

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

Институт цветных металлов и материаловедения

институт

Кафедра металлургии цветных металлов

кафедра

УТВЕРЖДАЮ:

Заведующий кафедрой

Н.В. Белоусова

подпись

инициалы, фамилия

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Повышение качества проведения металлографического анализа  
литейных алюминиевых сплавов ИркАЗ»

тема

Направление 22.04.02 «Металлургия»

код и наименование направления

Программа 22.04.02.02 - Металлургия цветных металлов

код и наименование магистерской программы

Науч. руководитель

канд. техн. наук, доцент  
кафедры ЛП ИЦМиМ

А.И. Безруких

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Выпускник

Н.П.Портнова

подпись, дата

инициалы, фамилия

Рецензент

П.Б. Кузьмин

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Консультант

канд. экон. наук, доцент

Т.В. Твердохлебова

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

профессор, д-р хим.  
наук

Н.В. Белоусова

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Красноярск 2020

## АННОТАЦИЯ

В последние годы многие аналитики области производства легких металлов и сплавов обещают России звание «алюминиевой сверхдержавы»: современные тенденции на мировом рынке ведут к повышенному спросу на российский металл. Но с возрастающим спросом на литейные сплавы растут и требования Потребителей, предъявляемые к качеству поставляемого металла. Связано это с тем, что многие авто- и авиапроизводители ставят себе задачи по конкурентноспособности, повышению технических и эксплуатационных свойств изготавливаемой продукции из литейных сплавов.

Целью данной работы является разработка и освоение «технологии» металлографического анализа в филиале ПАО «РУСАЛ Братск» в г.Шелехов (ИркАЗ), позволяющему грамотно проводить оценку текущего уровня литейных сплавов и отвечающему уровню потребительских требований и запросов со стороны автомобильной отрасли.

В данной работе изучены отечественный и зарубежный опыт проведения металлографического анализа алюминиевых сплавов, в ходе выполнения работы разработаны нормативные документы по металлографическому анализу, освоены новые методы контроля, запрошенные Потребителями литейных сплавов, реализован проект по оперативному и экономически выгодному управлению металлографическими исследованиями.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Свойства сплавов на основе алюминия (Литературный обзор).....	8
1.1. Основные механические и физические характеристики сплавов на основе алюминия.....	8
1.2. Классификация сплавов.....	9
2. Металлографический метод анализа.....	11
2.1. Подготовка образцов к металлографическому анализу.....	12
2.2. Цели и принципы подготовки образцов.....	13
2.3. Этапы обработки образцов.....	22
3. Разработка нормативной документации, регламентирующей металлографический анализ.....	16
4. Проведение анализа измерительных систем (MSA).....	21
5. Освоение новых видов анализов.....	27
5.1. Определение содержания неметаллических включений методом Podfa.....	27
5.2. Цветная дефектоскопия на темплетях алюминиевых сплавов.....	38
6. Сравнительный анализ и оценка пригодности измерительной системы «Анализатор фрагментов микроструктуры твердых тел SIAMS 800».....	40
7. Оперативное управление и контроль металлографического анализа.....	39
7.1. Экономический эффект в результате реализации проекта по оперативному управлению и контролю металлографического анализа...	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	56

## ВВЕДЕНИЕ

Литейные сплавы представляют собой многокомпонентные вещества металлического свойства, которые состоят из смеси основного, то есть технически чистого металла, а также определенных примесей (легирующих элементов), придающих литейному сплаву заданные свойства.

Стоит отметить, что литейным сплавам можно задавать самые разнообразные технические свойства, которые отсутствуют у чистых металлов. Что касается области применения литейных сплавов, то последние широко используются с целью производства различных литых деталей для различных видов производства (авиастроение, автомобильная промышленность и др.).

Металлографический анализ – это исследование структуры металлов или сплавов на специально подготовленных шлифах при помощи оптической микроскопии.

Проведение металлографических исследований (макро-, микроанализ), позволяет установить, имеются ли в металле такие серьезные дефекты, как трещины, пустоты и раковины, как распределены вредные примеси по сечению; оперативно принимать меры по корректировке технологического процесса.

Хоть металлографию и принято считать одним из старейших методов, который позволяет определить структуру и свойства образца, современное оборудование для металлографии выводит его на совершенно новый уровень точности и делает еще более ценной получаемую информацию как для технологов-производственников, так и для исследователей, занимающихся разработкой и освоением новых видов продукции.

Металлография позволяет устанавливать взаимосвязь между структурой и свойствами сплавов. Устанавливая закономерности образования структуры, металлография позволяет прогнозировать свойства новых видов сплавов.

Виды металлографического анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Виды металлографического анализа

Исследования макроструктуры	Исследования микроструктуры
<p>Макроструктура- строение металла или сплава, которое видимо невооружённым глазом, или же при небольшом увеличении с помощью увеличительного стекла-лупы.</p> <p>При макроструктурном методе изучаются макрошлифы и изломы металла.</p> <p>Макрошлиф - это зашлифованный образец металла, может быть подвергнут травлению.</p> <p>Излом является одним из методов выявления дефектов. По излому можно судить и о том, где произошло разрушение металла — по зерну или по границам зерен.</p>	<p>Микроструктура – строение металла или сплава, видимое при большом увеличении.</p> <p>Микроструктурный анализ металла подразумевает собой понятие структура и пороки металла. С помощью микроисследования можно установить:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- качество металла;</li> <li>- величину зерен металла;</li> <li>- наличие окислов по границам зерен;</li> <li>- засоренность неметаллическими включениями (оксиды, сульфиды);</li> <li>- микроскопические трещины, поры и другие дефекты структуры.</li> </ul>

Металлографический комплекс в Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) филиала ПАО «РУСАЛ Братск» в г.Шелехове (ИркАЗ) появился в 2017 году. Первые результаты металлографических исследований для Потребителя Немак были оформлены в июне 2017. Для завода это является новым видом инструментального контроля. Опыт в данных исследованиях специалистов Центральной заводской лаборатории еще небогатый.

Одной из проблем, с которой столкнулся завод при проведении металлографических исследований это то, что требования к макро-,

микроструктуре прописаны только в технических спецификациях (ТС) на продукцию. Методик, стандартов с помощью которых проводит контроль каждый конкретный Потребитель на данный момент нет.

В качестве регламентирующего документа на заводе в течение 2017 года применялся только ГОСТ 1583 «Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия». База набранных результатов еще пока незначительна, специалистам приходится изучать научную литературу для того, чтобы корректно интерпретировать получаемые результаты.

Требования Потребителей к качеству литейных сплавов растут с каждым годом и для повышения качества металлографического анализа и удовлетворения требованиям Потребителей, а также для квалификации литейных сплавов, выпускаемых под автопром необходимо:

- разрабатывать методики, инструкции металлографического контроля, соответствующие методам, применяемым Потребителями для повышения сходимости результатов и повышения точности проводимого контроля;

- повышать уровень и квалификацию персонала Центральной заводской лаборатории;

- разрабатывать Каталоги структур, выпускаемых на ИркАЗе сплавов, с критериями оценки получаемых результатов.

В связи с этим в рамках данной работы определена цель – поиск и реализация мероприятий, направленных на повышение качества проведения металлографического анализа литейных алюминиевых сплавов ИркАЗ.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи, указанные в таблице 2.

Для решения поставленных задач были использованы следующие методы:

1. Анализ научной и методической литературы.
2. Лабораторные исследования образцов литейных сплавов (металлографический анализ), накопление базы знаний.

3. Разработка нормативной документации, регламентирующей требования к металлографическому анализу в условиях ИркАЗ.

Таблица 2 – Поставленные задачи для достижения цели

№ п/п	Наименование работ
1	Определение требований к выполнению металлографического анализа по запросам ключевых Потребителей
2	Освоение новых видов металлографического анализа по запросам ключевых Потребителей
3	Разработка методик/инструкций металлографического контроля литейных сплавов (стандартизация)
4	Разработка Каталогов получаемых результатов, в т.ч. по определению фаз, включений в микроструктуре, дефектов, возникающих при пробоподготовке образцов
5	Проведение сравнительных межлабораторных исследований с последующей оценкой и анализом полученных результатов
6	Организация оперативного управления и контроля металлографического анализа

В ходе выполнения работы планируется достичь следующих результатов:

1. разработанные методики/инструкции металлографического контроля литейных алюминиевых сплавов.

2. разработанные Каталоги получаемых результатов, в т.ч. по определению фаз, включений в микроструктуре дефектов, возникающих при пробоподготовке образцов.

3. освоение новых для ИркАЗ методов металлографического анализа по требованиям Потребителей

4. оценка сравнительных испытаний, подтверждение достоверности получаемых результатов.

С учетом того, что в декабре 2018 года США ослабило санкционные меры в отношении ОК РУСАЛ и это привело к росту спроса на сплавы на зарубежных рынках и «возврату» автопотребителей, вопросы о повышении эффективности производства, реализации возможностей завоевания доли рынков конкурентов за счет «гибкости» технологического процесса и возможности выпуска алюминиевых сплавов остаются актуальными, особенно на фоне сравнения мировых цен на сплавы.

## **1. СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ**

### **(литературный обзор)**

Алюминий впервые произведен в промышленном масштабе лишь немногим более 100 лет назад. И на сегодняшний день невозможно представить себе жизнь без повсеместного применения алюминия. Действительно, этот «крылатый металл» очень часто используется в промышленном применении, от микросхем до космических челноков, от строительной отрасли до авиации, от автомобилей до самолетов, от отрасли энергетики до посуды и пищевой упаковки [4].

#### **1.1. Основные механические и физические характеристики сплавов на основе алюминия**

##### **1.1.1. Плотность металла**

При равном объеме алюминий составляет только одну треть веса стали. Благодаря этой легкости можно сэкономить значительное количество веса практически в любом механическом приложении. Все транспортные средства (легковые и грузовые автомобили, современные поезда, мотоциклы, воздушные и морские суда) используют все больше и больше алюминиевых сплавов, чтобы уменьшить вес, и тем самым уменьшить выбросы CO<sub>2</sub> при их эксплуатации.

##### **1.1.2. Срок службы**

Поскольку алюминий быстро образует непроницаемую оксидную пленку на открытых поверхностях, он чрезвычайно устойчив к атмосферной коррозии



даже в морской среде. По этой причине он не требует обязательного защитного покрытия.

### **1.1.3. Универсальность**

Алюминиевые сплавы могут быть твердыми или гибкими, особо прочными или стойкими к коррозии. Возможность легирования алюминия другими металлами позволяет адаптировать его к широкому спектру требований.

## **1.2. Классификация сплавов**

Американская система обозначений алюминиевых сплавов является наиболее распространенной и используется в качестве международной [5].

В её основе - система легирования алюминиевых сплавов. Первая цифра указывает на систему легирования (основной легирующий компонент), к которой относится сплав.

1XXX серия - технический алюминий с минимум 99% содержанием алюминия по весу. В этой серии основные примеси – железо и кремний. Сплавы этой группы обладают высокой тепло- и электропроводностью, высоким сопротивлением коррозии, низкой механической прочностью и хорошей обрабатываемостью.

2XXX серия – сплавы, легированные медью, дуралюмины, они были когда-то самым распространенным из аэрокосмических сплавов. Для получения оптимальных механических свойств, сплавы этой серии упрочняются термической обработкой; механические свойства подобны или даже превосходят свойства низкоуглеродистой стали. Искусственное старение еще более повышает механическую прочность. Главный недостаток – чувствительность к коррозионному растрескиванию и сплавы этой серии все чаще заменяются на серию 7XXX. Поэтому листы из этих сплавов обычно плакируются чистым алюминием или сплавами серии 6XXX, что обеспечивает

гальваническое предохранение основного металла и повышает коррозионную стойкость. Самый известный сплав этой серии – сплав марки 2024, который очень широко применяется в авиастроении.

3XXX серия — сплавы, легированные марганцем (типа АМц). Эти сплавы не упрочняются термической обработкой. Поскольку добавка марганца не превышает 1,5%, имеется немного разновидностей сплавов в этой серии. Широко распространен сплав марки 3003, характеризующийся средней прочностью и хорошей обрабатываемостью.

4XXX серия — сплавы, легированные кремнием. Они также известны как силумины. Кремний в сплавах этой серии добавляется в значительных количествах для того, чтобы существенно понизить точку плавления.

5XXX серия — сплавы, легированные магнием (типа АМг). Магний повышает прочность сплавов данной серии от умеренной до высокой, не уменьшая при этом их пластичности. Сплавы этой серии обладают хорошими сварочными свойствами и хорошей коррозионной стойкостью в морской атмосфере. Сплавы этой серии не подвергаются термической обработке.

6XXX серия — сплавы, легированные магнием и кремнием в количествах, необходимых для образования силицида магния, что обеспечивает их способность к термоупрочнению за счет закалки на твердый раствор. Являются самыми пластичными алюминиевыми сплавами, но не достигают высокой прочности, как в 2XXX и 7XXX серии. Характеризуются средней прочностью, высокой коррозионной стойкостью и хорошей способностью к формообразованию. Главный сплав в этой серии – сплав 6061, один из самых распространенных термообрабатываемых сплавов.

7XXX серия — сплавы, легированные цинком, магнием, термоупрочняемые, самые прочные из алюминиевых сплавов. В сплавах этой группы основная добавка – цинк, который в паре с меньшим количеством магния обеспечивает очень высокую прочность после термической обработки. Наиболее известен сплав 7075, который является одним из самых

высокопрочных алюминиевых сплавов и используется в каркасах и других высоконагруженных элементах самолетов.

8XXX серия в основном используются для литиевых сплавов и прочих систем легирования.

Если вторая цифра в обозначении – ноль, это указывает, что нет особого контроля за каждым элементом примеси, а цифры от 1 до 9 указывают на особый контроль по одной или нескольким примесям. В сплавах серии 1000 для алюминия чистоты 99% и выше две последние цифры обозначают добавочные сотые доли процентов чистоты. Например, 1030 обозначает алюминий чистоты 99.30%. В сплавах серий от 2000 до 8000 две последние цифры не имеют самостоятельного значения. Они используются для того, чтобы обозначить различные сплавы в данной серии.

Вторая цифра обозначения указывает на порядковый номер модификации сплава относительно исходного сплава (в исходном - вторая цифра «0») или свидетельствует о чистоте сплава по примесям. Две последние цифры обозначают непосредственно сплав и дают информацию о его чистоте. Если сплав опытный, то ставят индекс "X" и маркировка становится пятизначной [5].

## **2. МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА**

Металлографией называют практический раздел металловедения, который занимается исследованием структуры и состава металлов и сплавов. Предметом ее изучения являются свойства, форма, пространственное расположение, состав, взаимосвязи, а также количественные и качественные характеристики микро- и макрокомпонентов, образующих реальную структуру металла. Основным фундаментальный метод, применяемый в металлографии, – это визуальное изучение подготовленных образцов исследуемого материала при необходимом увеличении [8].

В процессе производства металла формируется структура, но одновременно возникают и частично «залечиваются» дефекты металлургического производства. Металлографический анализ

предусматривает выявление дефектов, особенностей структуры и, как следствие, прогнозирование поведения металлов в эксплуатационных условиях.

Дефект – каждое отдельное несовершенство продукции или несоответствие требованиям, установленным нормативной документацией.

Термин «макроисследование» объединяет методы и способы контроля качества материала (детали, узла) невооруженным глазом или с помощью лупы. Понятие «микроисследование» связывает способы анализа микроструктуры материала с помощью оптического микроскопа. В совокупности обе названные группы методов составляют сущность металлографического анализа [9].

Область, где используется металлография - это анализ специальных сплавов из цветных металлов: алюминия, титана, тантала, циркония и пр. Кроме того, без металлографических исследований не обходится ни одна экспертиза трубопроводов и металлоконструкций, получивших повреждения в результате аварий и катастроф [10].

## **2.1. Подготовка образцов к металлографическому анализу**

Проведение металлографических исследований (макро-, микроанализ), позволяет установить, имеются ли в металле такие дефекты, как раковины, пустоты и трещины, как распределены вредные примеси по сечению; оперативно принимать меры по корректировке технологического процесса [16].

Металлографический анализ – это исследование структуры металлов или сплавов на специально подготовленных шлифах при помощи оптической микроскопии.

Условием для всех металлографических исследований является подготовка шлифов, которая может быть использована для микроскопического исследования с помощью световой и электронной микроскопии, для количественного измерения структурных элементов и микроанализа.

Основным моментом при изготовлении металлографических шлифов является избегание повреждения поверхности шлифа, проявляющегося в изменении микроструктуры поверхностного слоя образца в результате деформации или нагрева.

Верное изготовление шлифов имеет очень важное значение, так как от этого зависит правильность исследования микроструктур. Невозможно заранее предложить оптимальную инструкцию изготовления шлифа, и ни одну из разработанных методик нельзя считать идеальной.

Хорошо приготовленный металлографический шлиф должен удовлетворять ряду требований. На поверхности не должно быть полированных царапин и выбоин, а также пятен в результате взаимодействия с суспензиями. После обработки необходимо сохранить все неметаллические включения и другие элементы, отличающиеся повышенной хрупкостью.

Все стадии изготовления шлифа – это последовательное создание поверхности необходимого качества. Каждая следующая стадия процесса проводится с целью удаления повреждения поверхности, внесенного предшествующей обработкой.

## **2.2. Цели и принципы подготовки образцов**

Целью подготовки образцов для металлографических исследований является выявление истинной структуры материала образца. Самый простой способ достижения этой цели - использовать отработанные методы подготовки [9].

Результаты подготовки должны быть легко воспроизводимы. Пробоподготовка базируется на 4 принципах.

### **1. Систематическая подготовка образцов**

Подготовка образцов базируется на определенных правилах, которые действительно для большинства материалов. Различные материалы с соответствующими им свойствами (твердость и вязкость) обрабатываются одинаково и требуют одинаковых расходных материалов в процессе подготовки.

### **2. Воспроизводимость результатов**

Каждый метод подготовки должен быть отработан таким образом, чтобы каждый раз достигать абсолютно аналогичных результатов. Для этого

требуется высокое качество используемых расходных материалов и контроль параметров процесса подготовки:

- скорость и направление вращения;
- усилие;
- количество и тип абразива;
- время подготовки.

Все эти факторы могут регулироваться и контролироваться автоматически.

### 3. Истинная структура

Структура, полученная в результате подготовки не имеющая дефектов, называется истинной структурой. Поверхность образца должна отображать истинную структуру материала. Это отсутствие на поверхности образца следующих дефектов:

- деформации;
- царапин;
- выбоин;
- внедрения инородных частиц;
- смазывания;
- рельефа поверхности или завал края;
- термических повреждений.

### 4. Допустимые результаты подготовки

Окончательная поверхность образца должна быть настолько хорошей, насколько это необходимо для получения объективных результатов исследований. Любая подготовка с чрезмерными требованиями будет только увеличивать стоимость процесса.

На качество исследований влияет комплекс подготовки образцов от этапа пробоотбора до получения микрошлифа. Если на каком-либо этапе пробоподготовки ошиблись, то шлиф непригоден. Таким образом, риск выдать ложную оценку микроструктуры образца очень высокий.

## 2.3. Этапы обработки образцов

Процесс подготовки образцов для металлографических исследований по макроструктуре, как правило, состоит из следующих этапов [16].

- вырезка образцов (ленточная пила, абразивная резка с помощью отрезных дисков SiC). При этом не допускается разогрев до высоких температур в процессе резки.

- фрезерная или токарная обработка поверхности макрошлифа. На поверхности макрошлифа не допускаются наклеп, заусенцы, задиры и другие виды дефектов.

- травление макрошлифа для выявления дефектов структуры.

- травление макрошлифа для выявления зеренной структуры.

Этапы подготовки для металлографических исследований по микроструктуре:

- вырезка образцов (ленточная пила, абразивная резка, вручную).

- горячая запрессовка, холодная заливка с использованием фенольных, эпоксидных, акриловых смол.

- шлифование (шлифовальная бумага, вода).

- грубая, тонкая, финальная полировка (полировочное сукно, алмазные суспензии, оксидная суспензия, лумбрикант).

- травление.

На определенных этапах подготовки может быть использовано полностью автоматическое оборудование, которое обеспечит воспроизводимость получаемых результатов, постоянное высокое качество подготовки и снизит влияние человеческого фактора на результат подготовки.

Но необходимо помнить, что на всех этапах пробоподготовки может быть получен дефект, который исказит результаты металлографических исследований. Это может зависеть, как и от применяемых материалов и оборудования, так и от квалификации персонала.

Для повышения квалификации персоналом лаборатории за период 2018-2020 годов проведено несколько исследований по доступной литературе пробоподготовки, проведено обучение совместно с представителями НАЛ ООО

«РУСАЛ ИТЦ». Для исключения человеческого фактора, накопления базы данных, обучения молодых сотрудников было принято решение о необходимости разработки внутренних локальных документов, регламентирующих действия персонала, а также базы по структуре литейных сплавов и возможных дефектов, возникающих при пробоподготовке.

### **3. РАЗРАБОТКА НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

Требования Потребителей в 2017 году к макро- и микроструктуре литейных сплавов, отраженные в технических спецификациях, были представлены следующим образом:

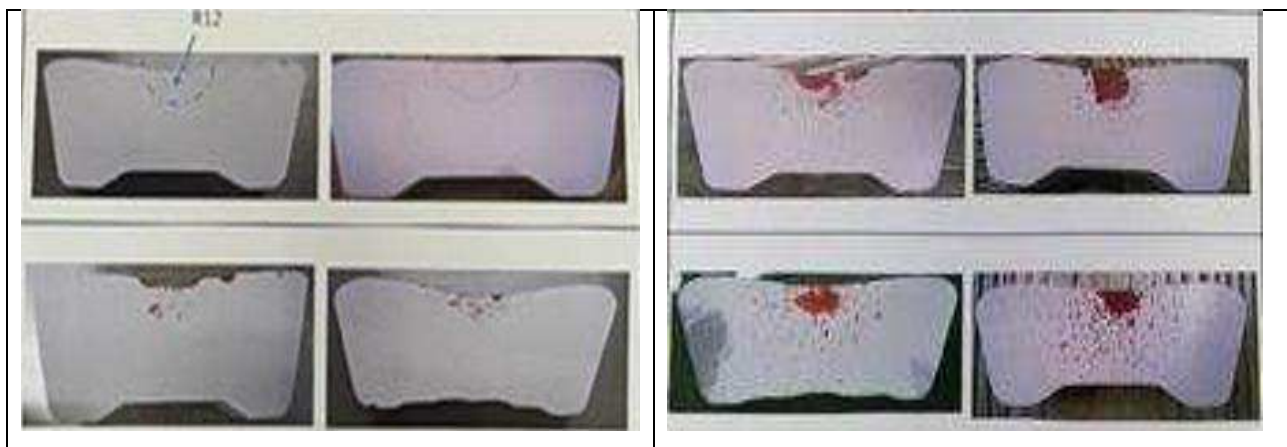
#### Макроструктура

- однородная, мелкозернистая по всему сечению чушки, без неметаллических включений, без видимых газовых пор и включений, без шлаковых и окисных включений

#### Микроструктура

- однородная, мелкозернистая по всему сечению чушки, без неметаллических включений, без видимых газовых пор и включений, без шлаковых и окисных включений, без ликваций и без игольчатых кристаллов железа.

Требования были очень просты и оценить их с помощью металлографического анализа не составляло труда. Но с начала 2018 года требования Потребителей стали более специфичными, например, (рис.1,2,3):





Класс А и В газовой пористости по методу цветной дефектоскопии	Класс С и D газовой пористости по методу цветной дефектоскопии
Цель по требованиям ТС – класс А или В	

Рисунок 1 – Требования по макроструктуре Потребителя Central smc., Корея

Класс	Количество пор	Результат
A	0	OK
B	0-15	OK
C	16-30	OK
D-F	>31	NOK
Максимальный объем поры – 1 мм		



Рисунок 2 – Требования по макроструктуре Потребителя Steel strips wheels, Индия

**Максимальный линейный размер  $\beta$  FeMn,  $\beta$ FeMnSi фаз не более 200 мкм.  
Максимальный линейный размер Al3Fe игольчатых фаз не более 90 мкм.  
Микроструктура - однородная, мелкозернистая по всему сечению чушки, без неметаллических включений, без видимых газовых пор и включений, без шлаковых и окисных включений, без ликваций и игольчатых кристаллов железа.**

Рисунок 3 – Требования по микроструктуре Потребитель Nemak, Польша

В связи с изменившимися требованиями Потребителей было принято решение о создании документов, которые бы позволили правильно провести необходимые виды анализа и корректно оценить получаемые результаты.

Первым документом по металлографическому анализу в ЦЗЛ стал Каталог «Исследование микроструктуры литейных сплавов на основе алюминия», разработка Каталога позволила:

- повысить уровень знаний персонала, занимающегося металлографическим анализом;

- при возникновении спорных вопросов обращаться к Каталогу как к источнику, позволяющему правильно определить вид дефекта.

В Каталог были внесены виды фаз, интерметаллидов, включений.

Выдержки из Каталога представлены на рисунках 4,5,6,7,8:

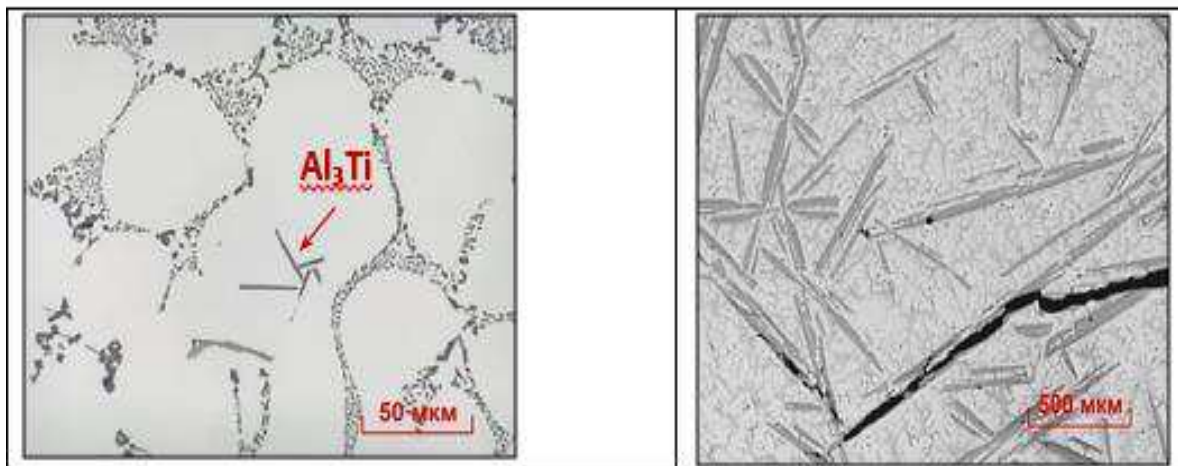


Рисунок 4 –  $Al_3Ti$  – тугоплавкие интерметаллиды

Из литературных данных известно, что при концентрации титана выше 0,12% и температуре выше 665°C возможно образование первичных кристаллов  $Al_3Ti$ . Выдержка при температурах близких перитектическому превращению приводит к росту и увеличению количества кристаллов  $Al_3Ti$ .

Если в химическом составе чушки содержится >0,12 % Ti. В таком количестве титан, вводимый в виде лигатуры, может не усваиваться расплавом и выделяется в виде крупных кристаллов  $Al_3Ti$ , которые при литье и переплаве приводят к снижению литейных свойств сплава и забиванию фильтров.

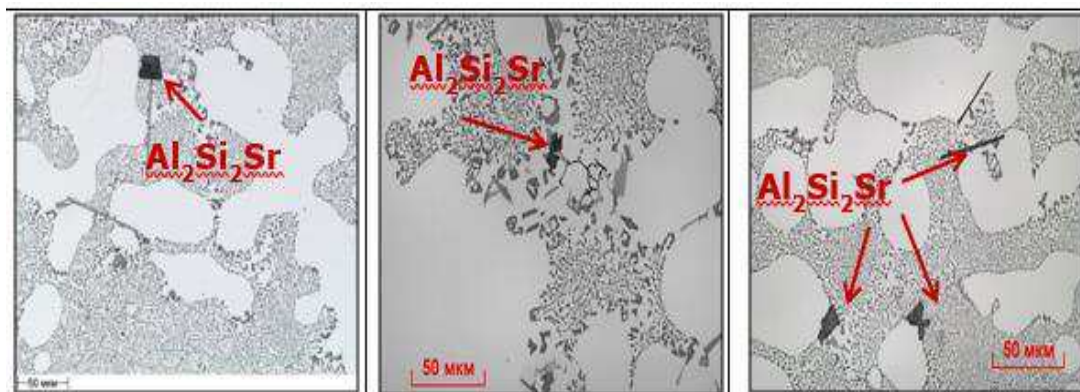


Рисунок 5 –  $Al_2Si_2Sr$  - интерметаллиды правильной формы

Иногда в образцах наблюдаются скопления и отдельные кристаллы  $Al_2Si_2Sr$  компактной, пластинчатой и игольчатой формы размером до 70 мкм. В кристаллах  $Al_2Si_2Sr$  содержатся элементы F, P, Ca, Na, Mg.

Согласно литературным данным, образование кристаллов  $Al_2Si_2Sr$  разной морфологии происходит в участках с локальной избыточной концентрацией стронция от 1 до 2,5 %. Наличие крупных интерметаллидных частиц на границах эвтектических колоний может приводить к увеличению вязкости расплава, и, как следствие, к снижению жидкотекучести.

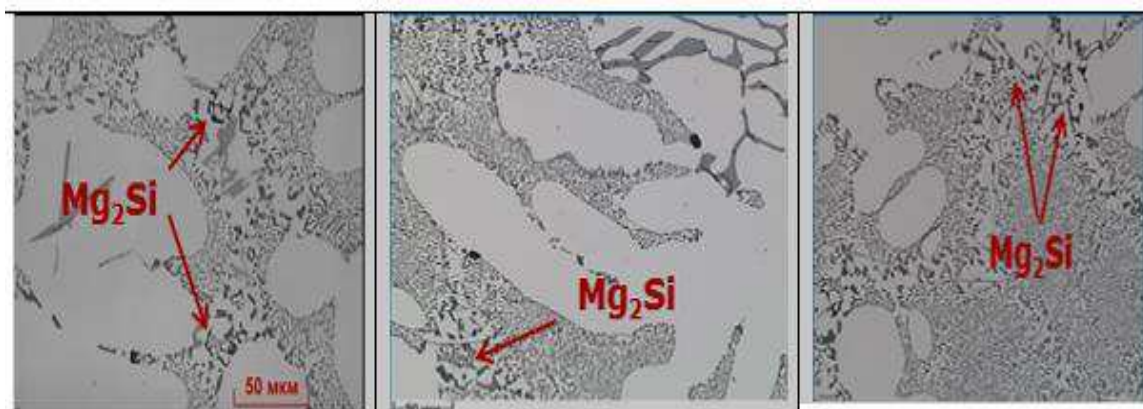


Рисунок 6 –  $Mg_2Si$  - скелетообразные включения

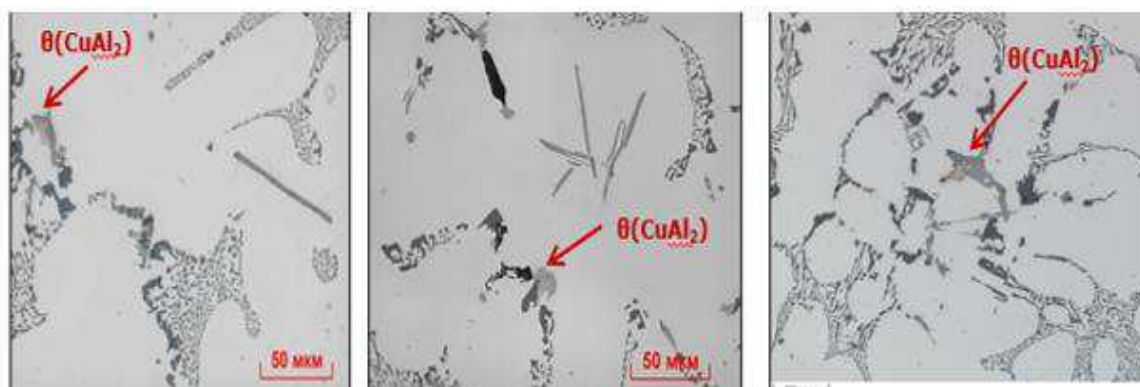


Рисунок 7 –  $\theta$  – фаза ( $CuAl_2$ )

Светлые ограненные частицы (цвет от розового до оранжевого), встречается  $\theta$ -фаза ( $CuAl_2$ ) в виде кружева.

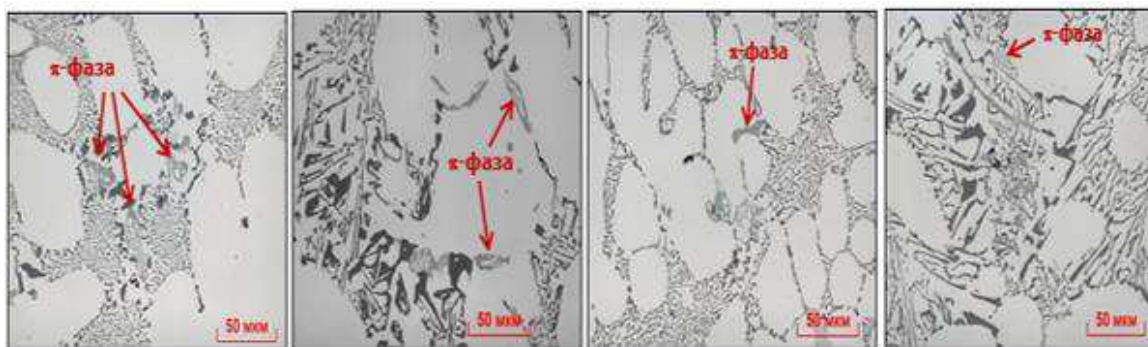


Рисунок 8 –  $\pi$  - железосодержащая фаза ( $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ )

Кристаллы  $\pi$ -фазы  $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$  пластинчатые и в форме иероглифов (неограниченные), разветвленные.

В дальнейшем планируется наполнение Каталога «Исследование микроструктуры литейных сплавов на основе алюминия» при производстве новых видов литейных сплавов.

Следующим шагом стала стандартизация выполняемых операций при проведении металлографического анализа.

Разработка карт пошагового выполнения операций (КПВО) для проведения металлографического анализа (рисунок 9,10) позволила:

- снизить риски при проведении анализа в отношении некорректных действий персонала;
- стандартизировать операции выполнения металлографического анализа.


[Изъято 42 страницы]



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

Институт цветных металлов и материаловедения  
институт  
Кафедра металлургии цветных металлов  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ:

Заведующий кафедрой  
 Н.В. Белоусова  
подпись инициалы, фамилия  
« 07 » 07 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Повышение качества проведения металлографического анализа  
литейных алюминиевых сплавов ИркАЗ»





тема

Направление 22.04.02 «Металлургия»

код и наименование направления

Программа 22.04.02.02 - Металлургия цветных металлов

код и наименование магистерской программы

Науч. руководитель	 10.06.20 подпись, дата	канд. техн. наук, доцент кафедры ЛП ИЦМиМ должность, ученая степень	А.И. Безруких инициалы, фамилия
Выпускник	 10.06.2020 подпись, дата		Н.П. Портнова инициалы, фамилия
Рецензент	 10.06.2020 подпись, дата	канд. техн. наук, начальник ОЛ ЛЦ ИркАЗ ООО «РУСАЛ ИТЦ» в г.Шелехов должность, ученая степень	П.Б. Кузьмин инициалы, фамилия
Консультант	 07.07.2020 подпись, дата	канд. экон. наук, доцент должность, ученая степень	Т.В. Твердохлебова инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 07.07.20 подпись, дата	профессор, д-р хим. наук должность, ученая степень	Н.В. Белоусова инициалы, фамилия

Красноярск 2020