец 3 получен с болота печи, Количество включений в данном образце 2, что соответствует уровню загрязненности D.

Таблица 4.3 Результаты анализа чистоты металла

№	Данные	Шихтовые	Кол-во вклю-чений	Значение K
1	Ковш до рафи-нирования (12-30-Г1)	Отходы (1 сорта) AlSi 7 (Колеса ПЛУ) – 452кг AlSi 7 Mg 0.3 – 1065кг	9	D
2	Ковш после рафиирования (12-30-Г1)	Отходы (1 сорта) AlSi 7 (Колеса ПЛУ) – 452кг AlSi 7 Mg 0.3 – 1 065кг	0,8	C
3	Болото ЛПМ №12 (12-29-М1)	Отходы (1 сорта) AlSi 7 (Колеса ПЛУ) – 420кг AlSi 7 Mg 0.3 – 1064кг	2	D
4	ИАТ 4 – 548	Отходы (1 сорта) AlSi 7 (Колеса ПЛУ) – 420кг AlSi 7 Mg 0.3 – 1064кг	>10	E
5	ИАТ 4 – 550	Отходы (1 сорта) AlSi 7 (Колеса ПЛУ) – 420кг AlSi 7 Mg 0.3 – 1 064кг	>10	E
6	М-1501 до ра-финирования	Отходы (1 сорта) AlSi 11 (Колеса ПЛУ) – 500кг	1,6	D
7	М-1501 после рафинирования	Кремний Si – 130кг AlSi11 – 530кг Алюминий A8 – 1 050кг Влажная стружка неизвестного хим.состава – 836кг	0,2	B

Исходя из таблицы 4.3 и рисунка 4.3 полученные образцы были отобраны из разных технологических процессов. Образцы 1 и 2 были отобраны из ковша, образец 1 был взят до рафинирования и имеет K=9, что соответствует уровню загрязненности D, после чего, было произведено рафинирование расплава и отобран образец 2, K=0,8 уровень загрязненности C.

Образец 3 получен с болота печи, Количество включений в данном образце 2, что соответствует уровню загрязненности D.

Образцы 4 и 5 имеют одинаковый шихтовый состав с образцом 3, но так как они были отобраны из печи, имеют отличный от этого образца показатель неметаллических включений (более 10) уровень загрязненности E.

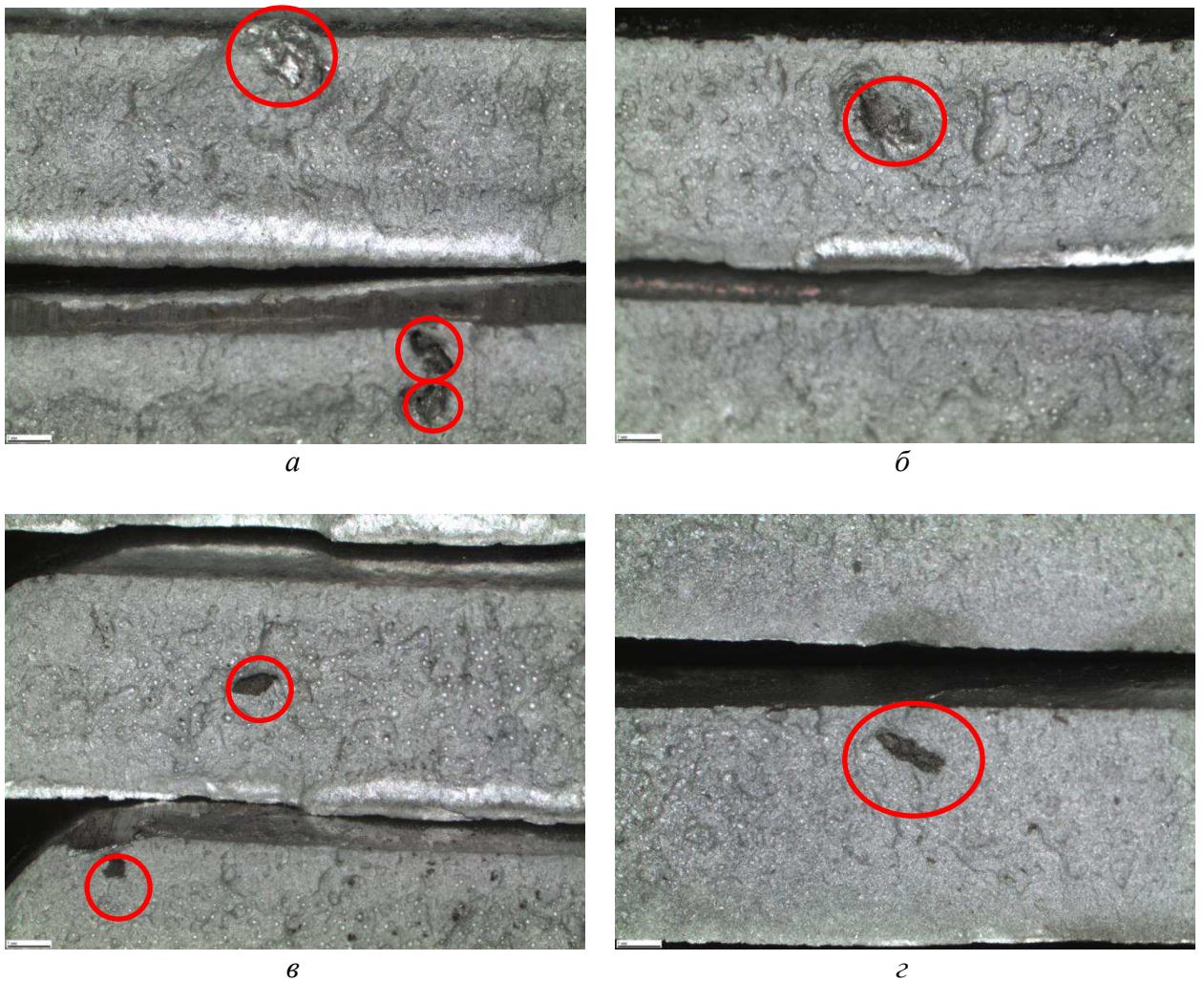


Рисунок 4.3 – Структура изломов дефект не металлические включения:
 а – образец 2 (Ковш после рафинирования (12-30-Г1) К=0,8 С); б –образец 3 (Болото ЛПМ №12 (12-29-М1) К=2 Д); в – образец 6 (М-1501 до рафинирования К=1,6 Д); г – образец 7 (М-1501 после рафинирования К=0,2 В)

Образцы 6 и 7 имеют одинаковый шихтовый состав, отбор образца 6 был произведен до рафинирования расплава. Количество неметаллических включений К=1,6 что соответствует уровню загрязненности D. Образец 7 отобран после рафинирования и количество включений было заметно меньше К=0,2, что соответствует уровню загрязненности В)

4.2 Энергодисперсионный анализ

Результаты энергодисперсионного анализа представлены на рисунке 4.5 и в таблице 4.4

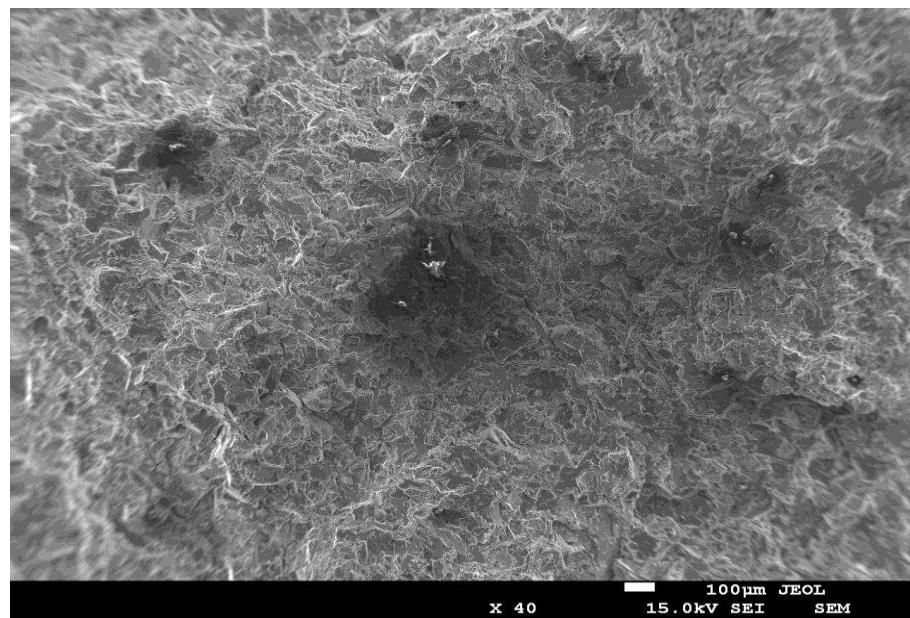


Рисунок 4.4 – Структура излома, ×40

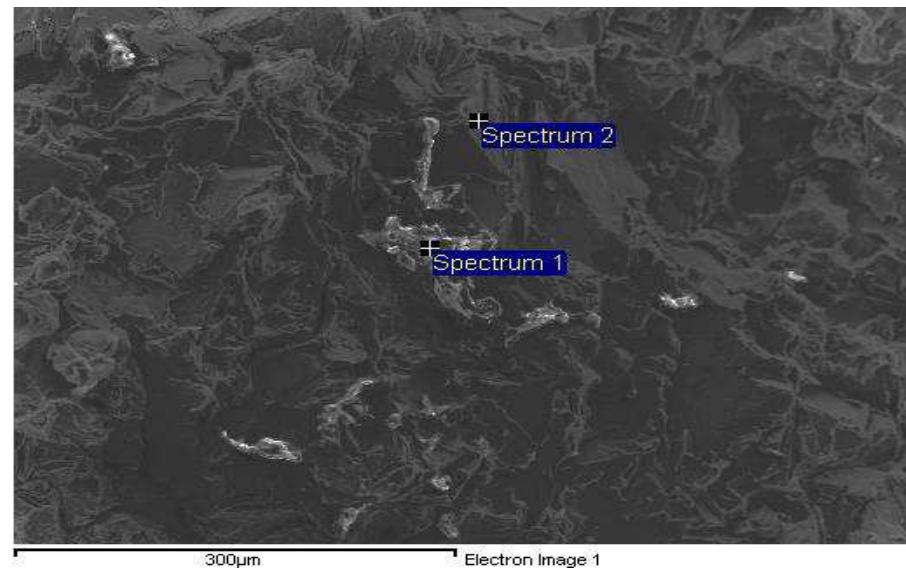


Рисунок 4.5 – Энергодисперсионный анализ

Таблица 4.4 – Химический состав спектров

Spectrum	O	Al	Si	S	Ca
Spectrum 1	47.68	27.56	20.45	2.83	1.47
Spectrum 2	1.27	33.33	65.40		

Из таблицы 4.4 видно, что в первом спектре присутствует большое количество кислорода и его практическое отсутствие во втором спектре. Это позволяет сделать вывод, что первый спектр соответствует неметаллическому включению, что так же подтверждается металлографическими исследованиями (рис. 4.4)

4.3 Определение индекса плотности

Проведенные металлографические исследования показали наличие пористости в исследуемых образцах (рис 4.6, 4.7)

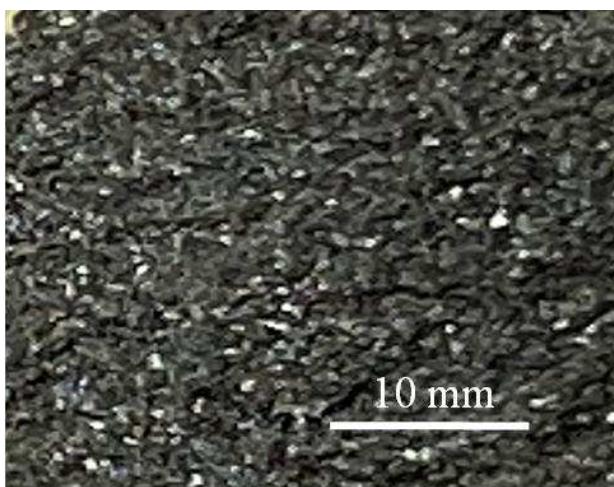


Рисунок 4.6 – Структура излома

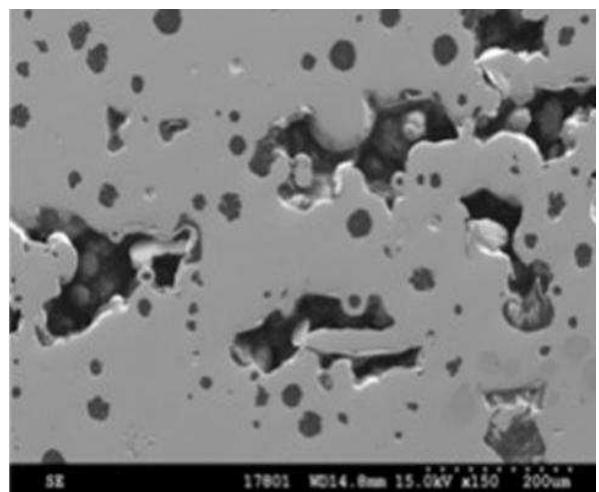


Рисунок 4.7 – Газовые поры

Для определения индекса плотности были взяты образцы до рафинирования. Вес пробы для анализа составлял 50г AlSi11, кристаллизация сплава происходила при атмосферном давлении. Плотность образцов измерялась методом Архимеда с применением аналитических весов. Произведенный расчет согласно формуле 3.1 (см. стр. 37) показал значение индекса плотности больше 9, что не соответствует технологическим требованиям, а сплав требует дополнительного рафинирования.

Выводы

1. Проведенные исследования методом К-тест показывают, что применение данной методики дает возможность определение степени загрязненности расплава независимо от его химического состава и технологии получения.

2. Применение данной методики позволяет значительно сократить время на проведение анализа. Осуществлять контроль качества расплава на всех этапах технологического процесса, что позволяет повысить качество металла и увеличить количество годного.

3. Исследование полученных проб К-теста при увеличениях $\times 10\text{--}40$ позволяет определить тип дефекта (неметаллические включения, окисная пленка, шлаковые включения).

4. Определение степени загрязненности на этапе получения расплава показывает о необходимости своевременного рафинирования.

Список использованных источников

1. Белов М.В. Исследование процесса кристаллизации Al-Si сплавов и разработка легкоплавких фосфорсодержащих лигатур с целью повышения качества литых поршневых заготовок: Дис.канд.техн. наук: 05.16.04 / М.В. Белов. – М., 2007. – 119 с.
2. Альтман М.Б. Структура и свойства легких сплавов. - М.: Наука, 1971.-105с.
3. Liao H., Zhang M., Qichang W., Huipin W. and Sun G. Refinement of eutectic grains by combined addition of strontium and boron in near-eutectic Al-Si alloys // ScriptaMaterialia, Vol. 57, Iss. 12, Dec. 2007, P. 1121-1124)
4. Явойский, В.И. Неметаллические включения и свойства стали / В.И. Явойский, Ю.И. Рубенчик. М. :Металлургия, 1980. 176с.
5. Mile B. Djurdjević ,ZoranOdanović , JelenaPavlović-Krstić Melt quality control at aluminum casting plants [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.metalurgija.org.rs/mjom/Vol16/No1/6_Djurdjevic_MJoM_1601.pdf
7. Majidi O., Shabestari S., Aboutalebi M. Study of fluxing temperature in molten aluminum refining process // Journal of Materials Processing Technology, Vol. 182, Iss. 1–3, 2 Feb. 2007, P. 450-455.
8. Кулагина К.Н. Цветное литье. - М.: Маш газ, 1954. –С. 21-37.
9. Курдюмов А.В., Инкин С.В., Чулков В.С., Графас Н.И. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых сплавов. - М.: Металлургия, 1980. - С. 68-149.
10. Никитин, В. И. О проблемах применения алюминиевых литьевых сплавов в автомобилестроении / В. И. Никитин // Литейное производство. – 2009. – № 4. – С. 7–10.
11. Котлярский, Ф. М. Малоотходное литье алюминиевых сплавов / Ф. М. Котлярский, Г. П. Борисов. – Киев : Наук. думка, 2007. – 158 с.

12. Белов, В. Д. Производство автомобильных литых деталей из вторичных алюминиевых сплавов / В. Д. Белов, А. С. Молодцов // Литейное производство. – 2008. – № 6. – С. 18–20.
13. Кирьянова, В. В. Повышение качества силуминов, получаемых на основе низкосортной шихты, для изготовления отливок ответственного назначения : диссертация ... кандидата технических наук : 05.16.04 / В. В. Кирьянова; [Место защиты: Моск. гос. институт стали и сплавов (Технологический институт)]. – Москва, 2001. – 192 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://tehnosfera.com/povyshenie-kachestvasiluminov-poluchaemyh-na-osnove-nizkosortnoy-shihty-dlya-izgotovleniya-otlivok-vetstvennogo-naznac>
14. Богданова, Т. А. Современные технологии изготовления дисков автомобильных колес / Т. А. Богданова, Н. Н. Довженко, Т. Р. Гильманшина [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2014. – № 5. – С. 86 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.science-education.ru/119-15005>
15. Кольчурина, И. Ю. Разработка и освоение технологии модифицирования алюминиевых сплавов комплексными лигатурами на основе техногенных отходов / И. Ю. Кольчурина: дисс. ... канд. техн. наук. – Новокузнецк, 2006. – 222 с.
16. Конструкция колесных дисков [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.auto-legion.ru/articles/construct_kolesn_diskov.html
17. Техническая информация по легкосплавным дискам. Публикации для учащихся, 2013: [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://uchebilka.ru/informatika/61604/index.html>
18. Технологии производства литых колес [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://wheelscompany.ru/ru/information/info-146.html>
19. Фомин, Б.А. Металлургия вторичного алюминия: Учебное пособие для вузов / Б.А. Фомин, В.И. Москвитин, С.В. Махов. – М.: ЭКОМЕТ, 2004. – 240 с

20. Строганов, Г. Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г. Б. Строганов, В. А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – М. : Металлургия, 1977. – 272 с.
21. Борисов, Г. П. Научные основы разработки методов дальнейшего повышения свойств и технико-экономических показателей производства высококачественных отливок из алюминиевых сплавов // Литейное производство. – 2008. – № 9. – С. 17–23.
22. Рафинирование алюминиевых сплавов от неметаллических примесей [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.thewildside.biz/vtorichnye-splavy/rafinirovanie-alyuminievyh-splavov-otnemetallicheskikh-primesey.html>
23. Алюминиевые сплавы. Плавка и литье алюминиевых сплавов: справочное руководство // Под ред. В.И. Добаткина и др. – М.: Металлургия, 1970. – 416с
24. Добаткин В.И., Габидулин Р.М., Колачев Б.А, Макаров Г.С.Газы и окислы в алюминиевых деформируемых сплавах. - М.: Металлургия, 1976.- 263 с.
25. Лебедев В.М., Мельников А.В., Николаенко В.В. Отливки из алюминиевых сплавов.–М.: Машиностроение, 1970.– 216с.
26. Газы в цветных металлах и сплавах / Д.Ф.Чернега, О.М.Бялик, Д.Ф.Иванчук, Г.А.Ремизов.- М.: Металлургия, 1982.-72с. 157
27. Металлические примеси в алюминиевых сплавах: (Проблемы цветной металлургии) / А.В.Курдюмов, С.В.Инкин, В.С.Чулков, Г.Г.Шадрин.- М.: Металлургия, 1988.–143с
28. Производство отливок из сплавов цветных металлов: Учебник для вузов / А.В.Курдюмов, М.В.Пикунов, В.М.Чурсин, Е.Л.Бибиков.- М.: Металлургия, 1986.- 416с.
29. Колачев Б.А. Водородная хрупкость цветных металлов.- М.: Металлургия, 1966. - 256 с.

30. Колачев Б.А. Водородная хрупкость алюминиевых сплавов и методы ее предупреждения // Технология легких сплавов. – 1994. - № 5-6. –С. 19-28

31. Opiew R., Grant N. Hydrogen Solvability in Aluminium and Some Aluminium Alloys // Transactions Metallurgical Society AIME.- 1950.- Vol 188, №10.- P. 1237.

32. Sonsino C.M., Dietrich K. Einflub der Porositat auf das Schwingfestigkeitsverhalten von Aluminium - Gubwerkstoffen - Teil 1 //Giesser. Forsch.- 1991.- 43, №3.- S. 119-130.

33. Bjorkergen L.E. Влияние пористости на усталостные характеристики различных отливок // Литейное производство.- 1994.- №7.- С. 28-29.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Материаловедение и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

В.И Темных
«___» 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление: 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

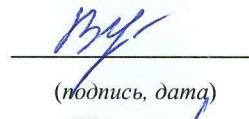
Оценка степени загрязненности литьевых алюминиевых сплавов

Научный руководитель


(подпись, дата)

Масанский О.А.

Выпускник


(подпись, дата)

Станкеев В.В.

Нормоконтролер


(подпись, дата)

Свечникова Л.А.

Красноярск 2020